

Préfecture de la région Aquitaine
Secrétariat général pour les affaires régionales



Direction Régionale de l'Environnement
AQUITAINE



Utilisation du Modèle Nord-Aquitain (MONA) pour appuyer la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds du Nord du Bassin aquitain

Rapport final

BRGM/RP-57878-FR
mars 2010

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2009 EAUK 101

E. Gomez et N. Pédron
Avec la collaboration de
E. Buscarlet



Préfecture de la région Aquitaine
Secrétariat général pour les affaires régionales



Direction Régionale de l'Environnement
AQUITAINE

Vérificateur :

Original signé par J.J. Seguin

Approbateur :

Original signé par Ph. Dutartre

En l'absence de signature, notamment 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 : volumes prélevables, modélisation hydrodynamique, Bassin Nord-Aquitain, Modèle Nord-Aquitain, Bajocien, Bathonien, Callovo-Oxfordien, Kimméridgien, Tithonien, Cénomanién, Turonien, Coniacien-Santonien, Campano-Maastrichtien, Eocène, Oligocène, Miocène.

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

E. Gomez et N. Pédrón avec la collaboration de E. Buscarlet (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, 61 pages, 30 figures, 13 annexes.

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

Synthèse

La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006 et le décret du 24 septembre 2007 prévoient la restauration de l'équilibre quantitatif de la ressource en eau dans les zones en déficit (ZRE) et la mise en place d'une gestion collective de l'eau.

La circulaire du 30 juin 2008 prévoit que le volume prélevable dans les ressources en eau soit déterminé pour tous les usages dans les bassins en déficit quantitatif.

L'organisation pour la détermination de ces volumes a été adoptée par la Commission Administrative de Bassin qui s'est tenue le 20 octobre 2008. La DREAL de Bassin et l'Agence de l'Eau sont chargées de mettre en œuvre les décisions prises.

Pour les nappes captives nord-aquitaines concernées, il a été convenu d'utiliser le Modèle mathématique Nord-Aquitain (MONA) du BRGM pour simuler l'évolution de ces nappes à moyen terme sous différentes hypothèses de prélèvement et ainsi fournir des éléments de réflexion aux acteurs du nord du Bassin en vue de la définition des volumes prélevables de ces nappes. Cette étude est financée par l'Agence de l'Eau Adour-Garonne (AEAG), des fonds européens FEDER et le BRGM sur sa dotation de service public.

Le modèle hydrodynamique régional Nord-Aquitain (MONA V3.3-2007) a été utilisé pour simuler l'impact sur les nappes de 5 scénarios (prélèvements et recharge) sur la période 2008-2050. Une actualisation préalable des prélèvements a pu être réalisée avec le concours technique des acteurs de l'eau du nord du Bassin aquitain. Les 5 scénarios retenus sont les suivants :

- 4 scénarios tendanciels simples basés sur un report de prélèvements et de recharge d'années contrastées visant à évaluer la sensibilité du modèle à ces paramètres,
- 1 scénario prospectif complexe élaboré en partenariat avec les acteurs locaux pour évaluer l'impact plausible de l'évolution de population (prospectivité de population INSEE (scénario médian) et projection d'implantation de nouveaux captages) et du changement climatique (scénario modéré du GIEC).

Il ressort des résultats de l'analyse de sensibilité qui a été réalisée que l'impact de la recharge et/ou des prélèvements sur le (dé)stockage diffère de façon importante suivant les nappes considérées. Les nappes les plus profondes (hors parties libres) apparaissent logiquement moins impactées par les variations de recharge mais y sont tout de même très sensibles. Les nappes du Miocène et de l'Oligocène sont, quant à elles, mieux réalimentées ce qui se traduit par une plus grande sensibilité de la variation du stock à la recharge. De plus, la part des prélèvements dans les flux

transitant dans le Miocène (contrairement à l'Oligocène) est peu importante ce qui réduit la sensibilité du stock de ces couches aux variations de prélèvements.

Les nappes du Jurassique (Kimméridgien, Bathonien-Callovo-Oxfordien et Bajocien) apparaissent comme les couches les moins sensibles à la recharge notamment dans les parties les plus éloignées des zones d'affleurements qui sont exploitées dans le Lot-et-Garonne. Ces éléments corroborent le caractère supposé confiné des aquifères profonds du Jurassique dans le département de Lot-et-Garonne pour lesquels on observe des baisses linéaires de piézométrie depuis plus de 20 ans.

Le scénario prospectif complexe (« Recharge A1B + Prélèvements INSEE »), jugé comme plausible au regard des perspectives d'augmentation de la population du nord de la région Aquitaine et des changements climatiques (diminution de la recharge de plus de 50%) tels qu'ils sont appréhendés aujourd'hui, **apparaît comme le scénario le plus défavorable des cinq testés**. Le déstockage simulé dans toutes les nappes (y compris Miocène) est plus important et se maintient (ou ne diminue que très lentement) durant toute la période de simulation. Ce scénario se traduit par une baisse généralisée des niveaux piézométriques.

Les économies réalisées dans l'Eocène (10 millions de m³ sur la période 2015-2017 ainsi que dans l'Oligocène (6 millions de m³ sur la même période) grâce aux économies d'eau et la substitution de 10 millions de m³ dans le Cénomanien (2015) permet d'observer une nette amélioration dans les zones où ces économies sont réalisées sans pour autant stopper la baisse piézométrique dans le reste de ces aquifères. Les augmentations de volumes basés sur les perspectives d'augmentation de population engendrent des abaissements piézométriques dans les nappes considérées qui, à l'horizon 2050, apparaissent systématiquement plus défavorables que le plus pessimiste (R1975-Q2003) des scénarios tendanciels.

Compte-tenu de ces résultats, l'exploitation de ces aquifères à un niveau équivalent aux prélèvements retenus dans ce scénario avec des conditions de recharge très dégradées par rapport à l'actuel conduirait à un déséquilibre pouvant être jugé durable pour les nappes profondes du nord du Bassin aquitain.

Sommaire

1. Introduction	9
1.1. CONTEXTE	9
1.2. OBJECTIF	9
1.3. RAPPEL DE LA VERSION 3.3 DU MODELE MONA	10
1.3.1. Bref descriptif	10
1.3.2. Limites d'utilisation du modèle et définition de la zone d'étude	11
2. Actualisation des données et projections	15
2.1. PRELEVEMENTS	15
2.1.1. Actualisation des données	15
2.1.2. Analyse des prélèvements par nappe et par usage	19
2.1.3. Projection à 2050 (scénario prospectif)	25
2.2. RECHARGE	31
3. Scénarios : description et méthodologie	35
3.1. DESCRIPTION DES SCENARIOS	35
3.1.1. Scénarios tendanciels	35
3.1.2. Scénario prospectif	35
3.2. ANALYSE DES RESULTATS – PRINCIPE DU TEST DE SENSIBILITE	36
4. Simulation des scénarios : résultats et discussions	37
4.1. EVOLUTION DES BILANS HYDROLOGIQUES	37
4.2. ANALYSE DE SENSIBILITE	43
4.3. IMPACT SUR LA PIEZOMETRIE	46
4.3.1. Impact régional	46
4.3.2. Quelques impacts locaux (scénario A1B-QInsee)	49
5. Conclusion	53
6. GLOSSAIRE	55
7. Bibliographie	59

Liste des illustrations

Illustration 1 - Nombre de mailles et superficie de chaque couche du MONA en version V3.3.....	11
Illustration 2 –Schéma illustrant le domaine d'application de l'étude Volumes Prélevables	12
Illustration 3 –Schéma illustrant le domaine d'application de l'étude Volumes Prélevables (exemple de l'aquifère de l'Aquitainien-Burdigalien)	13
Illustration 4 – Carte de répartition des 3 759 captages recensés dans la BD « Prélèvements » et limite d'extension globale du modèle MONA	16
Illustration 5- Evolution des prélèvements par département (tous usages confondus) pour les 3 759 ouvrages contenus dans base de données des prélèvements	17
Illustration 6 - Evolution des prélèvements par département (tous usages confondus) – 3 248 ouvrages pris en compte dans le modèle MONA.....	18
Illustration 7 - Evolution des prélèvements par département (tous usages confondus) – 2048 ouvrages de la zone d'étude (sollicitant une nappe captive)	19
Illustration 8 –Répartition des 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives) par nappe	20
Illustration 9 –Répartition des 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives) par nappe	21
Illustration 10 –Répartition des 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives) par nappes	21
Illustration 11 –Répartition des prélèvements par nappe et par usage pour les 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives)- moyenne 2000-2007 (en m ³ /an)	23
Illustration 12 –Répartition des prélèvements par nappe et par usage pour les 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives)- moyenne 2000-2007 (en %).....	24
Illustration 13 – Liste des nouveaux captages à intégrer au modèle sur la période 2008-2050	26
Illustration 14 – Découpage territorial fourni par l'INSEE (codes des 23 zones en rouge)	27
Illustration 15 – Evolution projetée de la population sur la zone d'étude - période 2006-2030 – Modèle OMPHALE 2006	28
Illustration 16 – Prélèvements 1972-2007 et projection jusqu'en 2050 – Ouvrages (3248) pris en compte dans le modèle MONA	29
Illustration 17 – Prélèvements 1972-2007 et projection jusqu'en 2050 – Ouvrages (2048) pris en compte dans la zone d'étude (parties captives).....	29
Illustration 18 – Evolution des prélèvements entre 2007 et 2050 dans chaque couche du modèle MONA	30
Illustration 19 – Evolution des pluies efficaces calculées à partir des données météorologiques des 5 stations retenues.....	31
Illustration 20 – Evolution des pluies efficaces de 1972 à 2050 (moyenne sur les 5 stations météo) – Projection avec le scénario A1B du GIEC à partir de 2008 (en grisé)	32

Illustration 21 – Comparaison entre les pluies efficaces moyennes calculées à partir des données météorologiques mesurées ou simulées par ARPEGE au niveau des 5 stations	33
Illustration 22 – Bilans hydrologiques pour les 14 nappes profondes du modèle dans leurs parties captives et libres – 5 scénarios	40
Illustration 23 – Bilans hydrologiques pour les 14 nappes profondes du modèle dans leurs parties captives – 5 scénarios	42
Illustration 24 – Résultats du test de sensibilité – Impact de la recharge	43
Illustration 25 – Résultats du test de sensibilité – Impact des prélèvements	44
Illustration 26 – Résultats du test de sensibilité – Représentation des pentes entre scénarios « simplifiés »	45
Illustration 27 – Résultats de simulation – Evolution piézométriques sur une sélection de 14 piézomètres (un piézomètre par nappe)	47
Illustration 28 - Impact des économies réalisées sur la CUB en 2015 et 2017 sur le forage de Libourne (courbe bleu) – (Code couleur présenté par l'illustration 27).	49
Illustration 29 – Evolution de la crête piézométrique de l'Eocène	50
Illustration 30 - Impact du captant de Saint Magne : rabattements induits entre 2014 et 2015 (date de mise en service).....	51

Liste des annexes

Annexe 1 Cartes de localisation des parties captives des aquifères du modèle Nord-Aquitain	63
Annexe 2 Bilan global des débits du modèle Nord Aquitain sur la zone d'étude (parties libres et captives).....	79
Annexe 3 Répartition des prélèvements par usage et par nappe pour les 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives)– moyenne 2000-2007.....	81
Annexe 4 Cartes de répartition spatiale, par nappe et par usage, des 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives).....	87
Annexe 5 Evolution des prélèvements par nappes – Période 1972-2050 - Scénario RA1B – Q Insee.....	103
Annexe 6 Relations entre débordement et stockage	105
Annexe 7 Cartes de rabattements 2007-2050 – Scénario « Recharge 1981 + Prélèvements 2003 ».....	109
Annexe 8 Cartes de rabattements 2007-2050 – Scénario « Recharge 1981 + Prélèvements 2007 ».....	117
Annexe 9 Cartes de rabattements 2007-2050 – Scénario « Recharge 1975 + Prélèvements 2003 ».....	125
Annexe 10 Cartes de rabattements 2007-2050 – Scénario « Recharge 1975 + Prélèvements 2007 ».....	133
Annexe 11 Cartes de rabattements 2007-2050 – Scénario « Recharge A1B + Prélèvements INSEE »	141
Annexe 12 Cartes de localisation des chroniques piézométriques utilisées pour le calage du MONA	157
Annexe 13 Résultats des simulations sur une sélection de chroniques de calage du MONA	173

1. Introduction

1.1. CONTEXTE

La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (LEMA) du 30 décembre 2006 et le décret du 24 septembre 2007 prévoient la restauration de l'équilibre quantitatif de la ressource en eau dans les zones en déficit (ZRE) et la mise en place d'une gestion collective de l'eau.

La circulaire du 30 juin 2008 indique que les volumes prélevables dans les ressources en eau doivent être déterminés pour tous les usages dans les bassins en déficit quantitatif.

L'organisation pour la détermination de ces volumes a été adoptée par la Commission Administrative de Bassin qui s'est tenue le 20 octobre 2008. La DREAL de Bassin et l'Agence de l'Eau sont chargées de mettre en œuvre les décisions prises.

1.2. OBJECTIF

Pour les nappes captives nord-aquitaines concernées, il a été convenu d'utiliser le Modèle mathématique Nord-Aquitain (MONA) du BRGM pour simuler l'évolution de ces nappes à moyen terme sous différentes hypothèses de prélèvement et ainsi fournir des éléments de réflexion aux acteurs du nord du Bassin en vue de la définition des volumes prélevables de ces nappes. Cette étude est financée par l'Agence de l'eau Adour-Garonne, des fonds européens FEDER et le BRGM sur sa dotation de service public.

Le modèle Nord-Aquitain fonctionne au pas de temps annuel : il simule un état moyen de ces nappes pour chaque année en réponse aux prélèvements et à la recharge cumulés sur l'année.

Les volumes prélevables ne seront pas directement déterminés par l'outil, mais son utilisation doit permettre aux acteurs/décideurs de tester des scénarios de prélèvements et de recharge à horizon 2050 afin d'identifier ceux susceptibles de satisfaire au mieux les usages et la préservation de la ressource (notamment en maintenant des niveaux piézométriques minimum dans les secteurs identifiés comme « à risque »).

Il faut également noter que différentes répartitions spatiales des prélèvements peuvent conduire à un même volume prélevable global, mais ne produiront pas les mêmes effets sur les secteurs où le maintien d'un niveau piézométrique sera jugé nécessaire. Il est donc indispensable d'être correctement ajustés sur les prélèvements actuels et sur ceux projetés, tant du point de vue des débits captés que de la répartition spatiale.

Afin que les scénarios testés soient donc au plus près de la réalité, il a été décidé d'impliquer les acteurs des départements concernés pour :

- la vérification des données de prélèvements passées,
- l'intégration des dernières connaissances sur les projets à venir (nouveaux prélèvements, arrêts de prélèvements actuels...).

Deux réunions de concertation avec les acteurs du nord du Bassin aquitain ont ainsi été organisées les 23 Mars 2009 à Bordeaux (départements 24, 33, 47) et le 31 Mars 2009 à Montauban (départements 46 et 82) pour leur exposer l'objet du travail et obtenir leur collaboration pour l'actualisation des données de prélèvements.

Une première synthèse des données collectées a été exposée le 9 juillet 2009 à Sainte-Bazille (47) à l'ensemble des acteurs. A cette occasion, les hypothèses à retenir pour les différents scénarios à tester ont été arrêtées.

Ce rapport expose les résultats issus du modèle Nord-Aquitain version 3.3-2007.

1.3. RAPPEL DE LA VERSION 3.3 DU MODELE MONA

1.3.1. Bref descriptif

Le modèle Nord-Aquitain MONA, dans sa version 3.3, simule les écoulements souterrains dans le système aquifère multicouche du Bassin nord-aquitain. Quinze couches principales ont été retenues dans le modèle : Plio-quatenaire, Langhien-serravalien (Helvétien), Aquitanien-Burdigalien, Oligocène, Eocène supérieur, Eocène moyen, Eocène inférieur, Campano-Maastrichtien, Coniacien-Santonien, Turonien, Cénomaniens, Tithonien, Kimméridgien, Bathonien-Callovo-Oxfordien et Bajocien.

Le modèle est constitué de 66 953 mailles de calculs (mailles 2 km × 2 km). Le nombre de mailles dans chaque couche aquifère du modèle est rappelé dans le tableau suivant (illustration1).

Actuellement, le modèle ne représente pas de manière explicite les écoulements dans les aquitards mais simule néanmoins la drainance verticale en tenant compte de leurs perméabilités et de leurs épaisseurs.

5 stations météorologiques (Mérignac, Cognac, Gourdon, Bergerac, Mont-de-Marsan) sont utilisées pour les calculs des recharges introduites dans le modèle.

Le modèle a été calé en régime transitoire au pas de temps annuel sur la période 1972-2006 à l'aide de 382 chroniques piézométriques. Les phases d'actualisation des données réalisées successivement en 1999, 2001 et 2005 ont servi de période de validation de l'outil et permis de contrôler sa robustesse.

FORMATION	N° COUCHE	CODIFICATION MONA	NOMBRE DE MAILLES	SUPERFICIE km ²
Plio-Quaternaire	1	MNA-PLIOQ	2 841	11 364
Helvétique	2	MNA-HELV	2 227	8 908
Aquitainien-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-Callové-Oxfordien	14	MNA-BACX	7 856	31 424
Bajocien	15	MNA-BAJO	6 044	24 176

Illustration 1 - Nombre de mailles et superficie de chaque couche du MONA en version V3.3

1.3.2. Limites d'utilisation du modèle et définition de la zone d'étude

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, absence de prise en compte des échanges nappes-rivières...

Il permet néanmoins d'évaluer les flux d'infiltration rejoignant les parties captives, dans la mesure où le drainage des nappes dans leurs parties libres, (pris en compte par effet de débordement), permet par déduction d'évaluer la part de l'eau « non-drainée » alimentant les parties profondes des nappes (cf. illustration 2). C'est donc un outil régional qui répond principalement, à l'heure actuelle, à des problématiques de nappes profondes à renouvellement lent. C'est sur ces parties captives des nappes que le modèle Nord-Aquitain doit apporter les éléments pertinents pour appuyer la définition de volumes prélevables.

La définition des volumes prélevables dans les parties libres est traitée dans le cadre d'autres études spécifiques conduites par les services de l'état et/ou bureaux d'études. Ces zones libres n'ont donc pas vocation à être traitées par le modèle, ce qui a conduit à identifier pour chaque aquifère modélisé une partie libre et une partie captive.

Il faut toutefois noter que cette partition arbitraire entre partie libre et partie captive conduit à des approximations car elle suppose une relative indépendance des 2 domaines. Or il est certain que ce qui se passe dans la partie captive d'une nappe peut avoir des répercussions sur la partie libre. L'inverse est aussi vrai.

La limite de captivité d'une nappe est difficile à évaluer et surtout variable dans le temps (fonction des conditions climatiques et de ses conditions d'exploitation). En première approche, pour une nappe donnée, les mailles affleurantes (toit de la formation = topographie), dans lesquelles une recharge est introduite, ont été considérées comme des mailles où la nappe est « libre ». Par différence, les autres mailles sont identifiées comme des zones où la nappe est captive. Ce raisonnement très simplificateur a été appliqué à toutes les nappes par souci d'homogénéité.

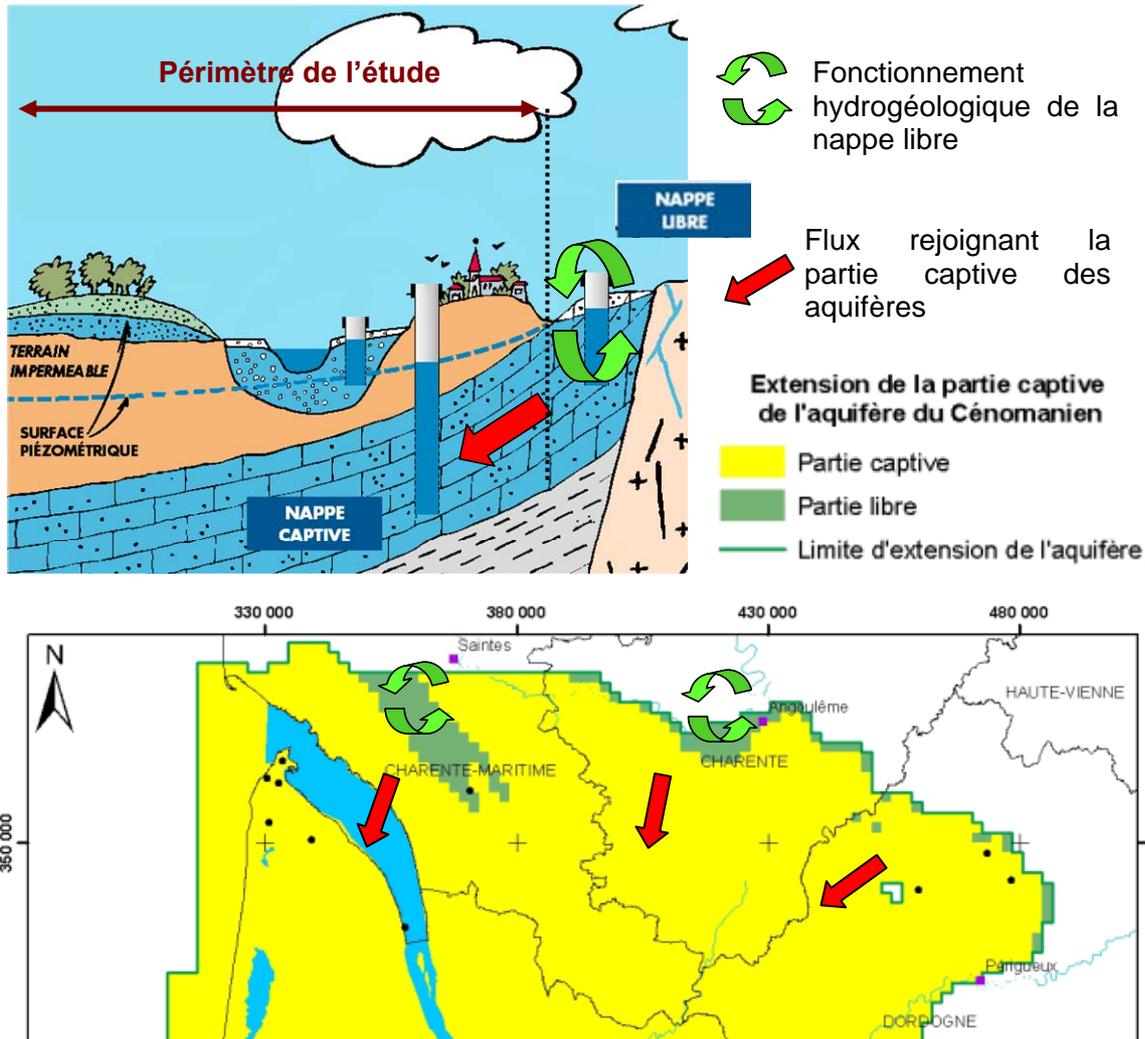


Illustration 2 – Schéma illustrant le domaine d'application de l'étude Volumes Prélevables

Le modèle Nord-Aquitain modélise les aquifères miocènes et oligocène captif sur l'ensemble du Bassin aquitain jusque dans le sud des Landes. Cette partie des aquifères n'entre toutefois pas dans le périmètre de cette étude dans la mesure où les volumes prélevables afférents doivent faire l'objet d'une détermination par les services de l'état, en collaboration avec les acteurs locaux, des départements concernés.

L'exploitation du modèle Nord-Aquitain ne se fera donc pas sur la partie sud des aquifères de l'Helvétien, de l'Aquitanien-Burdigalien et de l'Oligocène bien qu'ils soient modélisés.

La limite sud de la zone d'étude a donc été fixée arbitrairement selon un axe Est/Ouest qui correspond à la latitude Y = 218 km (Lambert 3 Sud). Cette limite correspond approximativement à une ligne de partage des eaux dans les 3 couches concernées.

L'extension de chaque couche prise en compte dans cette étude figure en annexe 1. Un exemple est présenté ci-dessous (illustration 3).

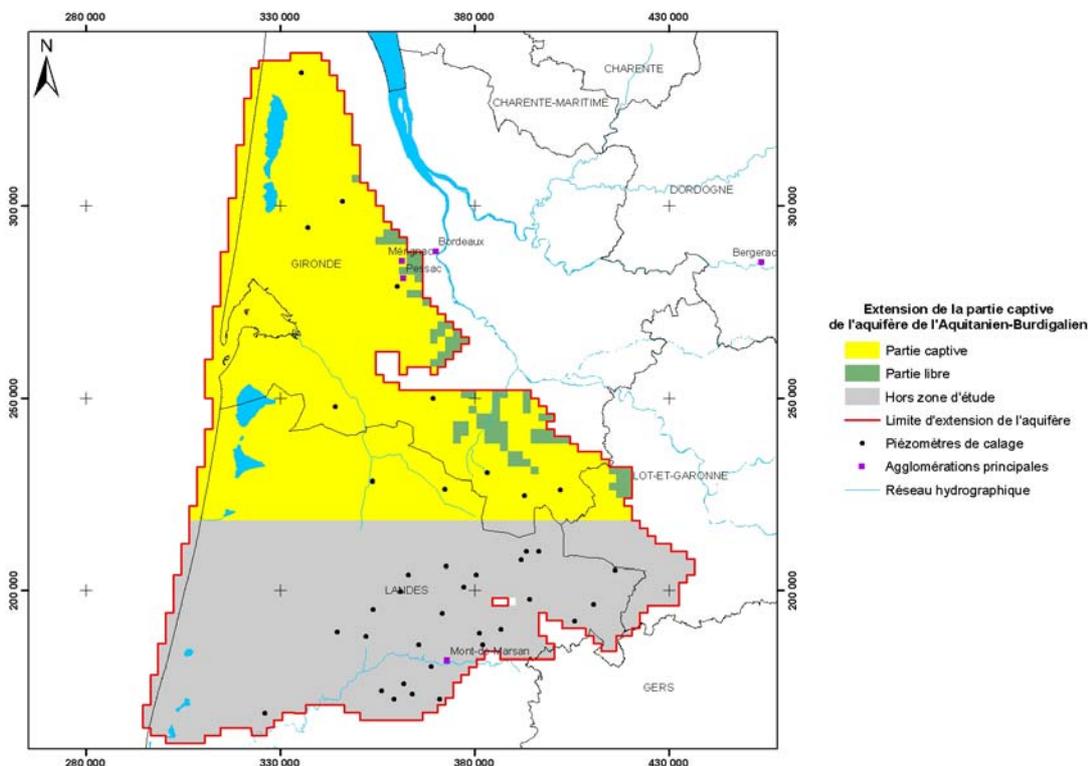


Illustration 3 –Schéma illustrant le domaine d'application de l'étude Volumes Prélevables (exemple de l'aquifère de l'Aquitanien-Burdigalien)

Les bilans des flux exposés dans ce rapport seront dressés pour chacune des 14 nappes profondes (hors Plio-quatenaire) :

- un bilan sur l'ensemble de la nappe (partie libre + captive) permettant 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 2. Celui-ci s'appuie sur les bilans des flux moyennés calculés par le modèle régional sur la période 2000-2007,

- un bilan pour les parties captives uniquement destiné à évaluer le stockage/déstockage propre à ces zones.

Les cartes de prélèvements et les restitutions piézométriques (cartes de rabattements et chroniques piézométriques), quant à elles, ne seront exploitées que sur les parties captives des nappes (les zones libres faisant l'objet d'études spécifiques pour la détermination des volumes prélevables).

2. Actualisation des données et projections

Préalablement à la mise en œuvre des scénarios, les données de prélèvements ont été actualisées jusqu'en 2007 et des projections à l'horizon 2050 ont été réalisées à partir des évolutions de populations simulées par l'INSEE. De la même façon, les données météorologiques (pluie et ETP) ont été fournies par le CERFACS sur la période 2008-2050 (issues des travaux prospectifs du GIEC).

2.1. PRELEVEMENTS

2.1.1. Actualisation des données

Pour la réalisation des scénarios, les acteurs locaux ont été sollicités pour vérifier les données disponibles au 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 en séance pour valider et compléter l'ensemble les données :

- Dordogne : CG 24, et SPE24,
- Gironde : CG 33 et SMEGREG,
- Lot : CG 46,
- Lot-et-Garonne : CG 47,
- Tarn-et-Garonne : AEAG.

Chaque correspondant s'est occupé du 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 retournés 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 comprend actuellement 3 759 ouvrages sollicitant les 14 nappes (hors Plio-quaternaire) répartis comme suit (illustration 4) : 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), 1179 en Charente-Maritime (17) et 150 en Charente (16).

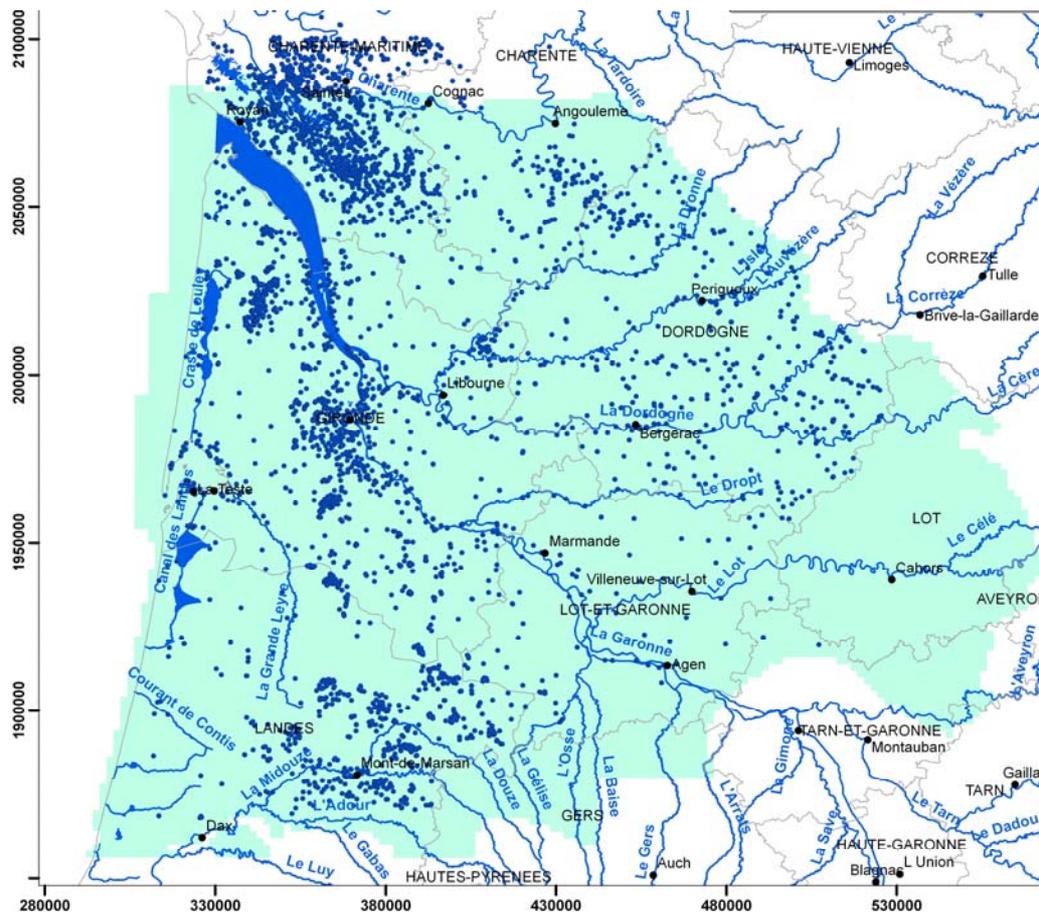


Illustration 4 – Carte de répartition des 3 759 captages recensés dans la BD « Prélèvements » et limite d'extension globale du modèle MONA

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

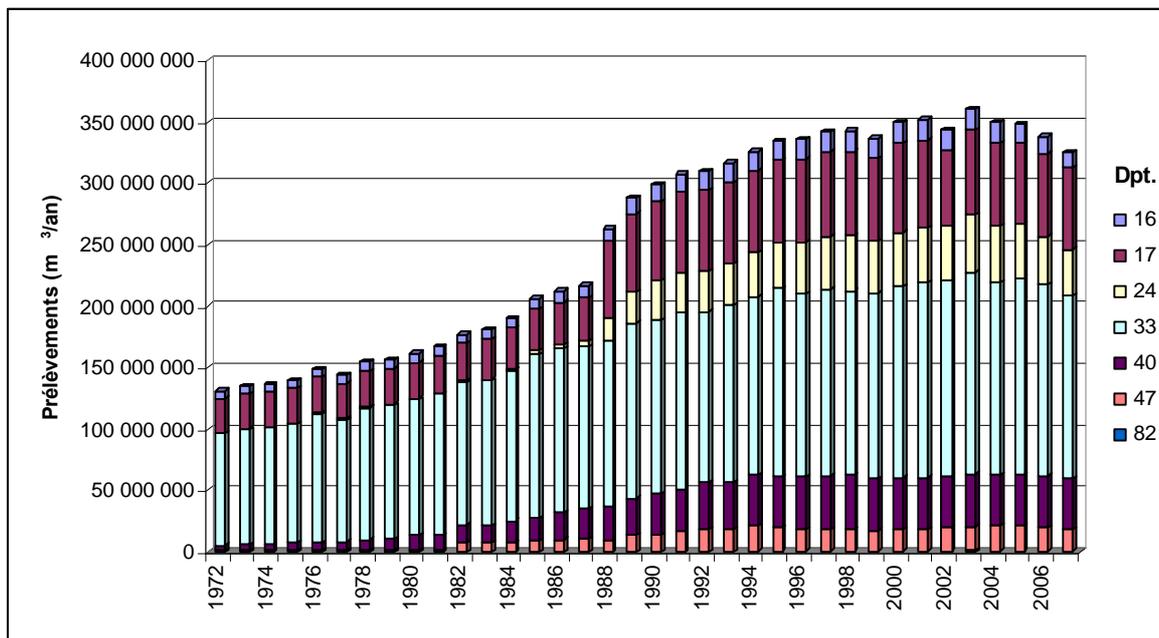


Illustration 5- Evolution des prélèvements par département (tous usages confondus) pour les 3 759 ouvrages contenus dans base de données des prélèvements

La distribution spatiale des captages issus de la base de données dépasse les limites d'extension du modèle MONA (cf. illustration 4). 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'outils spécifiques sur ce secteur plus à même de répondre à ces problématiques de nappes libres.

Par conséquent, une partie de ces données n'est pas introduite dans le modèle, en particulier sur la partie nord des départements 16 et 17. En sélectionnant uniquement les captages entrant dans le limites du MONA, on dénombre **3 248** ouvrages sollicitant les 14 nappes modélisées (hors Plio-quatenaire) 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** (illustration 6). L'illustration ci-dessous 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 3248 ouvrages considérés comme entrant dans les limites du MONA, 69 ouvrages très proches des limites du MONA mais situés à l'extérieur du maillage (à cause de sa précision à 2 x 2 km) bien qu'ils captent les aquifères

modélisés 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).

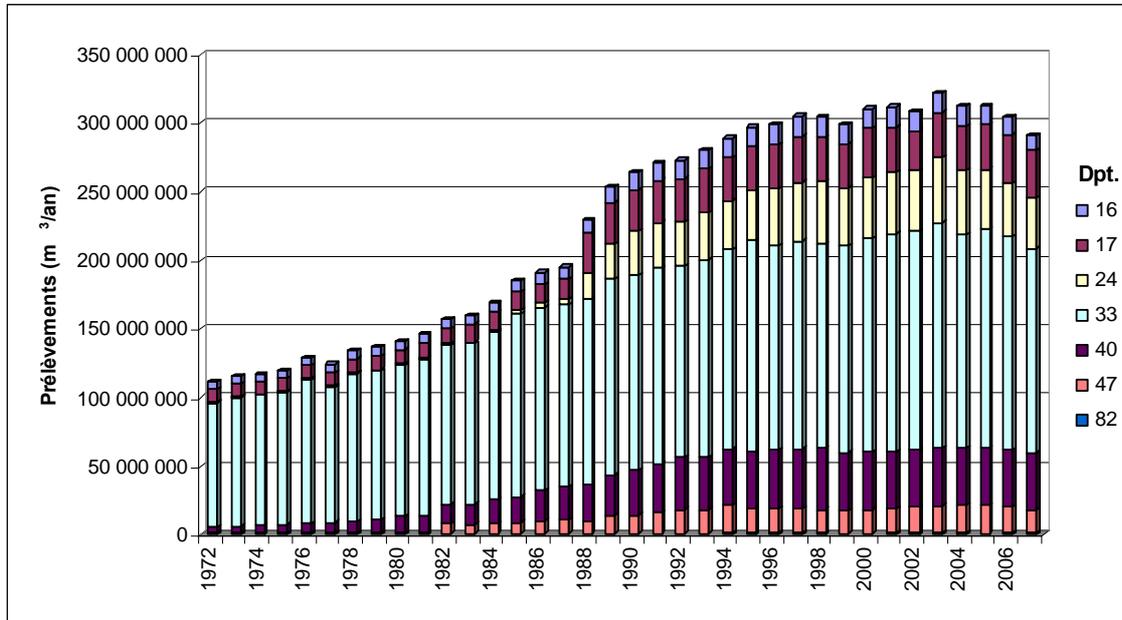


Illustration 6 - Evolution des prélèvements par département (tous usages confondus) – 3 248 ouvrages pris en compte dans le modèle MONA

Si l'on considère à présent les prélèvements entrant dans le domaine d'étude tel que défini au chapitre 1.3.2 (limite d'extension des aquifères de l'Oligocène au Plio-quaternaire fixée selon la latitude $Y=218$ km (L3S km) et prise en compte des zones captives uniquement (annexe 1), on obtient 2048 ouvrages sollicitant totalement ou pour partie (cas d'ouvrages captant plusieurs nappes dont certaines libres) les zones captives des 14 nappes modélisées (hors Plio-quaternaire). Ils se répartissent comme suit : 3 en Tarn-et-Garonne (82), 57 en Lot-et-Garonne (47), 0 dans le Lot (46), 47 dans les Landes (40), 1260 en Gironde (33), 291 en Dordogne (24), 282 en Charente-Maritime (17) et 108 en Charente (16).

Les volumes prélevés en 2007 sur les 2048 captages situés dans la zone d'étude, étaient d'environ **201 millions de m^3** (illustration 7). Le maximum de prélèvements enregistré correspond à l'année 2003 avec près de 227 millions de m^3 .

On constate que le département de la Gironde est celui qui sollicite, et a toujours sollicité, le plus les nappes d'eaux souterraines du nord du Bassin aquitain. L'exploitation des nappes captives en Lot-et Garonne n'a réellement débuté qu'au début des années 80 avec les premiers forages réalisés au Jurassique. Le développement des forages en Dordogne a connu une réelle expansion à la fin des années 80 et au début des années 1990 avec la réalisation de nombreux forages destinés à l'alimentation en eau potable et à l'agriculture. Depuis le milieu des années

1990, la progression des volumes prélevés s'est fortement ralentie et tend même à diminuer depuis 2003.

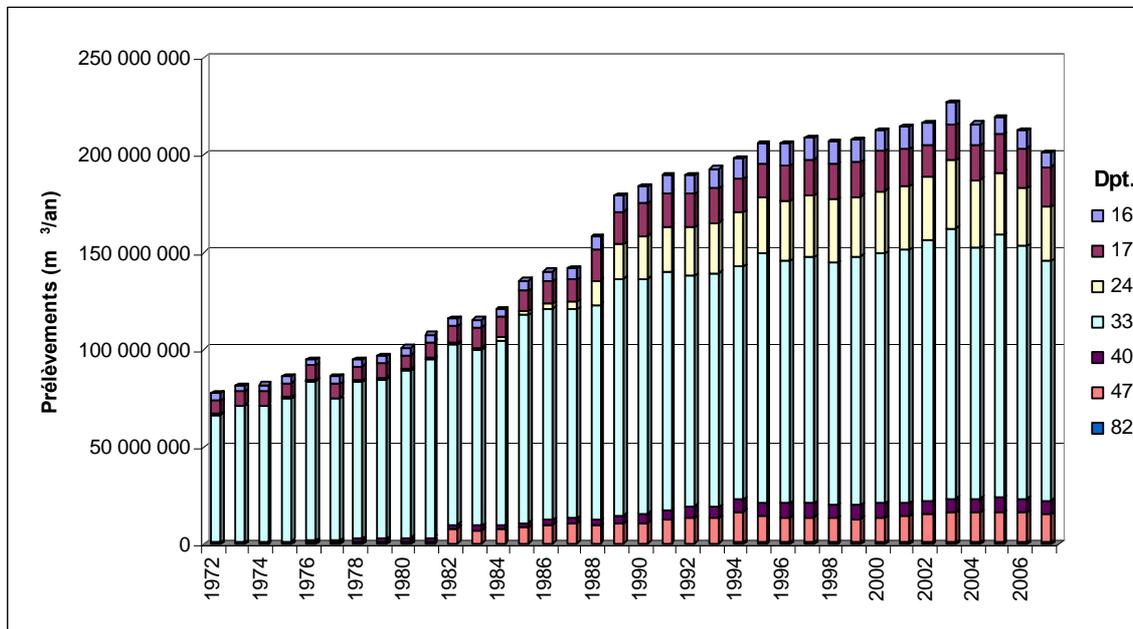


Illustration 7 - Evolution des prélèvements par département (tous usages confondus) – 2048 ouvrages de la zone d'étude (sollicitant une nappe captive)

Une analyse détaillée des prélèvements par nappe et par usage issus de ces 2048 ouvrages est présentée ci-après.

2.1.2. Analyse des prélèvements par nappe et par usage

L'illustration 8 présente la répartition des 2048 ouvrages sollicitant totalement ou partiellement une nappe captive.

On note la part importante des ouvrages sollicitant le Miocène, l'Oligocène l'Eocène et le Turonien. Ces aquifères sont également les plus sollicités en terme de volumes prélevés (illustration 9).

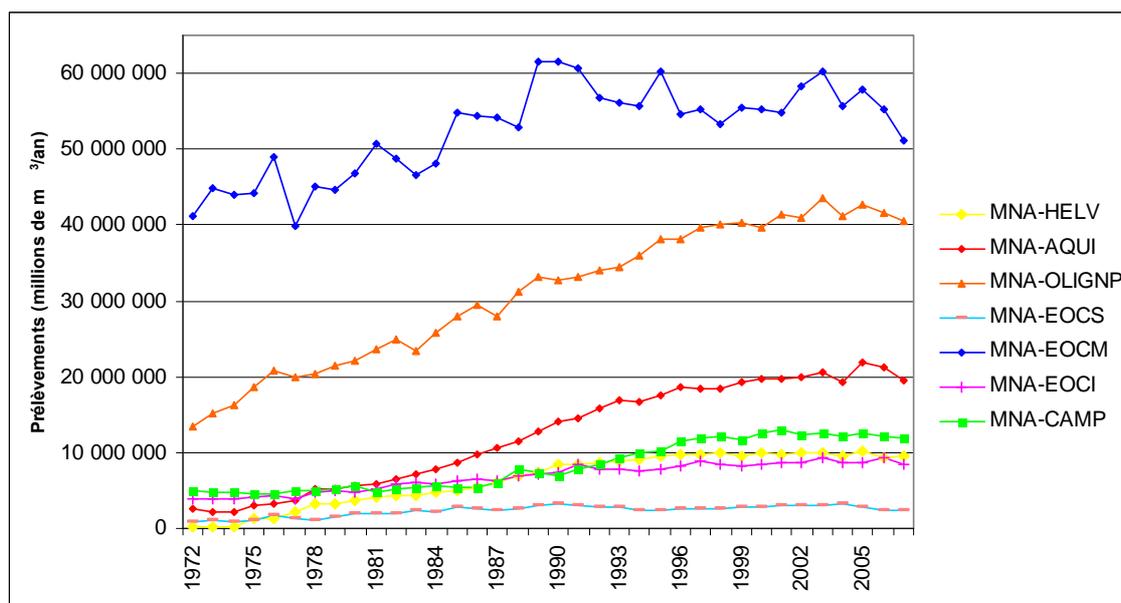
Un grand nombre de forages captent plusieurs aquifères. Une grande majorité sollicite le Turonien et le Coniacien sans distinction, souvent à la faveur de forages réalisés en trous nus dans les calcaires.

Les réservoirs du Jurassique supérieur (Kimméridgien et Tithonien) ne sont que très marginalement exploités dans leur partie captive. Ces aquifères ayant des productivités assez limitées.

AQUIFERE CAPTE	N° COUCHE	CODE NAPPE	NOMBRE OUVRAGES
Helvétien	2	MNA-HELV	116
Aquitainien-Burdigalien	3	MNA-AQUI	338
Oligocène	4	MNA-OLIGNP	404
Éocène supérieur	5	MNA-EOCS	67
Éocène moyen	6	MNA-EOCM	298
Éocène inférieur	7	MNA-EOCI	24
Campano-Maastrichtien	8	MNA-CAMP	64
Coniacien-Santonien	9	MNA-COST	81
Turonien	10	MNA-TURO	210
Cénomanién	11	MNA-CENO	133
Tithonien	12	MNA-TITH	4
Kimméridgien	13	MNA-KIMM	5
Bathonien-Calovo-Oxfordien	14	MNA-BACX	45
Bajocien	15	MNA-BAJO	25
Ouvrages sollicitant 2 nappes			220
Ouvrages sollicitant 3 nappes			14
			2048

Illustration 8 – Répartition des 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives) par nappe

Pour les forages captant deux réservoirs, les volumes sont affectés arbitrairement pour moitié à chacun d'eux. La même logique est adoptée lorsqu'un forage recoupe trois aquifères. Parmi les ouvrages captant plusieurs nappes, certains sollicitent une nappe captive et une nappe libre (cas de nombreux ouvrages Turonien et Coniacien). Seuls les volumes captifs sont comptabilisés dans les volumes présentés ci-dessous (illustration 9).



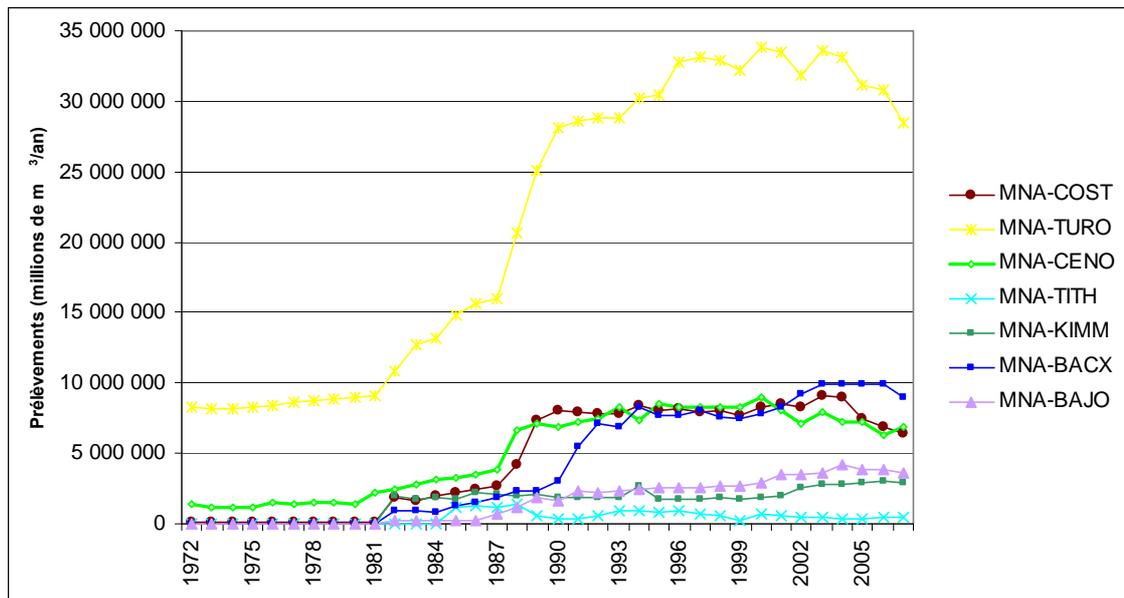


Illustration 9 – Répartition des 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives) par nappe

La part de l'eau destinée à un usage industriel (illustration 10) n'a cessé de diminuer depuis 1972 (aujourd'hui à 3% environ) alors que dans le même temps, les volumes prélevés à usage agricole et d'alimentation en eau potable ont fortement progressé (années 1980 et 1990). L'évolution des prélèvements et des usages apparaît beaucoup plus stable depuis le milieu des années 1990.

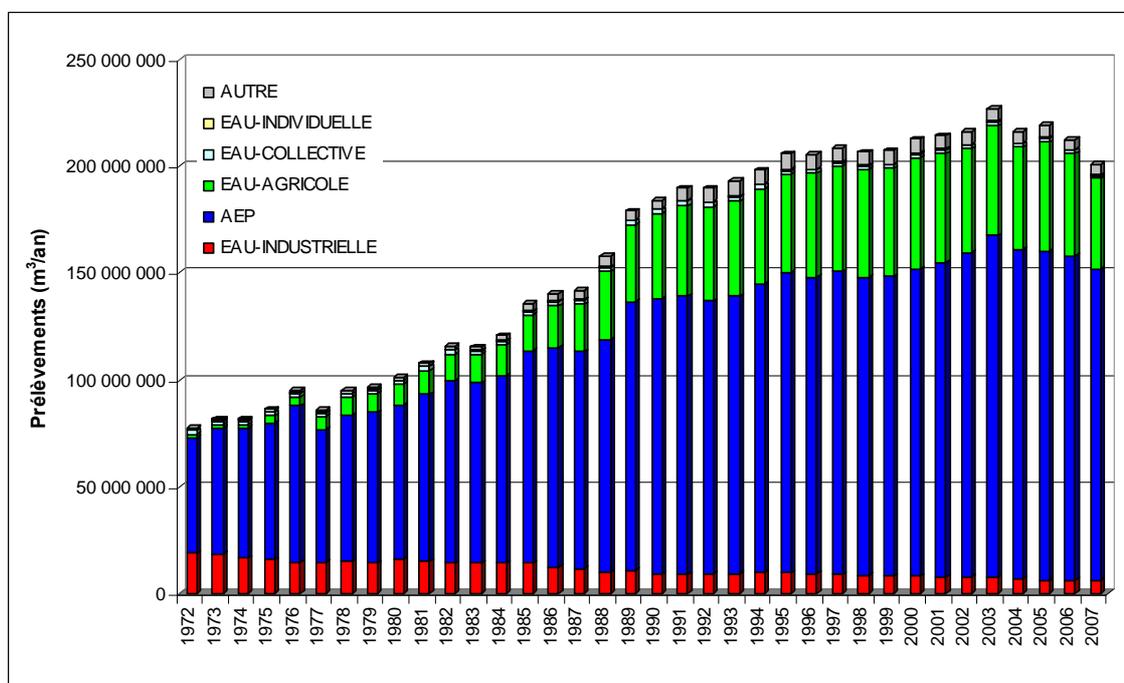


Illustration 10 – Répartition des 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives) par nappes

Les illustrations 11 et 12, ainsi que l'annexe 3, présentent la répartition des usages par nappe. Afin de limiter le biais qui peut être engendré par l'analyse d'une seule année de prélèvements, une moyenne a été calculée sur la période 2000-2007. Cette période est suffisamment longue pour être représentative du niveau d'exploitation actuel des nappes et des usages de l'eau. Elle est également suffisamment limitée pour éviter un biais lié à une évolution trop forte des prélèvements et des usages dans le temps.

L'AEP représente plus de 70% des prélèvements dans les nappes captives. Ce chiffre masque des hétérogénéités fortes puisque cet usage ne représente que 10 à 20% dans les nappes du Miocène, plutôt sollicitées pour l'agriculture, et plus de 90% dans la nappe de l'Eocène moyen et celle du Bathonien-Calovo-Oxfordien.

L'Eocène et l'Oligocène sont de loin (respectivement 30 et 50 millions de m³/an) les aquifères plus sollicités pour l'usage AEP.

La forte sollicitation du Miocène à des fins agricoles s'explique par la relative accessibilité de la ressource qui est peu profonde et donc économiquement intéressante pour cet usage. L'annexe 4 présente des cartes de répartition spatiale des prélèvements, par nappe et par usage. Les ouvrages agricoles sont généralement localisés à proximité des zones d'affleurements ou des grandes structures anticlinales (Jonzac, Mareuil...) qui correspondent à des zones où les aquifères sont peu profonds.

L'aquifère Oligocène présente la particularité d'être très exploité pour l'AEP et l'agriculture. C'est un aquifère productif, peu profond et présentant des eaux de très bonne qualité. C'est avec l'Eocène, la principale ressource en eau potable de la Communauté Urbaine de Bordeaux (C.U.B.).

Le Cénomaniien apparaît comme la principale ressource géothermale du nord du Bassin aquitain. Cet usage, bien que marginal, est surtout développé en Gironde au droit de l'agglomération bordelaise.

Les aquifères du Jurassique sont très majoritairement exploités en Dordogne et en Lot-et-Garonne où la profondeur limitée des réservoirs permet d'exploiter les nappes. En revanche en Gironde, les aquifères jurassiques sont beaucoup trop profonds pour disposer d'un accès aisé à la ressource (coût, qualité des eaux et température).

en m ³ /an	AEP	EAU- AGRICOLE	EAU- INDUSTRIELLE	CHAUFFAGE	EAU- PISCICULTURE	EAU- COLLECTIVE	EMBOU- TEILLAGE	EAU- INDIVIDUELLE	EAU- SERVICE- PUBLIC	Total
02_MNA-HELV	940 718	7 554 615			1 220 000	31 700		57 127		9 804 160
03_MNA-AQUI	4 585 915	14 138 164	1 026 346			396 015		8 981	54 778	20 210 199
04_MNA-OLIGNP	30 319 317	9 386 923	740 709		264 458	350 411	41 375	31 719	197 534	41 332 445
05_MNA-EOCS	1 588 857	545 248	530 773	3 812		151 599		19 526	605	2 840 419
06_MNA-EOCM	51 118 402	665 193	2 666 383	143 812		712 482	634 597	95 044		56 035 912
07_MNA-EOCI	7 746 100	141 461	481 056		424 276	0		0		8 792 893
08_MNA-CAMP	10 362 012	561 753	835 401	165 236	424 276	0		32 356		12 381 033
09_MNA-COST	5 357 657	2 558 477	26 400			0		58 231		8 000 765
10_MNA-TURO	22 831 895	8 538 441	186 683	312 865		1 000		163 125		32 034 009
11_MNA-CENO	2 291 368	3 846 960	0	1 318 907						7 457 235
12_MNA-TITH	168 393			335 983						504 376
13_MNA-KIMM	2 494 678	131 154								2 625 832
14_MNA-BACX	8 469 814	342 239	419 794							9 231 847
15_MNA-BAJO	2 768 803	715 046	140 478							3 624 326
Total	151 043 929	49 125 673	7 054 022	2 280 614	2 333 011	1 643 206	675 972	466 109	252 917	214 875 452

Illustration 11 – Répartition des prélèvements par nappe et par usage pour les 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives)- moyenne 2000-2007 (en m³/an)

Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains

en % par nappe	AEP	EAU-AGRICOLE	EAU-INDUSTRIELLE	CHAUFFAGE	EAU-PISCICULTURE	EAU-COLLECTIVE	EMBOU-TEILLAGE	EAU-INDIVIDUELLE	EAU-SERVICE-PUBLIC	Total
02_MNA-HELV	9.6%	77.1%	0.0%	0.0%	12.4%	0.3%	0.0%	0.6%	0.0%	100.0%
03_MNA-AQUI	22.7%	70.0%	5.1%	0.0%	0.0%	2.0%	0.0%	0.0%	0.3%	100.0%
04_MNA-OLIGNP	73.4%	22.7%	1.8%	0.0%	0.6%	0.8%	0.1%	0.1%	0.5%	100.0%
05_MNA-EOCS	55.9%	19.2%	18.7%	0.1%	0.0%	5.3%	0.0%	0.7%	0.0%	100.0%
06_MNA-EOCM	91.2%	1.2%	4.8%	0.3%	0.0%	1.3%	1.1%	0.2%	0.0%	100.0%
07_MNA-EOCI	88.1%	1.6%	5.5%	0.0%	4.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
08_MNA-CAMP	83.7%	4.5%	6.7%	1.3%	3.4%	0.0%	0.0%	0.3%	0.0%	100.0%
09_MNA-COST	67.0%	32.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	0.0%	100.0%
10_MNA-TURO	71.3%	26.7%	0.6%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%	100.0%
11_MNA-CENO	30.7%	51.6%	0.0%	17.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
12_MNA-TITH	33.4%	0.0%	0.0%	66.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
13_MNA-KIMM	95.0%	5.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
14_MNA-BACX	91.7%	3.7%	4.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
15_MNA-BAJO	76.4%	19.7%	3.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%
Total	70.3%	22.9%	3.3%	1.1%	1.1%	0.8%	0.3%	0.2%	0.1%	100.0%

Illustration 12 – Répartition des prélèvements par nappe et par usage pour les 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives)- moyenne 2000-2007 (en %)

2.1.3. Projection à 2050 (scénario prospectif)

a) Mise en service prévisionnelle de nouveaux captages

En Gironde, la mise en place de ressources de substitution pour diminuer la pression des prélèvements dans les nappes les plus sollicitées est l'une des mesures du SAGE « Nappes Profondes » du département. La réflexion est actuellement en cours pour déterminer les lieux d'implantation exacts et les volumes à substituer. Dans la mesure où les choix définitifs n'ont pas encore été faits, le SMEGREG (Syndicat Mixte d'Etudes et de Gestion des Ressources en Eau de la Gironde) a proposé de s'appuyer sur les hypothèses suivantes pour le département de la Gironde :

- pas de mise en service du champ captant de Sainte-Hélène (Oligocène) dans l'immédiat,
- mise en service d'un champ captant le Cénomaniens dans le sud de la Gironde, au droit de la retombée sud de l'anticlinal de Villagrains dans le secteur de Saint-Magne, capable de produire 10 millions de m³/an en 2015,
- mise en service d'un système de réalimentation artificielle de l'Oligocène à partir d'eau de la Garonne prélevée à travers ses berges (impact nul sur l'Oligocène à l'échelle du MONA car reprise immédiate) pour un volume de 10 millions de m³/an en 2017.

La mise en place de ces substitutions induit de prendre en compte une baisse des prélèvements sur les ouvrages AEP déjà en service de la façon suivante :

<i>en millions de m³/an</i>	CUB-Eocène	CUB-Oligocène ligne 100 000	Carbon-Blanc (6 forages Eocène)
2015	-4	-4	-1
2017	-4	-2	-1

Pour les simulations, les baisses de prélèvement sont prises en compte de manière homogène plutôt que de considérer l'arrêt de tel ou tel forage : cela ne devrait pas avoir de conséquence particulière sur les résultats des simulations et correspond plus au souhait de limiter les prélèvements en gardant le parc de forages actuel opérationnel.

La mise en service de nouveaux captages AEP est également prise en compte de manière homogène (voir le tableau ci-après – illustration 13) pour tous les départements. Ces éléments nous ont été transmis par les acteurs locaux. Au total 34 ouvrages doivent être mis en service entre 2008 et 2020. Pour chaque ouvrage, le débit d'exploitation prévisionnel envisagé a été pris en compte.

INDICE BSS	DEPT	COMMUNE	X_L2E_m	Y_L2E_m	CODE NAPPE MONA	DATE CREATION	DATE DE MISE EN SERVICE ESTIMEE	VOLUME PREVISIONNEL (m ³ /an)
08074X0082/F	24	MANAURIE	493485	1996640	MNA-TURO	25/02/2008	2008	115 288
07586X0017/F	24	TOCANE-SAINT-APRE	453525	2029640	MNA-TURO+MNA-COST	14/02/2008	2010	50 000
08077X0056/F	24	LIMEUIL	486750	1989200	MNA-TURO+MNA-COST	31/07/2002	2008	50 000
08078X0071/F	24	MOUZENS	495846	1984450	MNA-BACX	17/06/2008	2010	280 000
07828X0040/F	24	VERGT	470556	2003430	MNA-BACX	01/06/2004	2008	200 000
07585X0059/F	24	SIORAC-DE-RIBERAC	444889	2022540	MNA-TURO	30/06/2006	2008	80 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	359472	1956101	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	358551	1952456	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	360201	1953033	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	359555	1952401	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	360999	1952855	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	360517	1952263	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	361604	1952552	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	361164	1951507	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	362498	1952442	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	362113	1951575	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	363323	1952112	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	358647	1956334	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	363021	1951493	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	359004	1955440	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	358262	1955537	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	358894	1954588	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	358082	1954464	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	358427	1953570	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	357657	1952992	MNA-CENO		2015	500 000
n.d.	33	SAINT MAGNE	359128	1953226	MNA-CENO		2015	500 000
07806X0068/F	33	BAYAS	399790	2008510	MNA-EOCM+MNA-EOCI	07/10/2005	2010	1 000 000
07805X0016/F	33	SALIGNAC	388095	2008490	MNA-EOCM+MNA-EOCI	27/06/2007	2010	1 095 000
08057X0061/F	33	PINEUILH	433295	1982590	MNA-EOCM+MNA-EOCI	18/02/2008	2010	500 000
07543X0085/F	33	ORDONNAC	350278	2039061	MNA-EOCM	20/10/1971	2008	120 000
08281X0033/F2	33	LE POUT	387406	1983104	MNA-EOCM+MNA-EOCI	08/02/2007	2010	720 000
n.d.	46	LE BOULVE	504822	1936829	MNA-BACX		2010	250 000
n.d.	46	CAZALS	512000	1963000	MNA-BACX		2020	730 000
n.d.	46	PAYRIGNAC	522500	1973000	MNA-BACX		2015	350 000

Illustration 13 – Liste des nouveaux captages à intégrer au modèle sur la période 2008-2050

Parmi les 34 ouvrages, 11 ont déjà été créés (cf. date de réalisation du tableau ci-dessus) et disposent d'un indice national BSS. Ils sont pris en compte dans la base « Prélèvements » du MONA même s'il n'y a pas de prélèvements associés jusqu'à présent. Seuls leurs prélèvements ont été ajoutés à compter de la date de mise en service supposée.

b) Evaluation des prélèvements à l'horizon 2050

Les évolutions de prélèvements ont été estimées en considérant **une stabilisation des volumes dédiés à l'usage agricole et industriel sur la période 2008-2050**, et une augmentation des prélèvements destinés à l'alimentation en eau potable équivalente à l'évolution prévisionnelle de la population à partir de 2008 dans l'emprise du MONA (les données de prélèvement étant disponibles jusqu'en 2007).

Pour évaluer l'évolution de la consommation en eau potable, il été admis :

- une consommation individuelle (dite dotation unitaire par habitant) identique à celle d'une année « moyenne » constatée, soit l'année 2007 ;
- une évolution de population utilisant les prévisions INSEE en scénario « médian » du modèle OMPHALE (version basée sur le recensement de population de 2006)

Les calculs d'évolution de population réalisés par l'INSEE s'appuient sur un découpage territorial (voir illustration 14 ci-dessous) qui permet d'individualiser des zones où les évolutions de population peuvent-être considérées comme relativement homogènes.

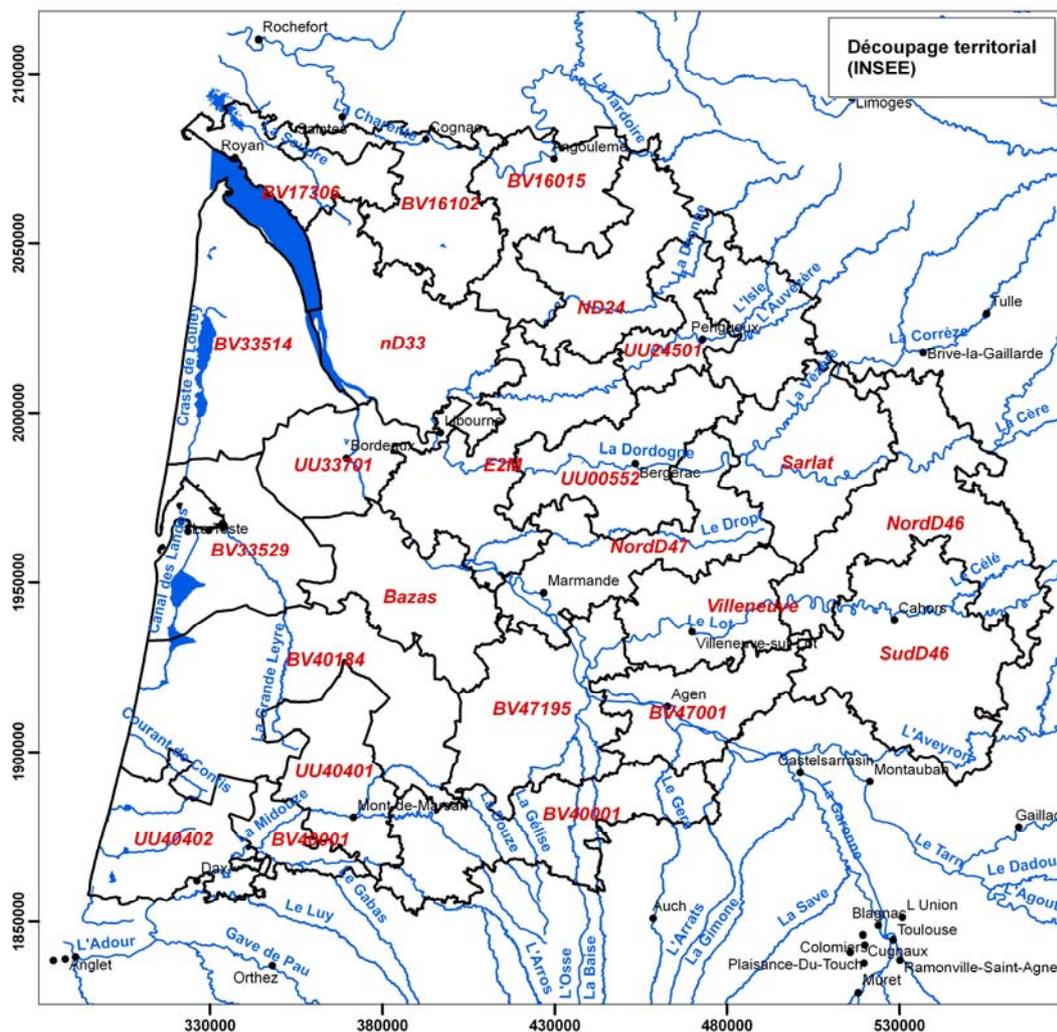


Illustration 14 – Découpage territorial fourni par l'INSEE (codes des 23 zones en rouge)

Les données transmises s'appuient sur le recensement de population de 2006. Un premier travail avait été réalisé sur la base des projections OMPHALE 1999 en fin d'année 2009. Compte tenu de la disponibilité des nouvelles données du recensement

de la population française réalisé en 2006, une convention de partenariat a été signée entre le BRGM et l'INSEE pour mener un travail spécifique et exploiter les prévisions d'évolution de population basées sur ce dernier recensement. Les nouvelles projections en termes d'évolution de population ont sensiblement évoluées avec ce nouveau modèle. Les résultats de cette nouvelle simulation réalisée avec le MONA, en intégrant ces données nouvelles, sont présentés dans ce rapport.

Pour chaque zone, le modèle OMPHALE fourni une population calculée avec un pas de 5 ans sur la période 2006-2030. Les projections de populations ont ensuite été interpolées au pas annuel sur la période (illustration 15) et extrapolées jusqu'en 2050 en prenant l'évolution moyenne enregistrée sur les 10 dernières années, de 2021 à 2030.

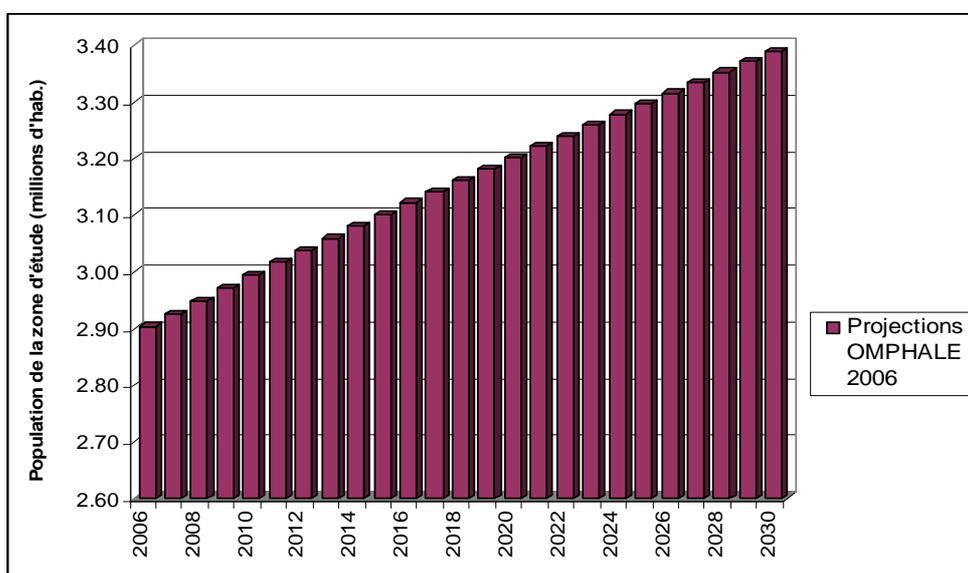


Illustration 15 – Evolution projetée de la population sur la zone d'étude - période 2006-2030 – Modèle OMPHALE 2006

En combinant les évolutions de populations à la consommation « moyenne » en AEP (année 2007 sélectionnée), on obtient une estimation de la consommation en eau potable sur la période 2008-2050. **L'intégration des prélèvements stables, agricoles et industriels**, permet d'obtenir les graphes suivants (illustrations 16 et 17) :

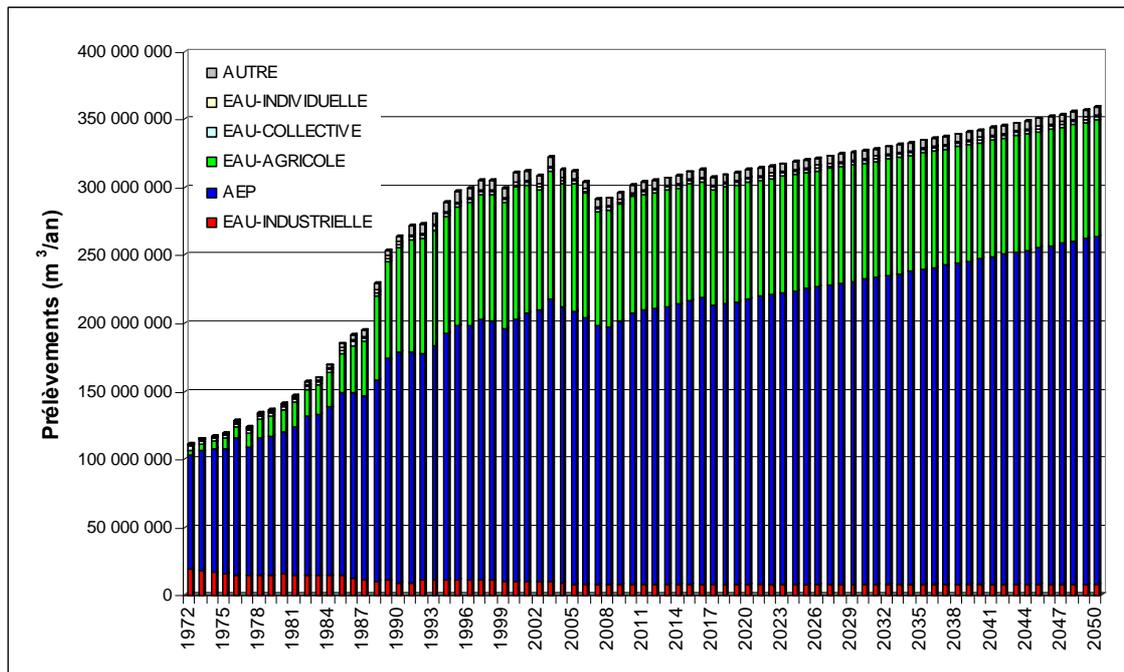


Illustration 16 – Prélèvements 1972-2007 et projection jusqu'en 2050 – Ouvrages (3248) pris en compte dans le modèle MONA

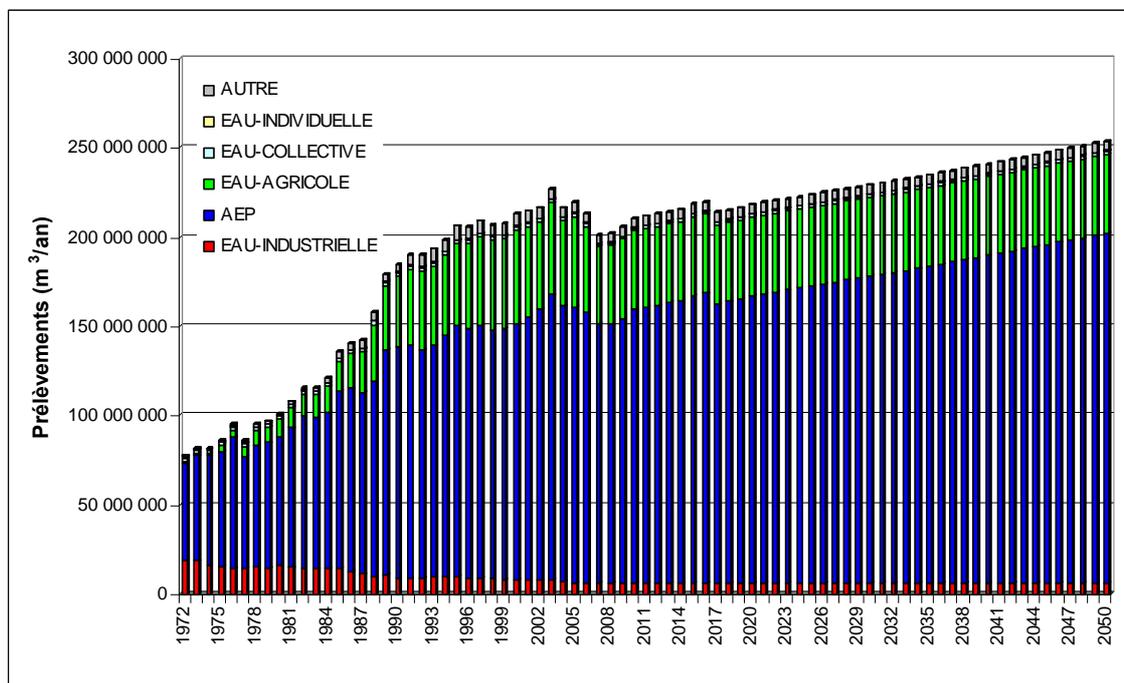


Illustration 17 – Prélèvements 1972-2007 et projection jusqu'en 2050 – Ouvrages (2048) pris en compte dans la zone d'étude (parties captives)

La mise en place des économies et substitutions (16 millions de m³) réalisées en Gironde (cf. chapitre 2.1.3 a) dans les nappes de l'Oligocène et de l'Eocène apparaît clairement au niveau global (illustrations 16-17) en 2017. La diminution réalisée en 2015 est, quant à elle, masquée par la mise en service de plusieurs forages à cette date dont le champ captant de Saint-Magne (33) au Cénomaniens (10 millions de m³/an). La projection des prélèvements par nappe sur la période 2008-2050 se trouve en annexe 5.

L'illustration 18 ci-dessous permet de voir l'augmentation des prélèvements dans chaque nappe entre 2050 et 2007 suite à la prise en compte des projections INSEE sur les forages AEP, la création des 34 nouveaux ouvrages et les économies et substitutions réalisées en Gironde dans les nappes de l'Oligocène et de l'Eocène.

Formation	N° Couche	Prélèvement 2007 (m3/an)	Prélèvement 2050 (m3/an) *	Variation relative
Helvétien	2	23 332 262	24 284 181	4%
Aquitaniens-Burdigaliens	3	41 145 591	44 659 753	9%
Oligocène	4	66 762 450	84 028 050	26%
Eocène supérieur	5	2 540 602	3 463 613	36%
Eocène moyen	6	52 137 398	63 688 023	22%
Eocène inférieur	7	8 417 872	12 346 224	47%
Campano-Maastrichtien	8	17 200 594	21 412 342	24%
Coniacien-Santonien	9	11 582 815	13 434 755	16%
Turonien	10	33 851 950	40 840 020	21%
Cénomaniens	11	15 565 253	26 538 006	70%
Tithonien	12	800 990	871 656	9%
Kimméridgien	13	2 915 378	3 820 619	31%
Bathonien-Callovo-Oxfordien	14	10 889 624	14 619 943	34%
Bajociens	15	3 787 283	4 468 075	18%

(*) : estimation à partir du scénario d'évolution démographique fourni par l'INSEE

Illustration 18 – Evolution des prélèvements entre 2007 et 2050 dans chaque couche du modèle MONA

Remarques importantes : au cours de la période 2008-2050, on applique une évolution de la demande en eau potable indexée sur la croissance démographique fournie par l'INSEE. Toutefois, même si les projections de prélèvements intègrent la mise en service de nouveaux captages jusqu'en 2020, le nombre de points de captages restera constant de 2020 à 2050. Cette situation n'est probablement pas réaliste dans la mesure où certains ouvrages sont peut-être sous-dimensionnés par rapport aux débits attendus à l'horizon 2050. Par ailleurs, d'un point de vue numérique, l'accroissement important des débits prélevés au droit d'une même maille pourrait engendrer des niveaux piézométriques calculés ne correspondant pas à la réalité.

De plus, les sources AEP voient leurs prélèvements augmenter proportionnellement à l'augmentation de population projetée par l'INSEE alors même que les conditions climatiques du scénario GIEC tendent à se dégrader (diminution des pluies efficaces donc a priori du débit des sources).

Ces limites ne sont pas de nature à remettre en cause les grandes tendances d'évolutions piézométriques simulées par le modèle Nord-Aquitain mais pourraient biaiser localement les résultats obtenus.

2.2. RECHARGE

Les données climatiques (Pluie et ETP) des 5 stations météorologiques (Mérignac, Bergerac, Gourdon, Cognac et Mont-de-Marsan) utilisées par le MONA, téléchargées à partir du site de la climathèque de MétéoFrance, servent à calculer les pluies efficaces au droit des zones d'affleurements des différentes nappes modélisées. Ces pluies efficaces, calculées au pas de temps décadaire puis agrégées au pas de temps annuel, sont ajustées lors de la phase de calage du modèle et une "loi" de recharge permet de passer des pluies efficaces à la recharge introduite dans le modèle.

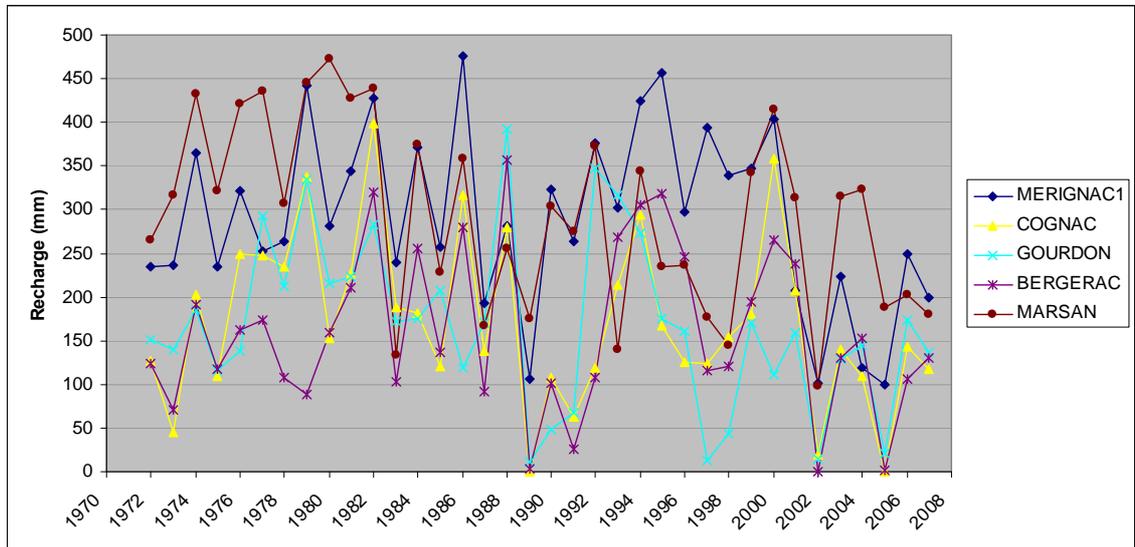


Illustration 19 – Evolution des pluies efficaces calculées à partir des données météorologiques des 5 stations retenues

Pour chaque station météorologique, une analyse statistique de la pluie efficace a été menée afin d'identifier les valeurs correspondant à des périodes de retour quinquennale « humide » ou quinquennale « sèche ».

Bien que les fréquences de retour ne soient pas synchrones entre les 5 stations, il a été admis, à partir de cette analyse, que l'année 1975 correspond à une année proche d'une période de retour quinquennale « sèche » tandis que l'année 1981 correspond à une année plutôt proche d'une période de retour quinquennale « humide ».

Parallèlement, les résultats des simulations d'évolution climatique issues des travaux du GIEC ont été récupérés auprès du CERFACS. Ces données, issues du modèle ARPEGE, et désagrégées à la maille de 8 km x 8 km fournissent des projections de pluie et d'ETP à l'horizon 2050, les données étant disponibles à partir de 2000. Le

CERFACS a procédé à l'extraction des données issues des différents scénarios en sa possession dans les mailles situées au droit des 5 stations météorologiques prises en compte dans le modèle Nord-Aquitain.

Parmi les scénarios d'évolutions climatiques disponibles, le scénario A1B dit « modéré » a été retenu. Le calcul des pluies efficaces, effectué en gardant la réserve utile utilisée lors de la phase de calage du modèle, donne les résultats suivants (illustration 20) représentés en moyennant les valeurs de pluies efficaces sur l'ensemble des 5 stations.

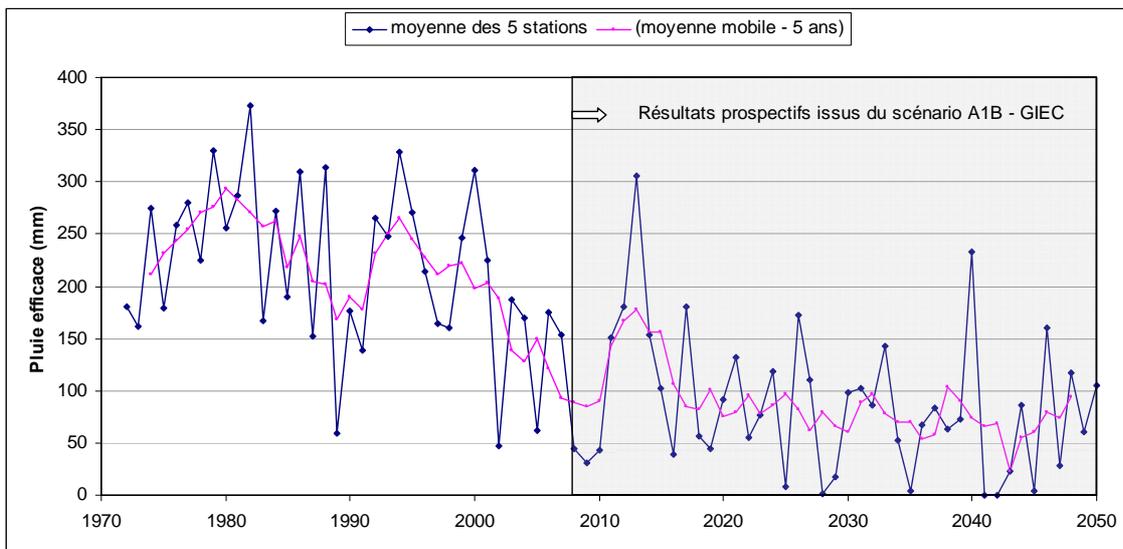


Illustration 20 – Evolution des pluies efficaces de 1972 à 2050 (moyenne sur les 5 stations météo) – Projection avec le scénario A1B du GIEC à partir de 2008 (en grisé)

Remarque : Le calcul des pluies efficaces de 2008 à 2050 est réalisé en prenant les mêmes règles que celle établies durant la phase de calage du modèle (1972-2006). Il convient toutefois de noter que l'évolution climatique simulée par ARPEGE, qui se traduit par une évolution significative des valeurs de précipitations et d'ETP, devrait modifier ces règles de calcul, en affectant en particulier la réserve utile. Cette modification des règles de calcul des pluies efficaces en fonction des conditions climatiques n'a cependant pas été prise en compte pour le scénario A1B, notamment parce qu'on est dans l'incapacité de savoir dans quelle mesure ces règles seront modifiées.

Afin d'évaluer la représentativité du modèle ARPEGE, une comparaison des pluies efficaces a été menée en prenant les données météorologiques mesurées et simulées sur les 5 stations sur la période de recouvrement disponible, soit de 2000 à 2007. La comparaison montre des différences variables d'une station à l'autre et suivant les années considérées. Le tableau suivant (illustration 21) présente les écarts de pluies efficaces, de manière synthétique, en moyennant les valeurs de pluies efficaces observées/simulées sur la période 2000-2007.

Station	Pluie efficace moyenne (mm/an) de 2000 à 2007 calculée :		Ecart (mm/an)
	à partir des données observées	à partir des données simulées	
MERIGNAC	168.3	137.8	30.4
COGNAC	136.9	87.3	49.6
GOURDON	111.1	89.2	21.9
BERGERAC	128.0	42.2	85.8
MARSAN	254.5	220.1	34.5

Illustration 21 – Comparaison entre les pluies efficaces moyennes calculées à partir des données météorologiques mesurées ou simulées par ARPEGE au niveau des 5 stations

Cette comparaison montre un déficit d'écoulement, lorsqu'on utilise les données issues du modèle ARPEGE, compris entre environ 22 mm à Gourdon et 86 mm à Bergerac en moyenne sur la période de comparaison.

Le calcul de la recharge s'appuyant sur les valeurs de pluies efficaces, il conviendra de tenir compte de ce constat lors de l'interprétation des résultats de simulation prospective avec le scénario A1B.

3. Scénarios : description et méthodologie

3.1. DESCRIPTION DES SCENARIOS

3.1.1. Scénarios tendanciels

L'objectif des scénarios tendanciels vise à simuler les évolutions piézométriques de chacune des nappes, sous différentes contraintes, afin d'évaluer l'inertie du système.

Lors des réunions de concertation, il a été convenu que ces simulations seraient réalisées sur la base d'un report des prélèvements d'années contrastées et de la recharge de 2 années climatiques contrastées sur une période d'environ 40 ans.

Concernant les prélèvements d'années contrastées, les années 2007 et 2003 ont été retenues pour les simulations, correspondant respectivement à des niveaux de prélèvement « moyen » et « fort » (valeur maximum, toutes nappes confondues, enregistrée sur la période 1972-2007).

Concernant les 2 années climatiques contrastées, les années 1975 et 1981 ont été retenues, sur la base de l'analyse statistique des pluies efficaces (cf. paragraphe 2.2), correspondant respectivement à des années plutôt « sèches » ou plutôt « humides » (en valeur de pluies efficaces annuelles).

Ainsi, en combinant deux-à-deux les paramètres recharge et prélèvement, reportés sur la période 2008-2050, on obtient quatre scénarios tendanciels.

La restitution de ces simulations se fera par le biais d'une analyse de sensibilité, complétée par la présentation de cartes et de chroniques piézométriques.

3.1.2. Scénario prospectif

Il s'agit de mettre en œuvre le scénario complexe construit en collaboration avec les acteurs locaux (cf. paragraphe 2.1.1).

Ce scénario intègre des évolutions de prélèvements complexes (arrêt ou mise en place de nouveaux captages, évolution de la consommation moyenne en AEP indexée sur la croissance démographique fournie par l'INSEE) et la prise en compte d'un scénario climatique prospectif (scénario médian A1B) issu des travaux du GIEC. **Ce scénario a été bâti avec le souci de représenter de la manière la plus réaliste possible l'évolution attendue de la demande en eau souterraine et du climat à partir de l'état actuel des connaissances sur ces sujets.** Les travaux du GIEC et de l'INSEE ont, à ce titre, été très utiles pour définir ce scénario.

Les simulations seront également réalisées sur la période 2008-2050 et les résultats seront présentés à l'aide des bilans hydrologiques, de cartes de rabattements et de chroniques piézométriques.

3.2. ANALYSE DES RESULTATS – PRINCIPE DU TEST DE SENSIBILITE

L'objectif de la mise en œuvre des scénarios tendanciels consiste à quantifier l'importance relative des paramètres d'entrée du modèle sur les flux d'eau dans le système et, d'une manière plus générale, l'impact sur la ressource en eau souterraine.

Afin d'aider à l'interprétation, les résultats des simulations seront présentés de manière synthétique sous forme d'analyse de sensibilité. Généralement, ce test consiste à faire varier graduellement un paramètre, toutes choses étant égales par ailleurs, et à observer les conséquences sur les résultats de simulation. Deux paramètres ont été retenus pour réaliser ce test : la recharge et les prélèvements.

L'analyse de sensibilité sera menée à partir d'une simulation de référence et l'importance de la sensibilité du modèle sera appréhendée à partir des variations relatives des sorties (ΔS) en fonction des variations relatives des paramètres d'entrée (ΔE) en représentant graphiquement la relation suivante :

$$\Delta S = (S - S_0) / S_0 = f(\Delta E) = f((E - E_0) / E_0)$$

S_0 représente les valeurs obtenues lors de simulation de référence et E_0 les paramètres d'entrée sur la même période.

Les diagrammes obtenus permettront d'évaluer la sensibilité du modèle à la recharge ou aux prélèvements, de manière globale, pour chacune des nappes.

La période de référence retenue correspond à la période 1998-2007 (situation actuelle) tandis que le résultat prospectif est analysé sur la période 2030-2050, en considérant que les flux d'eau échangés dans le système multicouche tendent vers une stabilisation.

Afin de représenter correctement les évolutions positives ou négatives du stockage, la relation ΔS est inversée (soit $\Delta S = (S_0 - S) / S_0$) dans la mesure où S_0 est négatif pour chacune des nappes.

4. Simulation des scénarios : résultats et discussions

4.1. EVOLUTION DES BILANS HYDROLOGIQUES

L'illustration 22 présente l'évolution des principales composantes du bilan hydrologique (prélèvement, recharge, stockage, débordement), exprimé en m³/jour, sur l'emprise totale (partie captive et libre) de chacune des nappes profondes (hors Plio-Quaternaire). Par convention, les flux négatifs indiquent une sortie (prélèvements, débordements) tandis que les flux positifs indiquent une entrée d'eau vers la nappe (recharge). Le terme de stockage permet de voir de manière synthétique si le bilan des flux est positif ou négatif au sein d'un aquifère donné.

Les flux sont présentés sous la forme d'un tableau à double entrée avec une ligne par aquifère représenté et une colonne par scénario simulé. Pour faciliter la lecture, la colonne de droite présente la composante « stockage » du bilan pour l'ensemble des scénarios (on parle de déstockage lorsque la valeur de cette composante est négative).

Avec le scénario « **Recharge 1981 + Prélèvements 2007** », la recharge importante se traduit, au bout d'un an, par une brusque augmentation du stockage pour l'ensemble des couches (excepté le Bajocien). Un état d'équilibre est à peu près atteint (valeur de stockage proche de zéro : entrées à peu près égales aux sorties) au bout de 40 ans (2050). On observe également, logiquement, une augmentation du débordement dans toutes les couches.

Bien que ce scénario soit très optimiste, le Bajocien continue de déstocker à l'horizon 2050, la réalimentation de cet aquifère étant probablement insuffisante. La partie captive du Bathonien-callovo-oxfordien (illustration 23) présente les mêmes caractéristiques.

Avec le scénario pessimiste « **Recharge 1975 + Prélèvements 2003** », la faible recharge associée à un fort prélèvement induit un déstockage qui tend à se réduire avec le temps (excepté dans le Bajocien). Cette réduction progressive du déstockage est due à la mise en place de flux de drainance (générés par le déstockage) combiné à la diminution du flux de débordement (cf. annexe 6). Dans le cas on peut considérer que le système multicouche aquitain en état de déséquilibre avéré.

On remarque d'ores et déjà sur les illustrations 22 et 23 le caractère peu sensible des nappes du Miocène aux variations de prélèvements (Q2003 ou Q2007).

L'illustration 23 présente l'évolution des prélèvements et du stockage, exprimé en m³/jour, en se focalisant sur la partie captive de chacune des nappes profondes (hors

Plio-Quaternaire). Il n'y a donc plus de terme de recharge et de débordement : les mailles « libres » où se produisent ces phénomènes étant exclues de ce bilan.

Par convention, les flux négatifs indiquent une sortie (prélèvements, débordements) tandis que les flux positifs indiquent une entrée d'eau vers la nappe (recharge). Le terme de stockage permet de voir de manière synthétique si le bilan des flux est positif ou négatif au sein d'un aquifère donné.

Concernant l'impact du scénario « **Recharge 1981 + Prélèvements 2007** » sur le stockage dans la partie captive des nappes, on remarque une stabilisation à une valeur de stockage proche de zéro (entrées=sorties) au bout de 40 ans (2050) correspondant à une mise à l'équilibre du système sauf pour l'Eocène supérieur où l'inertie semble plus importante. Le Bajocien et le Bathonien font exception puisque la réduction du déstockage ne s'effectue que très lentement.

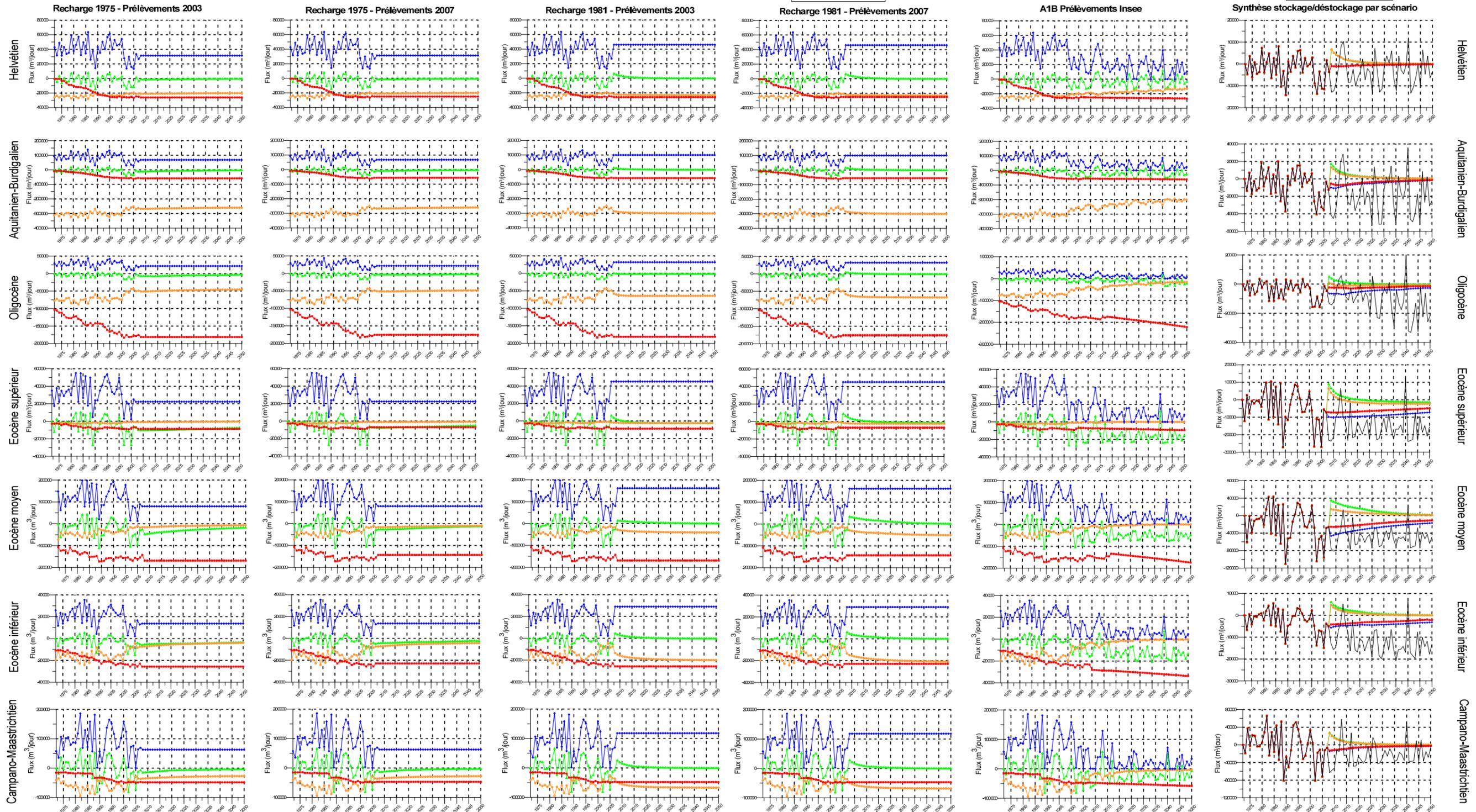
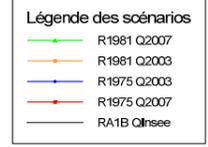
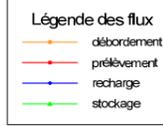
Avec le scénario pessimiste « **Recharge 1975 + Prélèvements 2003** », une faible recharge associée à un fort prélèvement montre une tendance au maintien d'un déstockage plus ou moins prononcé selon les nappes.

Concernant l'impact du scénario complexe (« **Recharge A1B + Prélèvements INSEE** ») les variations de stockage en zone captive indiquent une dépendance du stockage/déstockage aux taux de recharge. Toutefois, ces variations sont atténuées par rapport aux bilans couplant la partie libre et la partie captive (illustration 23). Ce scénario entraîne un maintien du déstockage à un niveau stabilisé dans pratiquement toutes les couches lorsqu'on considère la partie libre et la partie captive. En ne prenant que la partie captive (illustration 24), on constate une forte accentuation du déstockage dans les nappes fortement sollicitées (Oligocène et Eocène moyen) ou mal réalimentées (Bajocien).

La diminution de la recharge, engendrée par le scénario A1B du GIEC, associée à une augmentation des prélèvements (OMPHALE 2006), sur le long terme, conduit à un déstockage plus important qu'avec les 4 scénarios tendanciels, y compris le scénario le plus défavorable « Recharge 1975 + Prélèvements 2003 » et ce, malgré la prise en compte de substitutions dans les nappes de l'Oligocène et de l'Eocène.



Simulations prospectives à l'horizon 2050
Bilan des flux des aquifères du Nord du Bassin Aquitain





Simulations prospectives à l'horizon 2050
Bilan des flux des aquifères du Nord du Bassin Aquitain

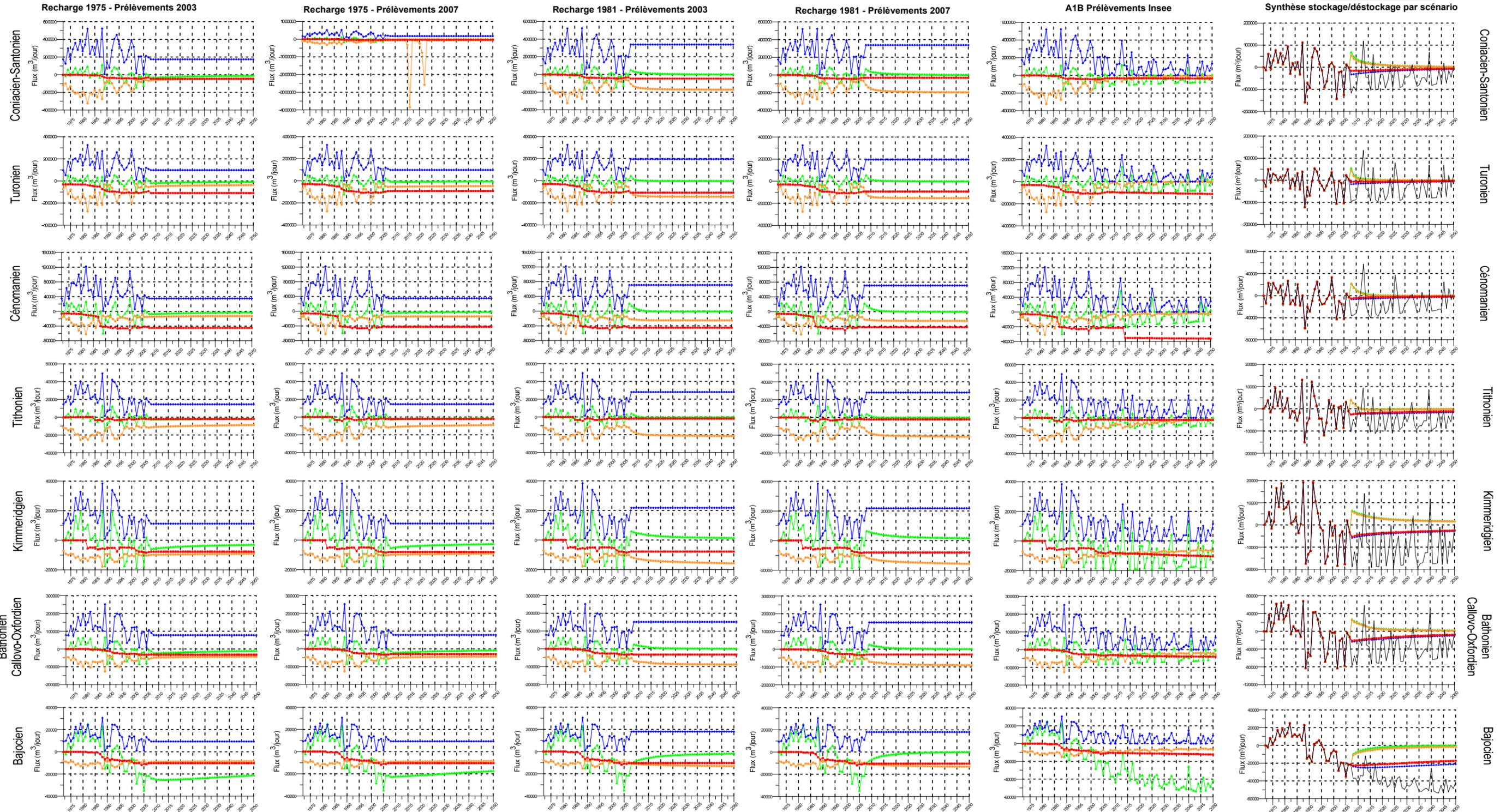
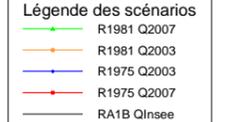
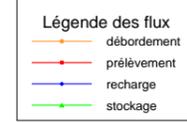
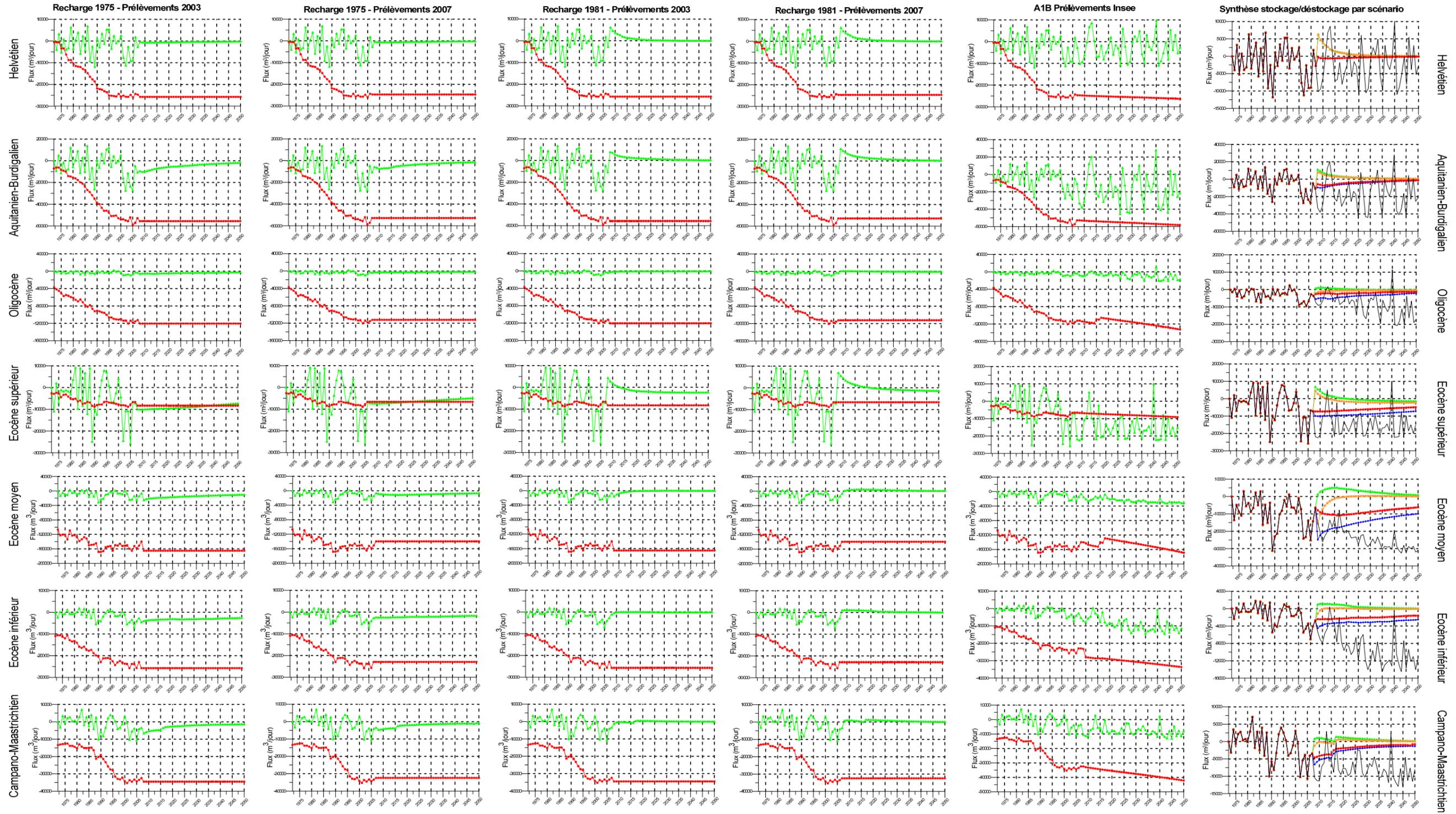
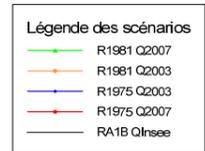
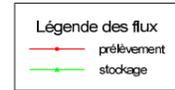


Illustration 22 – Bilans hydrologiques pour les 14 nappes profondes du modèle dans leurs parties captives et libres – 5 scénarios

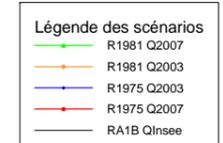


Simulations prospectives à l'horizon 2050
Bilan des flux des parties captives des aquifères du Nord du Bassin Aquitain





Simulations prospectives à l'horizon 2050
Bilan des flux des parties captives des aquifères du Nord du Bassin Aquitain



Recharge 1975 - Prélèvements 2003

Recharge 1975 - Prélèvements 2007

Recharge 1981 - Prélèvements 2003

Recharge 1981 - Prélèvements 2007

A1B Prélèvements Insee

Synthèse stockage/déstockage par scénario

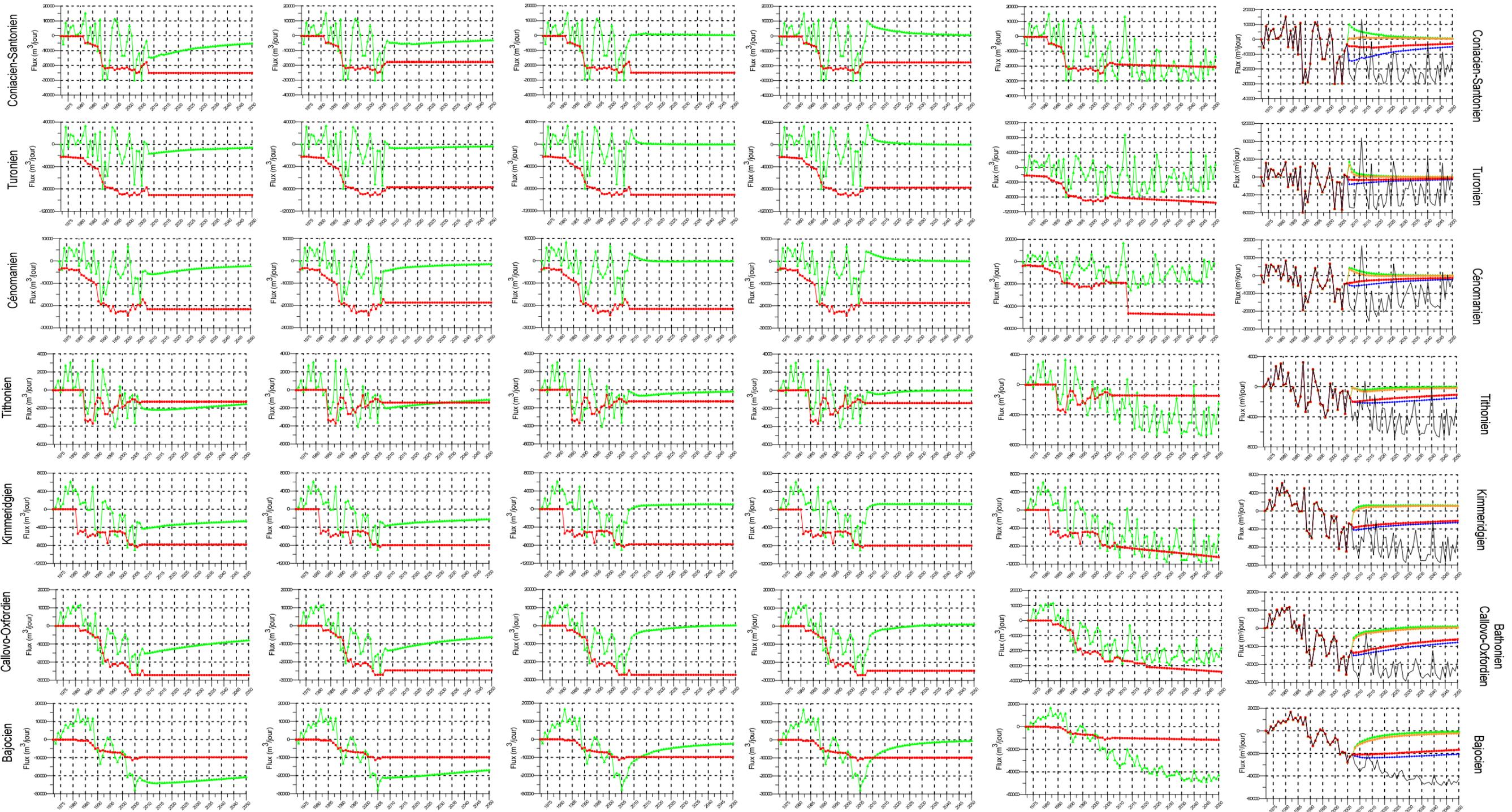


Illustration 23 – Bilans hydrologiques pour les 14 nappes profondes du modèle dans leurs parties captives – 5 scénarios

4.2. ANALYSE DE SENSIBILITE

Les deux illustrations suivantes (24 et 25) présentent l'analyse de sensibilité du modèle (cf. chapitre 3.2) en considérant les parties libres et captives de chacune des couches du modèle. Pour faciliter la lecture, chaque graphique a été reproduit deux fois pour représenter la pente de la droite matérialisant l'écart de sensibilité relative entre deux scénarios « simplifiés » pour chacune des nappes. Le scénario complexe « Recharge A1B + Prélèvements INSEE » a été replacé sur ces graphes dans un objectif de comparaison avec les scénarios tendanciels.

La pente des droites doit être considérée uniquement comme une aide à lecture. Elle ne représente en aucun cas la linéarité de la réponse du modèle.

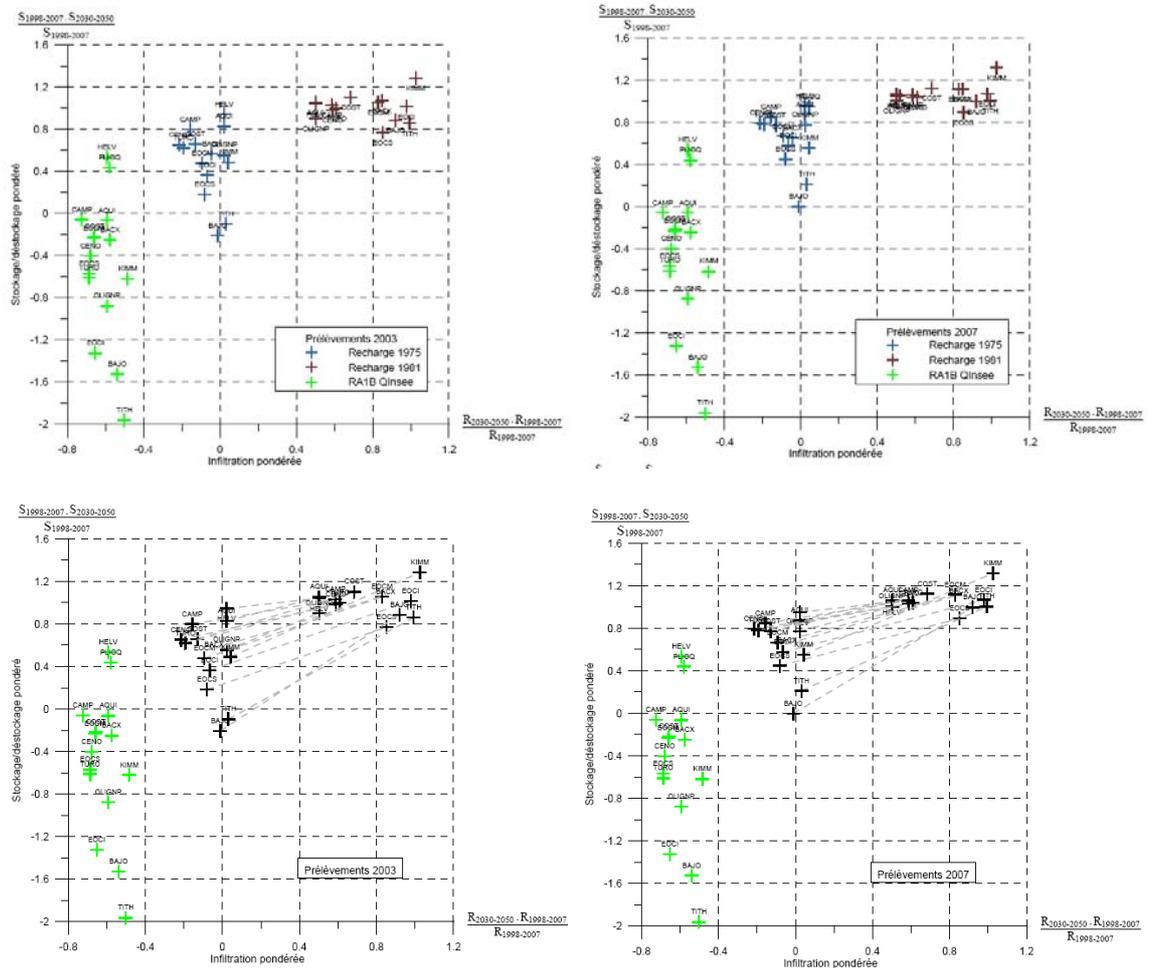


Illustration 24 – Résultats du test de sensibilité – Impact de la recharge

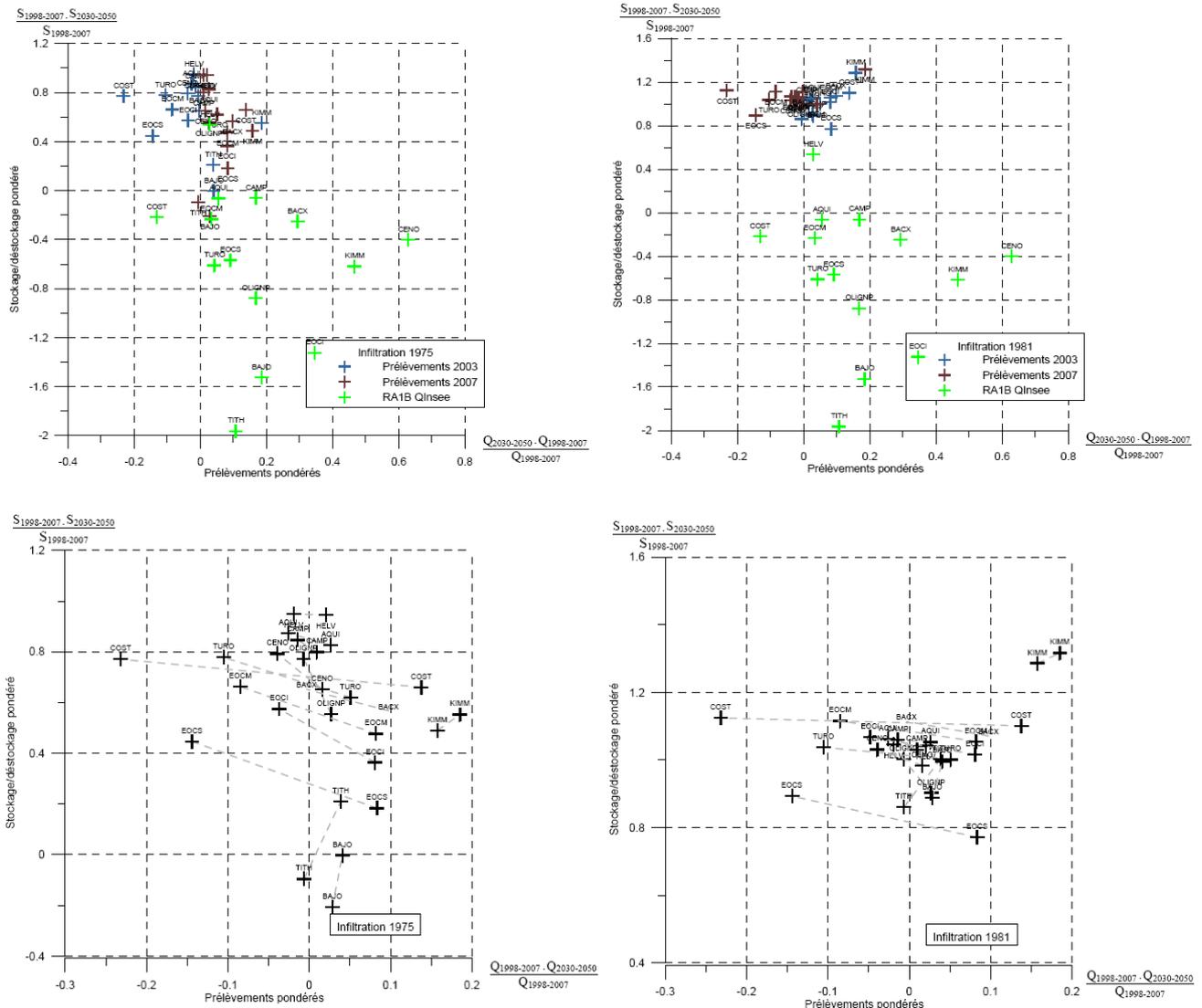


Illustration 25 – Résultats du test de sensibilité – Impact des prélèvements

Concernant la sensibilité du modèle à la recharge, à prélèvement constant, une variation relative d'une unité pour la recharge se traduit par une variation relative de l'ordre de 0,5 unité pour le stockage (cf. tableau ci-après). On observe néanmoins des différences de comportements suivant les nappes.

Concernant la sensibilité du modèle aux prélèvements, à recharge constante une variation relative d'unité pour les prélèvements se traduit par une variation supérieure à 0,5 unité pour le stockage (cf. illustration 26).

Il convient de noter la très forte variation de pente suivant les nappes et aussi la différence notable de pentes suivant que l'on considère la recharge 1975 ou la recharge 1981. Cette constatation indique une forte sensibilité du stockage aux valeurs

de prélèvements, avec une sensibilité accrue en période de faible recharge (« R constant 1975 » - augmentation de la pente), sauf pour l'Helvétien, l'Aquitainien et le Coniacien-Santonien que l'on peut considérer comme mieux réalimentés (au moins pour les deux premiers aquifères).

De plus, la sensibilité du stockage aux valeurs de prélèvements se fait sentir malgré la faible variation relative des prélèvements par rapport à la recharge.

Par ailleurs, l'inversion de pente (changement de signe) pour le Tithonien, le Kimméridgien et le Bajocien traduit un comportement singulier, avec par ailleurs des prélèvements plus élevés en 2007 qu'en 2003, contrairement aux autres nappes.

	Impact de la recharge		Impact des prélèvements		Remarques
	Qconstant 2003	Q constant 2007	R constant 1975	R constant 1981	
HELV	0.20	0.20	-0.11	-0.11	Forte sensibilité à la recharge
AQUI	0.47	0.39	-0.90	-0.19	Sensibilité équivalente entre recharge et prélèvements
OLIGNP	0.72	0.48	-6.40	-2.92	Forte sensibilité au prélèvements
EOCS	0.63	0.48	-1.16	-0.54	Forte sensibilité aux prélèvements si la recharge est faible
EOCM	0.63	0.49	-1.11	-0.36	Forte sensibilité aux prélèvements si la recharge est faible
EOCI	0.63	0.47	-1.79	-0.43	Forte sensibilité aux prélèvements si la recharge est faible
CAMP	0.31	0.29	-2.01	-1.25	Forte sensibilité au prélèvements
COST	0.54	0.43	-0.30	-0.06	Forte sensibilité à la recharge
TURO	0.48	0.32	-1.01	-0.24	Forte sensibilité aux prélèvements si la recharge est faible
CENO	0.41	0.30	-2.55	-0.85	Forte sensibilité au prélèvements
TITH	0.99	0.82	6.76	3.15	Forte sensibilité au prélèvements
KIMM	0.81	0.78	2.27	1.11	Forte sensibilité au prélèvements
BACX	0.56	0.52	-0.84	-0.42	Forte sensibilité aux prélèvements si la recharge est faible
BAJO	1.18	1.07	16.65	8.78	Forte sensibilité au prélèvements
moyenne	0.61	0.50	0.54	0.41	
ecart type	0.25	0.23	5.24	2.64	

Illustration 26 – Résultats du test de sensibilité – Représentation des pentes entre scénarios « simplifiés »

L'impact de la recharge et/ou des prélèvements sur le (dé)stockage diffère de façon importante suivant les nappes considérées. Les nappes les plus profondes (hors parties libres) apparaissent logiquement moins impactées par les variations de recharge mais y sont tout de même très sensibles. Les nappes du Miocène et de l'Oligocène sont, quant à elles, mieux réalimentées ce qui se traduit par une plus

grande sensibilité de la variation du stock à la recharge. De plus, la part des prélèvements dans les flux transitant dans le Miocène (contrairement à l'Oligocène) est peu importante ce qui réduit la sensibilité du stock de ces couches aux variations de prélèvements.

4.3. IMPACT SUR LA PIEZOMETRIE

4.3.1. Impact régional

L'illustration 27 présente les évolutions de piézométries simulées sur une sélection de 14 piézomètres (un piézomètre par nappe profonde). Les piézomètres ont été sélectionnés dans les parties profondes des nappes, loin des zones de recharge. Une sélection plus importante est consultable en annexe 13 avec les cartes de localisation correspondantes (annexe 12).

Les évolutions piézométriques à l'horizon 2050 illustrent les constatations issues de l'analyse des bilans. En particulier, le scénario complexe (« Recharge A1B + Prélèvements INSEE ») se traduit par une baisse généralisée des niveaux piézométriques tandis que le scénario optimiste (« Recharge 1981 + Prélèvements 2007 ») montre un arrêt plus ou moins marqué de la chute des niveaux, avec même dans certains cas une remontée.

Les parties les plus captives des nappes du Jurassique et du Crétacé, réagissent moins rapidement à une recharge importante sur le long terme – cas du scénario « Recharge 1981 + Prélèvements 2007 » pour les piézomètres sélectionnés. A contrario, les parties profondes des aquifères du Miocène à l'Eocène réagissent plus rapidement à une recharge sur le long terme.

Les annexes 7, 8, 9, 10 et 11 présentent les cartes de rabattement pour les 5 scénarios simulés. L'annexe 11 correspond au scénario complexe « Recharge A1B + Prélèvements INSEE » à l'horizon 2050 en prenant comme référence l'état piézométrique simulé de 2007.

Ces cartes ont pour but de montrer les grandes tendances d'évolutions liées à la prise en compte des prélèvements et de la recharge du scénario A1B et n'ont pas vocation à être interprétée dans le détail à l'échelle locale, notamment en raison des limites énoncées au chapitre 2.1.3b.

Il convient de noter à ce sujet que la non-prise en compte des emmagasineurs dans les épontes est susceptible de majorer l'impact climatique sur le long terme, dans les nappes les plus profondes. Par ailleurs, la diminution importante des pluies efficaces pourrait engendrer potentiellement des phénomènes compensatoires, non pris en compte dans la version actuelle du modèle (modifications des cultures, des sols et de la réserve utile associée....)

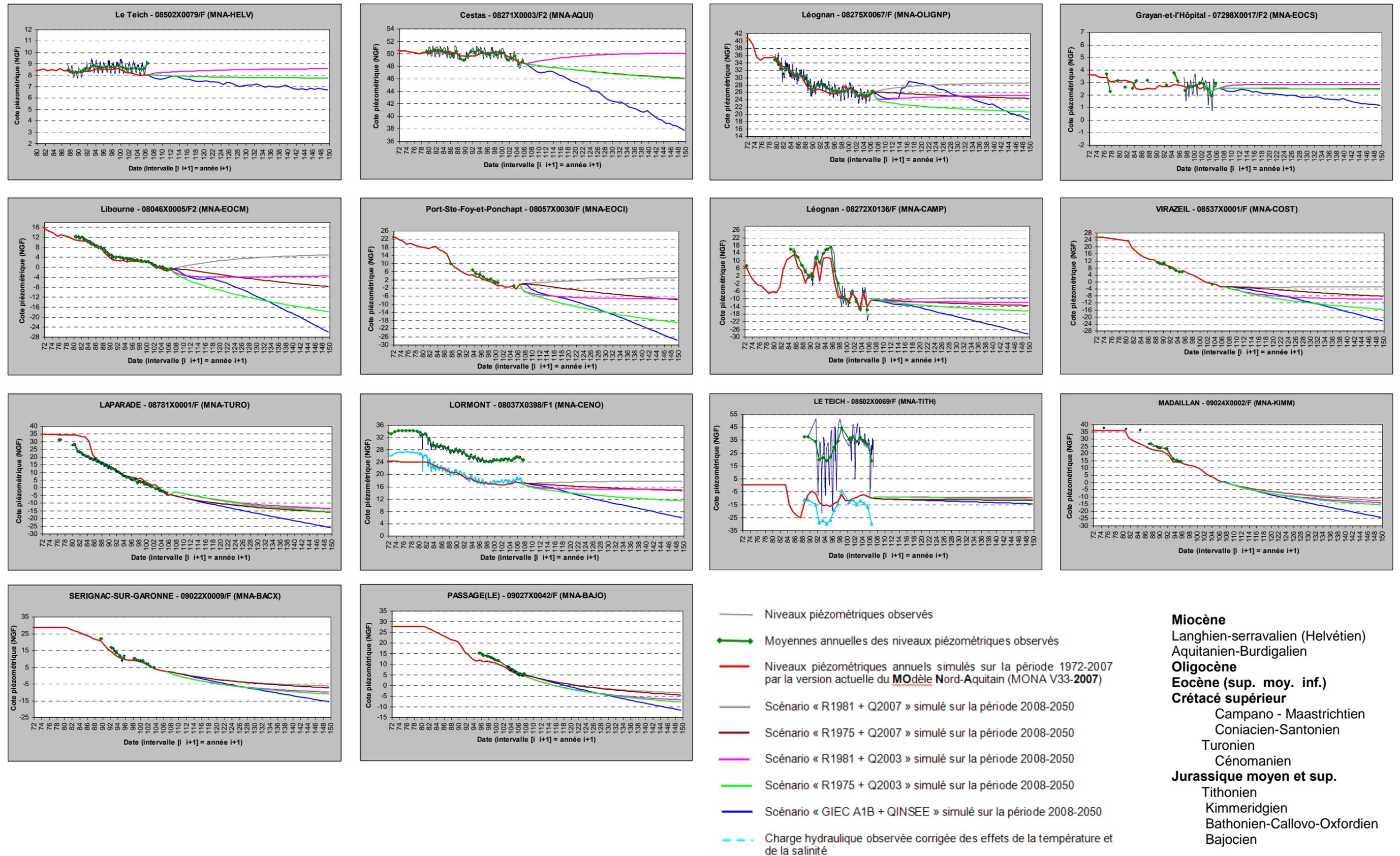


Illustration 27 – Résultats de simulation – Evolution piézométriques sur une sélection de 14 piézomètres (un piézomètre par nappe)

L'augmentation de population, calculée par l'INSEE, associée à la réduction de la recharge des nappes, calculée à partir du scénario d'évolution climatique A1B du GIEC, donne lieu à une poursuite de la baisse de la piézométrie pour l'ensemble des nappes. Les rabattements simulés et leur extension géographique traduisent le comportement hydrodynamique du système aquifère multicouche en tenant compte de la complexité de son fonctionnement : distribution des perméabilités des nappes et des perméabilités verticales des épontes, évaluation des taux de recharges, distribution des prélèvements...

Dans l'Eocène moyen, on constate le caractère régionalisé de l'impact des prélèvements de la zone bordelaise sur l'aquifère. La mise en place des substitutions en 2015 et 2017 pour un total de 10 millions de m³ (8 sur la CUB et 2 sur le secteur de Carbon Blanc) impacte positivement la piézométrie de très nombreux forages (annexe 13) situés à l'est de la CUB comme par exemple celui de Libourne (illustration 28). En revanche, on n'observe aucun impact à l'ouest dans le secteur littoral.

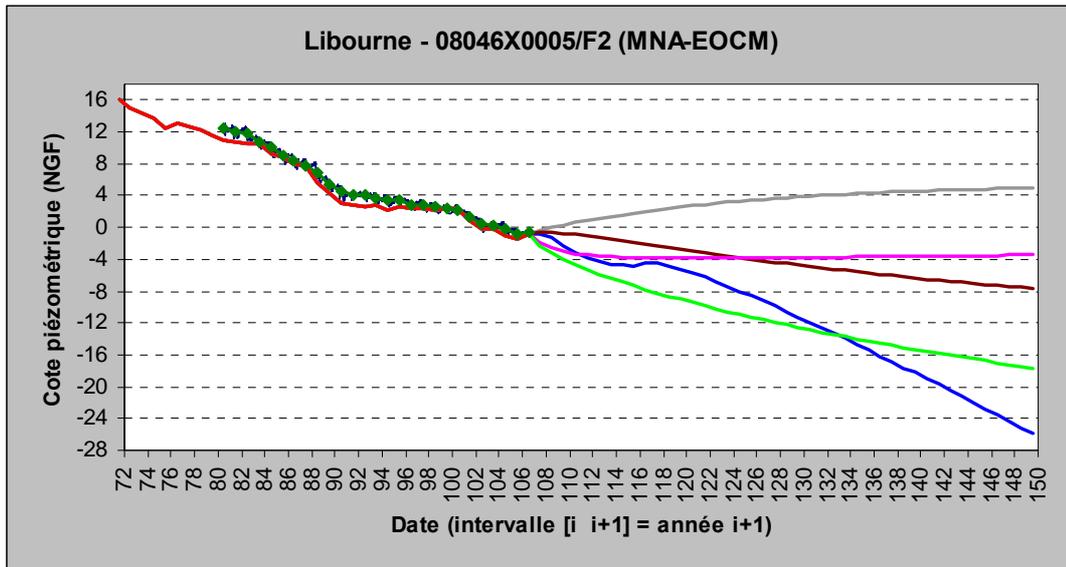


Illustration 28 - Impact des économies réalisées sur la CUB en 2015 et 2017 sur le forage de Libourne (courbe bleu) – (Code couleur présenté par l'illustration 27).

4.3.2. Quelques impacts locaux (scénario A1B-QInsee)

Dans le Médoc, au droit de l'estuaire de la Gironde, la baisse continue des niveaux piézométriques du scénario « RA1B-Q Insee » entraîne l'affaissement de la crête piézométrique de l'Eocène identifiée dans l'Atlas des zones à risques du « SAGE Nappes Profondes » de Gironde comme zone à risque. L'illustration 29 montre cet abaissement progressif de la crête au cours du temps et son déplacement vers le nord. Bien que fortement contrainte par l'aspect structural (anticlinal de Blaye-Listrac), cette crête peut disparaître sous les effets cumulés de facteurs de recharge et de prélèvements très défavorables.

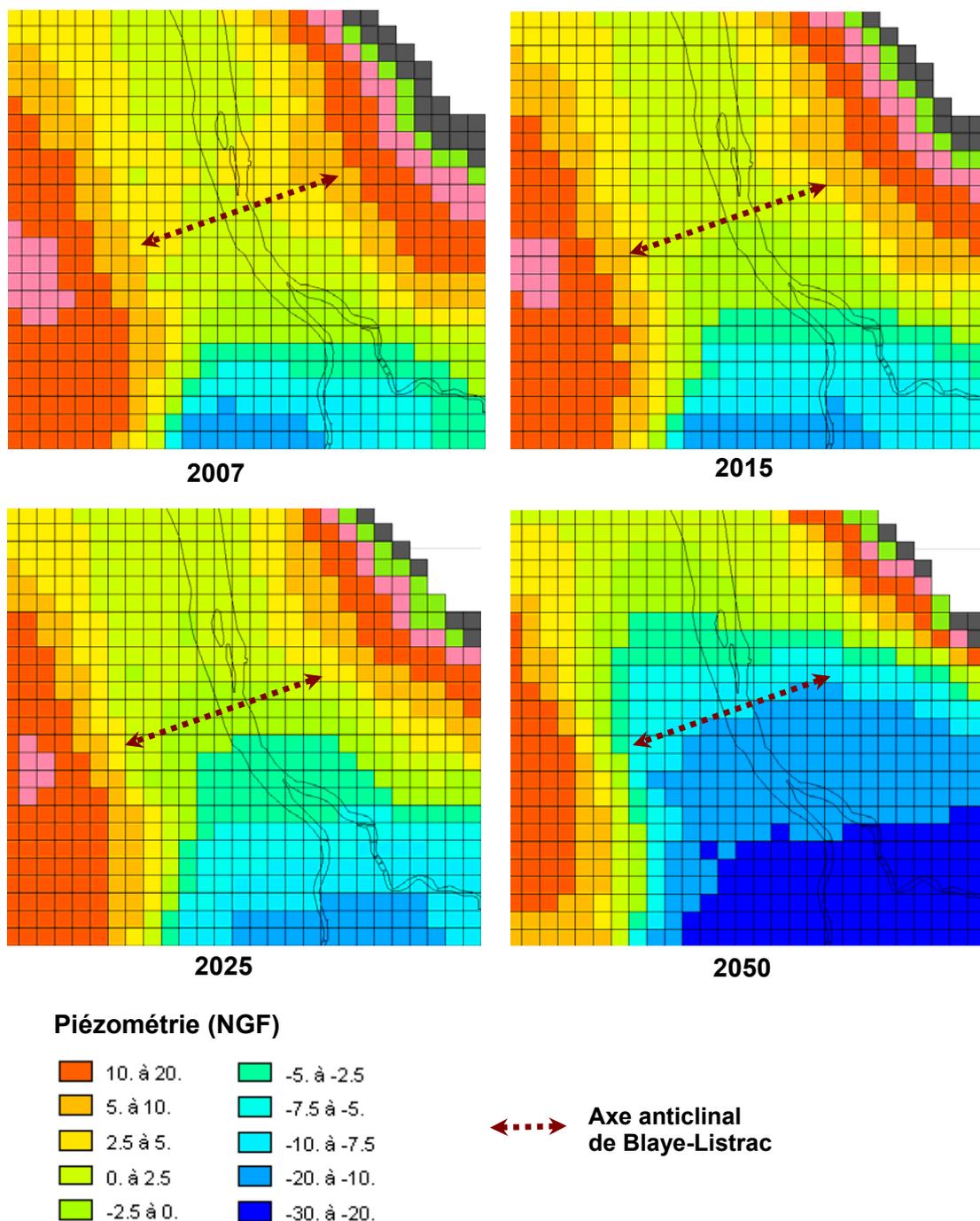


Illustration 29 – Evolution de la crête piézométrique de l'Eocène

Dans le Cénomaniens, la mise en place du champ captant de Saint-Magne (10 millions de m³/an à compter de 2015 semble peu impacter la piézométrie (cf. carte du Cénomaniens en annexe 11) compte tenu des volumes prélevés. L'illustration 30 montre le rabattement calculé par le modèle à l'issue de la première année d'exploitation. Les rabattements seraient de l'ordre de 3 à 4 m (à l'échelle du maillage) au bout d'un an et de l'ordre de 16 à 20 m à l'horizon 2050. Ces résultats restent toutefois soumis à caution compte tenu du faible nombre de données disponibles (paramètres hydrodynamiques, piézométrie de référence, rôle hydraulique des failles....) sur le secteur.

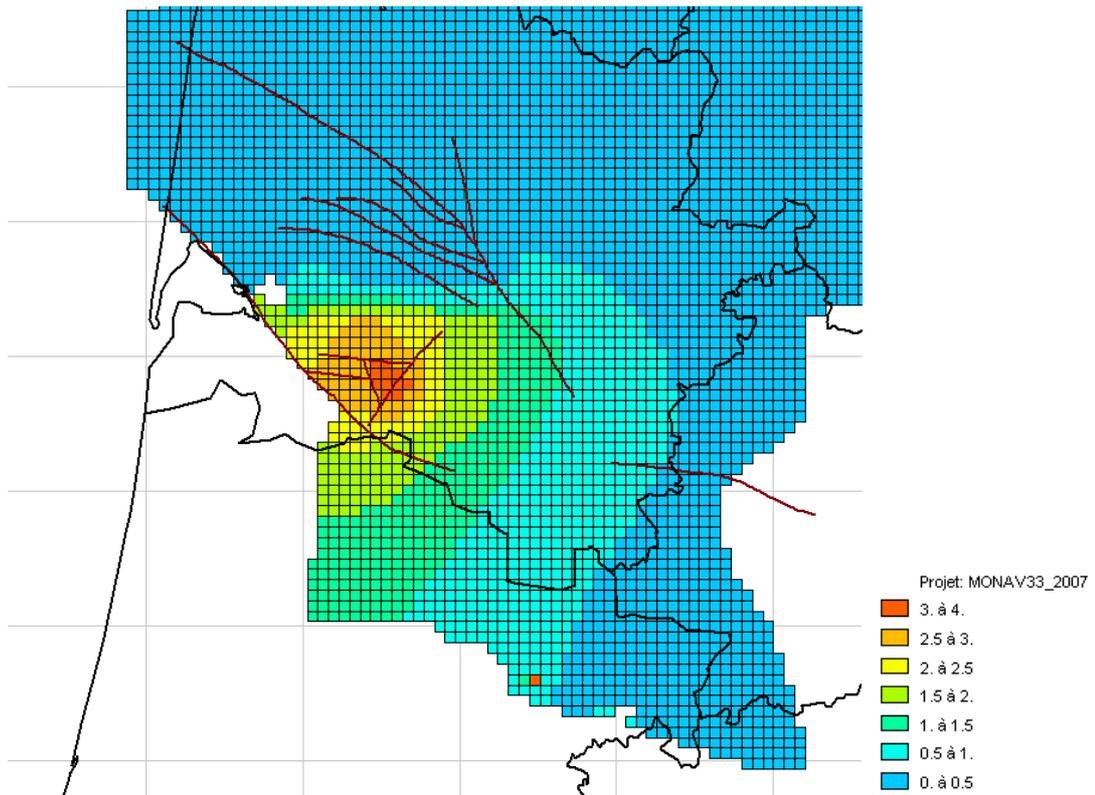


Illustration 30 - Impact du captant de Saint Magne : rabattements induits entre 2014 et 2015 (date de mise en service)

5. Conclusion

Le travail mené dans le cadre de cette étude a permis d'utiliser le modèle hydrodynamique régional Nord-Aquitain (MONA V3.3-2007) pour réaliser 5 scénarios (prélèvements et recharge) sur la période 2008-2050. Une actualisation préalable des données de prélèvements a pu être réalisée avec le concours technique des acteurs de l'eau du nord du Bassin aquitain. Les 5 scénarios retenus et simulés à l'aide du MONA sont les suivants :

- 4 scénarios tendanciels simples basés sur un report de prélèvements et de recharge d'années contrastées visant à évaluer la sensibilité du modèle à ces paramètres,
- 1 scénario prospectif complexe élaboré en partenariat avec les acteurs locaux pour évaluer l'impact de l'évolution de population (prospectives de population INSEE et projection d'implantation de nouveaux captages) et du changement climatique (scénario modéré du GIEC).

Les cartes produites ont pour but de montrer les grandes tendances d'évolutions liées à la prise en compte des prélèvements et de la recharge du scénario A1B et n'ont pas vocation à être interprétées dans le détail.

Il ressort des premiers résultats de l'analyse de sensibilité que l'impact de la recharge et/ou des prélèvements sur le (dé)stockage diffère de façon importante suivant les nappes considérées. Les nappes les plus profondes (hors parties libres) apparaissent logiquement moins impactées par les variations de recharge mais y sont tout de même très sensibles. Les nappes du Miocène et de l'Oligocène sont, quant à elles, mieux réalimentées ce qui se traduit par une plus grande sensibilité de la variation du stock à la recharge. De plus, la part des prélèvements dans les flux transitant dans le Miocène (contrairement à l'Oligocène) est peu importante ce qui réduit la sensibilité du stock de ces couches aux variations de prélèvements.

Concernant le scénario le plus favorable (« Recharge 1981 + Prélèvements 2007 »), la recharge importante se traduit, au bout d'un an, par une brusque augmentation du stockage pour l'ensemble des couches avant de tendre vers un état d'équilibre à une valeur de stockage proche de zéro (entrées=sorties) au bout de 40 ans (2050) correspondant à une mise à l'équilibre du système même si son inertie globale est importante. Cela se traduit pour toutes les couches (excepté le Bajocien) par une stabilisation des niveaux piézométriques ou une remontée rapide suivie d'une stabilisation. Bien que ce scénario soit très optimiste, le Bajocien continue de déstocker à l'horizon 2050 ce qui tend à montrer le caractère mal réalimenté de cet aquifère. La partie captive du Bathonien-callovo-oxfordien présente les mêmes caractéristiques.

A l'inverse, pour le scénario tendanciel défavorable « Recharge 1975 + Prélèvements 2003 », une faible recharge associée à un fort prélèvement montre un maintien du dé(stockage) pendant toute la période de simulation (43 ans) dans toutes les nappes (excepté l'Helvétien à l'équilibre) même si celui-ci tend à diminuer lentement avec le temps. Ce déstockage entraîne des abaissements piézométriques continus au-delà de 2050 dans les aquifères (sauf Miocène). Ce scénario induit un déséquilibre à long terme dans la majorité des aquifères.

Le scénario prospectif complexe (« Recharge A1B + Prélèvements INSEE »), jugé comme plausible au regard des perspectives d'augmentation de la population du nord de la région Aquitaine et des changements climatiques (diminution de la recharge de plus de 50%), **apparaît comme le scénario le plus défavorable des cinq testés**. Le déstockage simulé dans toutes les nappes (y compris Miocène) est plus important et se maintient (ou ne diminue que très lentement) durant toute la période de simulation. Ce scénario se traduit par une baisse généralisée des niveaux piézométriques. **Compte-tenu de ces résultats, l'exploitation à un niveau équivalent aux prélèvements retenus dans ce scénario avec des conditions de recharge très dégradées par rapport à l'actuel conduirait à un déséquilibre pouvant être jugé durable pour les nappes profondes du nord du Bassin aquitain.**

6. GLOSSAIRE

Les tableaux et illustrations sont tirés de « Les eaux souterraines » de JJ. Collin

Aquifère : Corps de roches perméables comportant une zone saturée –ensemble du milieu solide et de l'eau contenue- suffisamment conducteur d'eau souterraine pour permettre l'écoulement d'une nappe souterraine et le captage d'une quantité d'eau appréciables. Un aquifère peut comporter une zone non saturée.

Emmagasinement : Contenance en eau gravitaire d'un aquifère : c'est le rapport du volume d'eau libérée par unité de surface d'aquifère, à la variation de charge hydraulique correspondante. Quand la nappe est libre, l'eau récupérable par gravité est très proche de la porosité efficace. Quand la nappe est captive, l'eau qui peut-être libérée ne provient pas de la vidange des pores mais de la décompression de la roche et de l'eau contenue dans celle-ci.

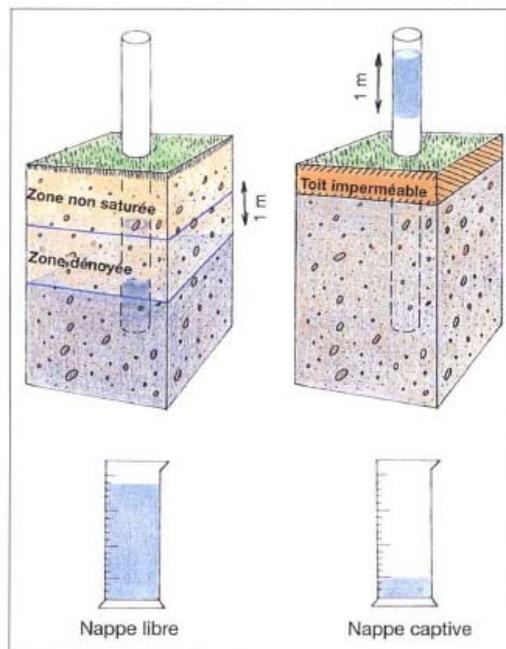


Figure 22 : L'abaissement du niveau dans une *nappe libre* libère un volume d'eau très supérieur à celui obtenu dans une *nappe captive*.

Gradient : Différence de charges hydrauliques entre deux points d'un aquifère par unité de distance, selon une direction donnée. C'est une différence de potentiel par unité de longueur, sans unité.

Hauteur piézométrique : Hauteur de la colonne liquide statique équilibrant la pression hydrostatique, en un point de l'aquifère. Quand on rapporte cette hauteur à un plan de référence, on parle de charge hydraulique (en mètre).

Infiltration : Quantité d'eau infiltrée depuis la surface du sol, qui traverse la zone non-saturée et parvient effectivement à la zone saturée

Nappe : Ensemble des eaux comprises dans la zone saturée d'un aquifère. On parle de nappe libre, ou nappe à surface libre, quand l'aquifère comporte une zone non saturée, et une zone de fluctuations des niveaux d'eau. La nappe est dite captive quand il n'y a pas de surface libre, la surface piézométrique est supérieure au toit de l'aquifère, à couverture moins perméable, qui la contient.

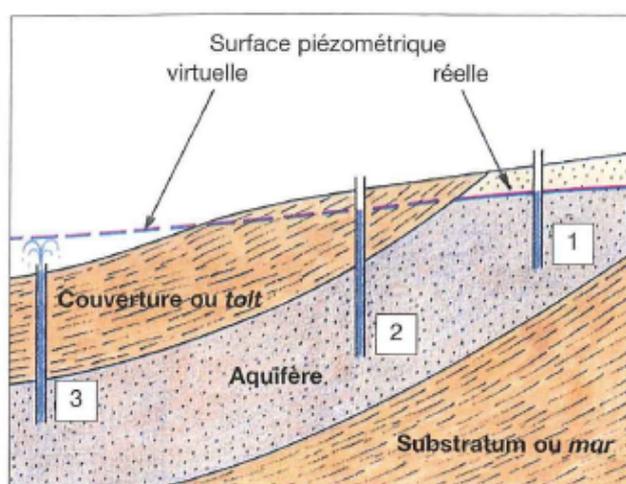


Figure 4 : Nappe libre et nappe captive.
En 1, la nappe est libre. En 2, elle est captive.
En 3, elle est captive et artésienne (jaillissante).

Perméabilité : Aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide. Ce paramètre s'exprime en m/s.

Tableau I : Ordres de grandeur de la perméabilité les plus fréquents.

Perméabilité (en m/s)	10 ⁻⁹ et moins	10 ⁻⁷	10 ⁻⁵	10 ⁻³	10 ⁻² et plus
Type de roche (exemple)	Argiles Matrices des roches compactes	Sable très fin et limon	Sable fin et moyen Milieu fissuré*	Alluvions mélangées de sable	Alluvions très grossières
Classement hydrogéologique	Imperméable	Faiblement perméable	Perméable	Perméable	Extrêmement perméable
Comportement	Confinement Rôle de limite	Échanges par drainance	Aquifère médiocre	Bon aquifère	Aquifère exceptionnel

Porosité : Propriété d'un milieu à comporter des vides, interconnectés ou non. Exprimé quantitativement par le rapport du volume de ces vides sur le volume total du milieu. (%). En milieu saturé, on distingue la porosité dite efficace, qui caractérise la teneur en eau mobilisable et la porosité totale, toute l'eau contenue.

7. Bibliographie

Amraoui N., Bichot F., Platel JP., Seguin JJ. (1998)

Gestion des eaux souterraines en Aquitaine – Année 2 – Évaluation des ressources. Ajout des couches du Turonien-Coniacien-Santonien, du Cénomaniens et du Jurassique moyen et supérieur au Modèle Nord-Aquitain.
Rapport BRGM R 40110

Amraoui N., Bichot F., Seguin JJ., 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.
Rapport BRGM R 40224 (4 vol.)

Bichot F., Louis JP. (1999)

Gestion des eaux souterraines en Aquitaine – Année 3 – Évaluation des ressources. Modélisation des aquifères du Miocène. Recueil et synthèse des données.
Rapport BRGM R 40778

Bichot F., Platel JP. (1997)

Gestion des eaux souterraines en Aquitaine – Année 1 – Évaluation des ressources. Extension du Modèle Nord-Aquitain : synthèse des données et concepts.
Rapport BRGM R 39331

Bichot F., Seguin JJ. (2000)

Gestion des eaux souterraines en Aquitaine – Année 4 – Évaluation des ressources. Modélisation des aquifères du Miocène. Recueil et synthèse des données.
Rapport BRGM/RP 50466,

Braneyre M., Chigot D., Lambert M., Moreau CF., Sourisseau B. (1993)

Modélisation mathématique multicouche de trois aquifères exploités du bassin sédimentaire Nord-Aquitain (Oligocène - Eocène - Crétacé).
Rapport BRGM/R 37361 AQI SP 93

Braneyre M., Lambert M., Sourisseau B. (1994)

Modèle régional multicouche du bassin Nord-Aquitain en régime transitoire et simulations.
Rapport BRGM R 38006 SGN SP 94

Braneyre M., Seguin JJ., Lambert M. (1993)

Modèle conceptuel sommaire du multicouche aquitain.
Rapport BRGM R 37322 BOR AQI 93

Pédron N., Capdeville JP., Mauroux B., Baudry D. (2003)

Évaluation de la ressource en eau de l'Éocène dans le Bergeracois –Année 1- Recueil et synthèse des données.

Rapport BRGM/RP-52528-FR, 50 pages, 30 figures, 5 annexes.

Pédron N., Mauroux B. (2006)

Actualisation du modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes – Période 2001-2003.

Rapport final BRGM/RP-54220-FR, 26 p., 1 ann.

Pédron N., Platel JP., Bourguin B. (2006)

Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine – Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Module 4 – Année 3.

Rapport BRGM/RP-55242-FR, 56 pages, 24 figures, 3 annexes.

Pédron N., Platel JP., 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 BRGM/RP-53659-FR, 96 pages, 43 figures, 8 tableaux, 8 annexes.

Pédron N., Seguin JJ., Bichot F. (2001)

Gestion des eaux souterraines en Aquitaine – Année 5 – Évaluation des ressources. Modélisation des aquifères du Miocène. Calage du modèle et simulations.

Rapport RP 51176

Pédron N., Seguin JJ., Capdeville JP. (2003)

Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine – Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Module 4 – Année 1.

Rapport BRGM/RP-52602-FR, 56 pages, 25 figures, 5 tableaux, 7 annexes.

Platel JP., Gomez E., Pédron N. et collaborateurs (2008)

Perspectives de gestion des nappes du Secondaire en Agenais-Périgord.

Rapport BRGM/RP-56419-FR.

Platel JP., Schnebelen N., Le Nindre Y., Sourisseau B. (2000)

Gestion des eaux souterraines en Aquitaine - Année 4 - Opération Sectorielle - Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise. Synthèse des connaissances géologiques - Etat des connaissances hydrogéologiques.

Rapport BRGM/RP-50468-FR, 70 pages, 36 figures, 5 cartes annexes.

Putot E., Thinon-Larminach M. (2008)

CPER 2000-2006. Phase 3. Modèle du Turonien-Coniacien : calage du modèle hydrodynamique en régime permanent et transitoire.

Rapport BRGM/RP-55973-FR, 79 pages, 49 illustrations, 9 tableaux, 10 annexes.

Schnebelen N., Mauroux B., Seguin JJ. (2001)

Contrôle qualité et gestion des nappes d'eau souterraine en Gironde. Etat des connaissances à fin 2000.

Rapport BRGM RP-51307-FR

Seguin JJ. (1999)

Contrôle qualité et gestion des nappes d'eau souterraine en Gironde - Actualisation du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Période 1997-1998.

Rapport BRGM R 40760

Seguin JJ. (2002)

Gestion des eaux souterraines en Aquitaine - Actualisation du Modèle Nord-Aquitain. Période 1999-2000.

Rapport BRGM/RP-51758-FR

Seguin JJ. (2002)

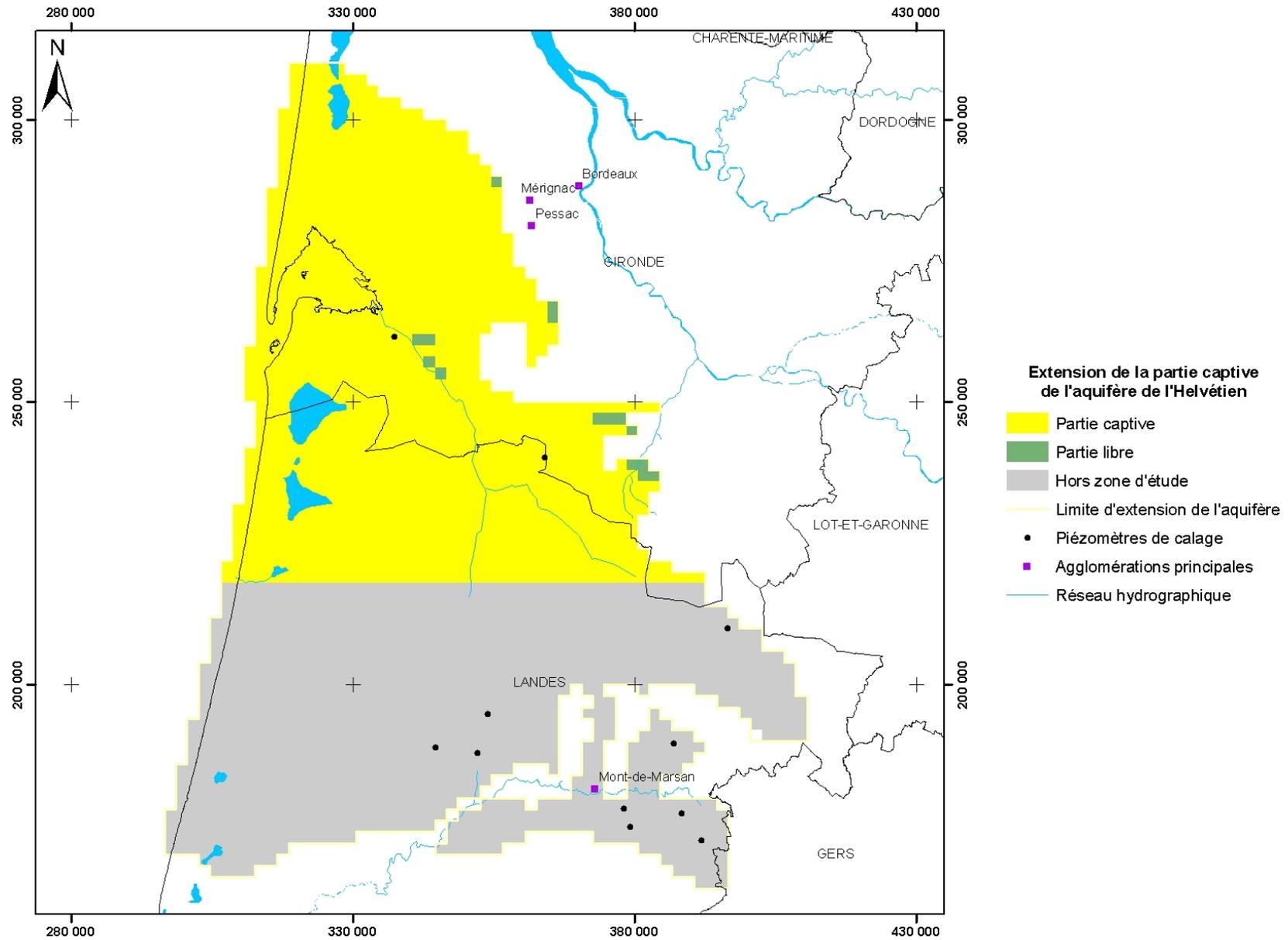
Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux "Nappes profondes de Gironde". Orientations de gestion et propositions d'indicateurs piézométriques pour le tableau de bord du SAGE. Contribution du BRGM.

Rapport BRGM/RP-51777-FR

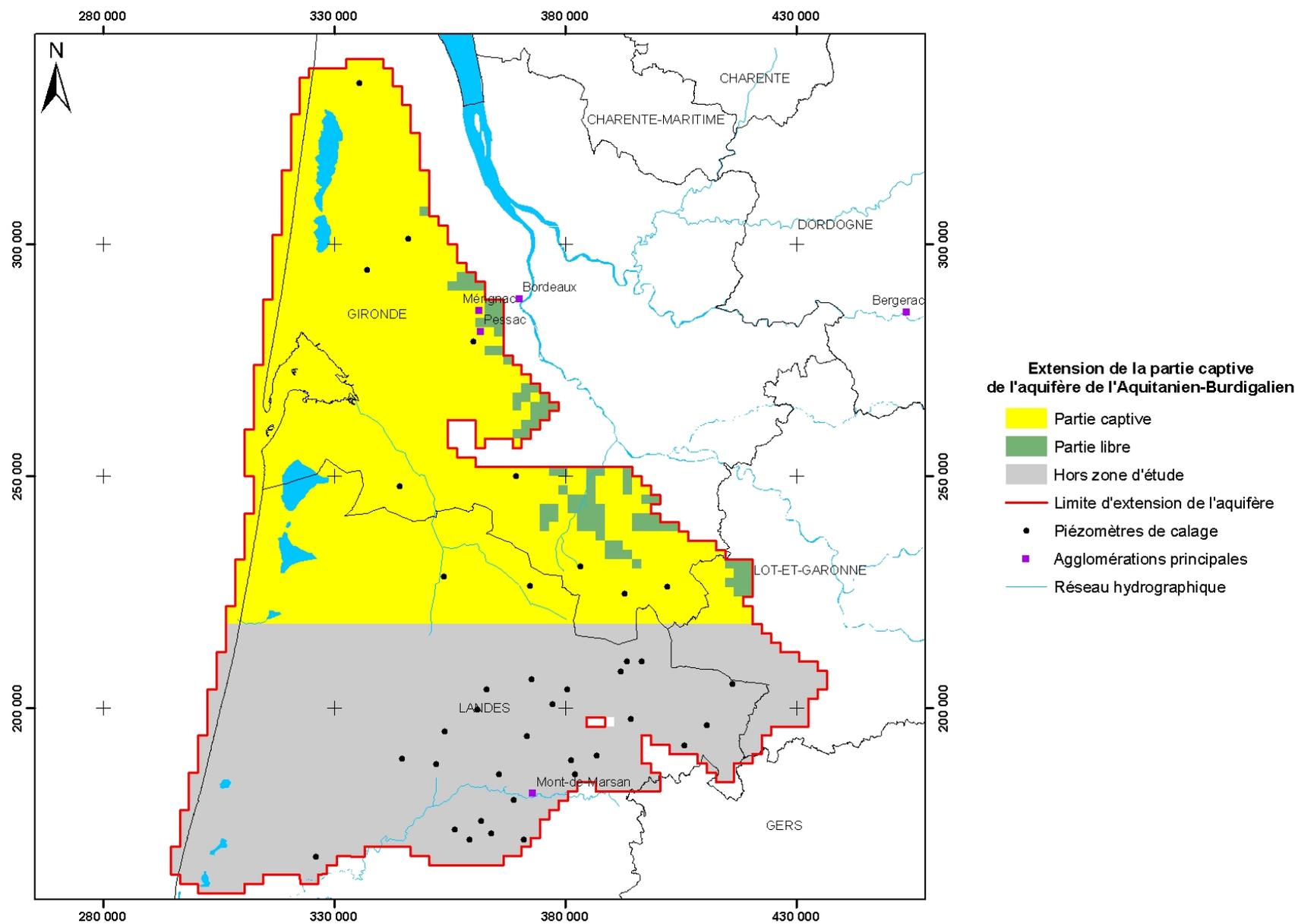
Annexe 1

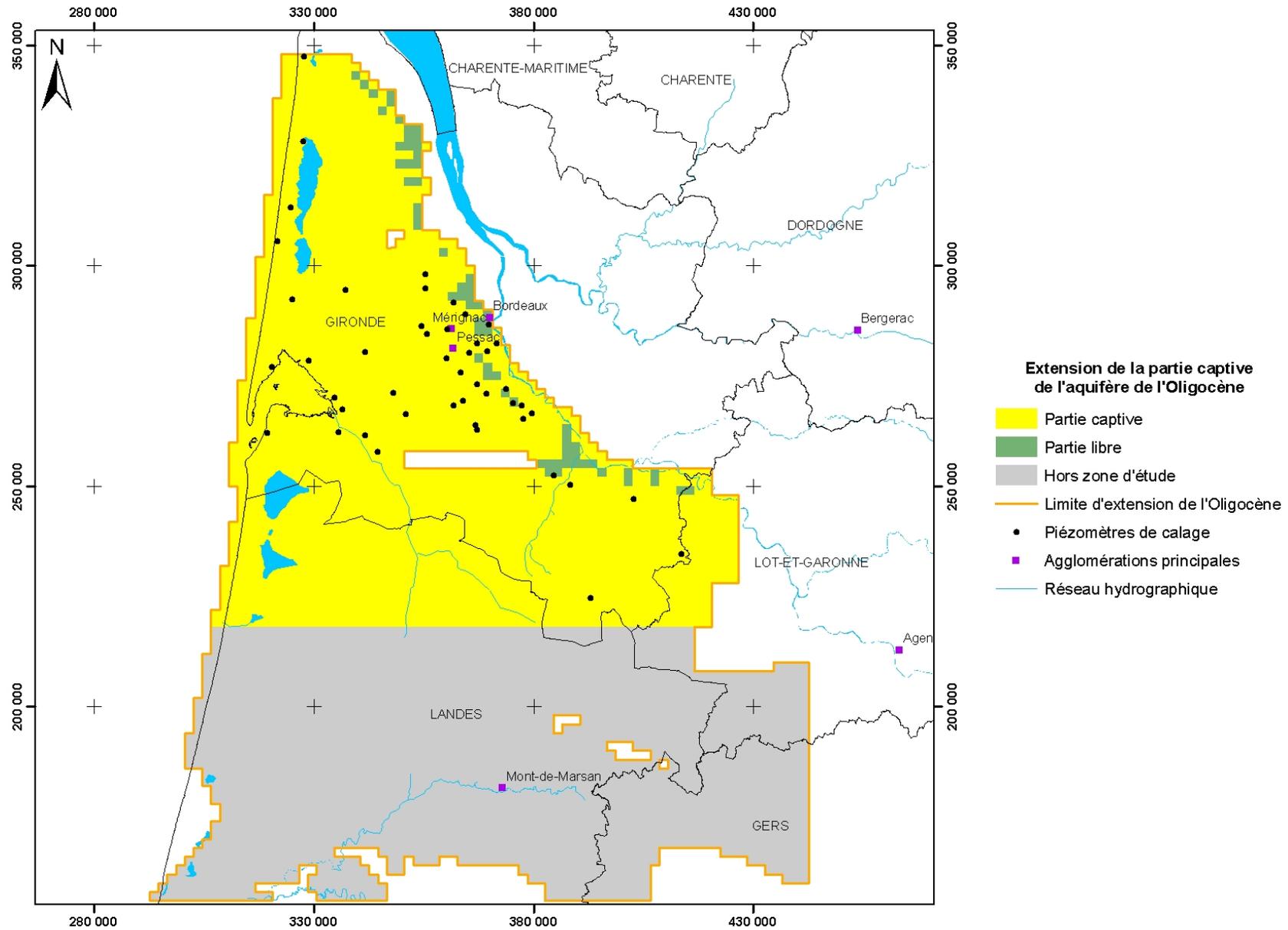
Cartes de localisation des parties captives des aquifères du modèle Nord-Aquitain

Zone d'étude

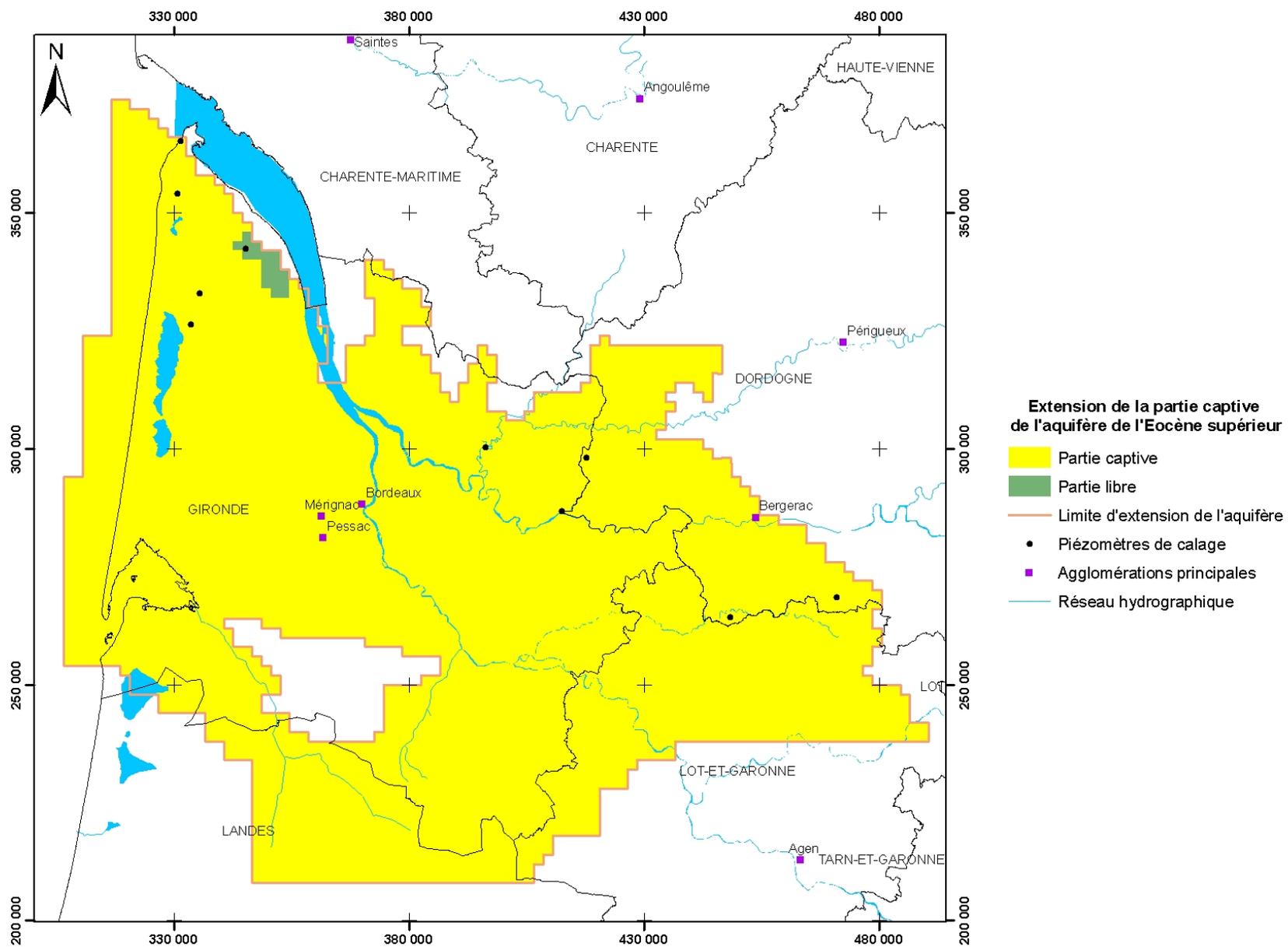


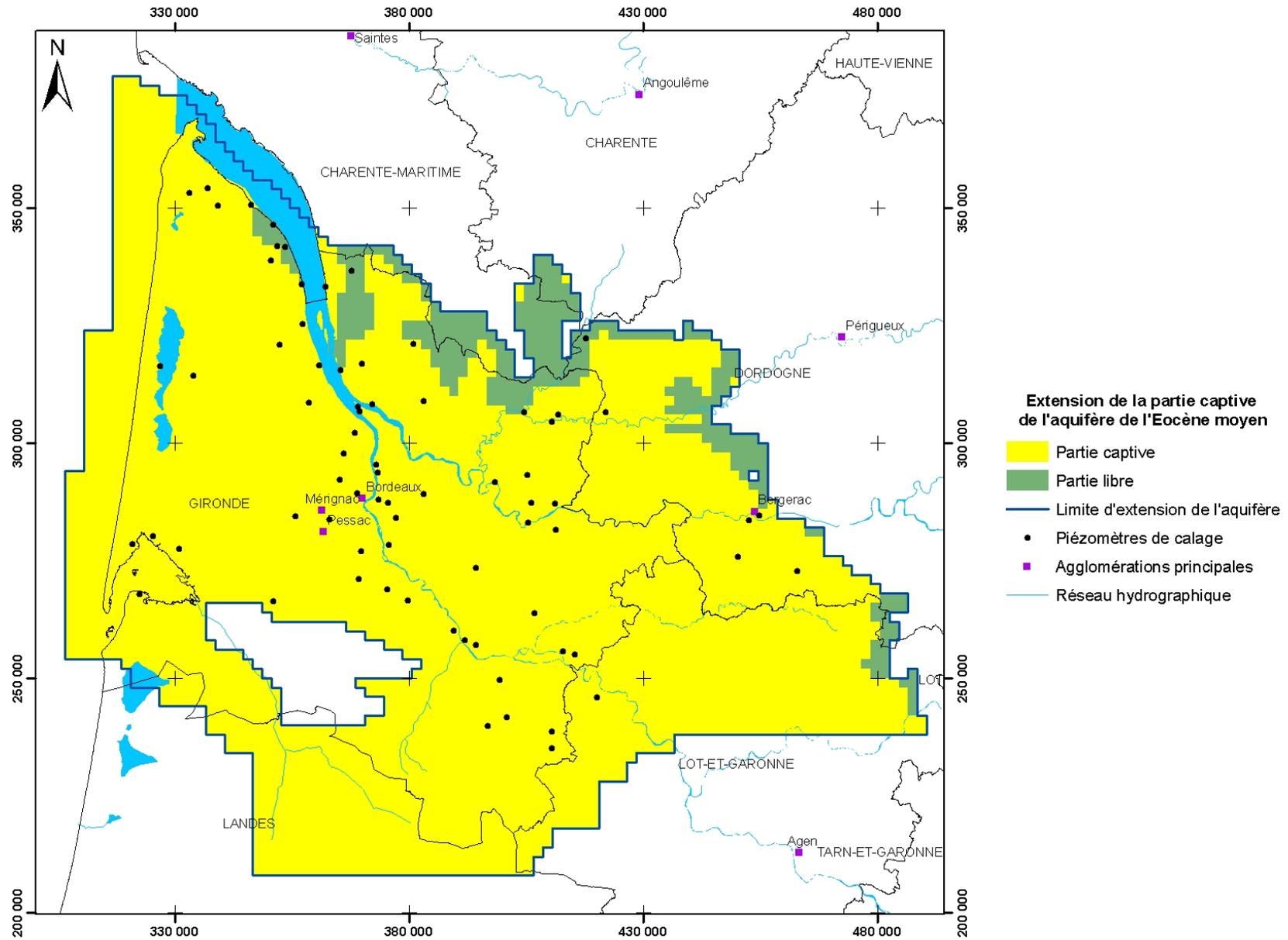
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



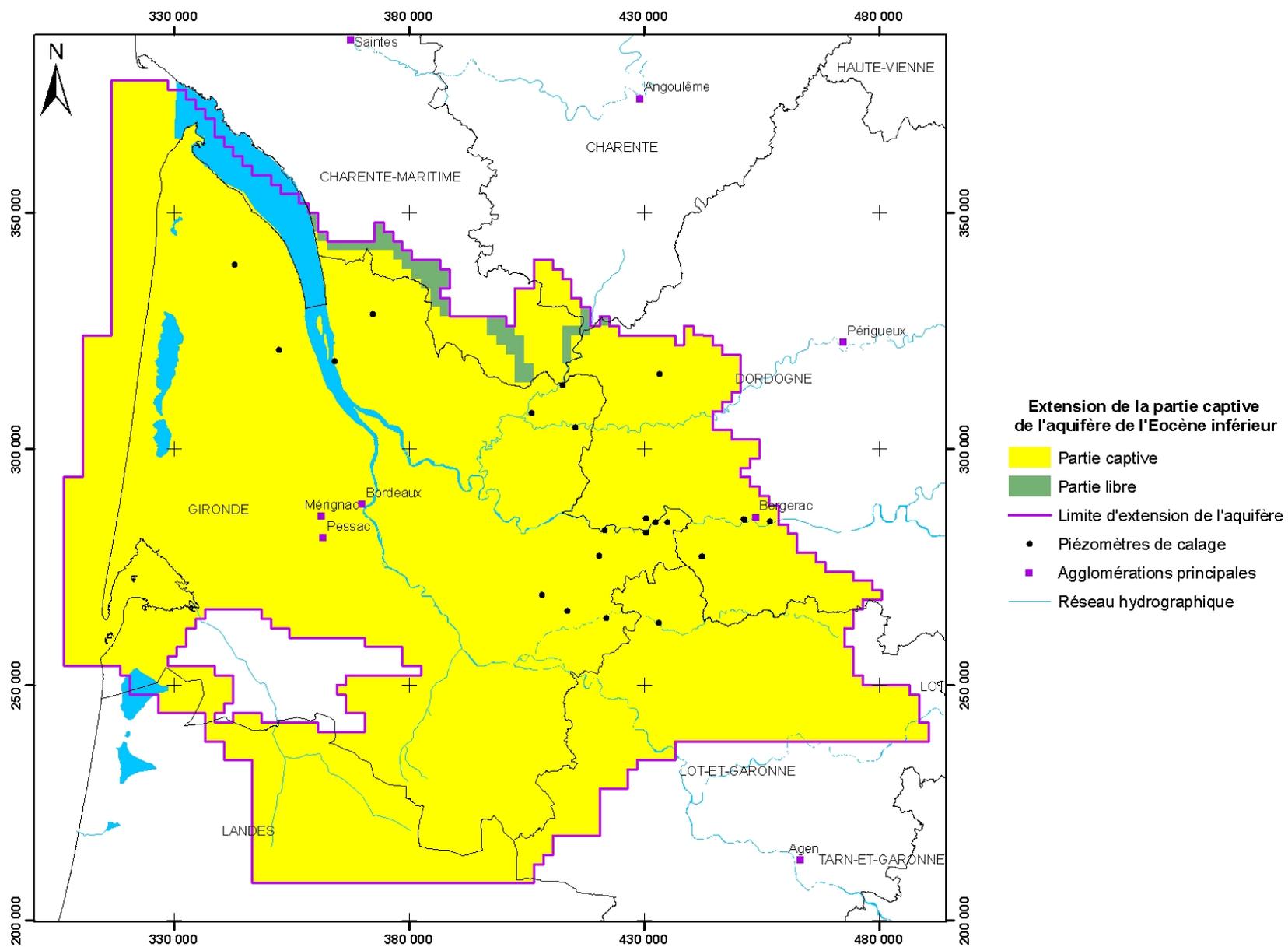


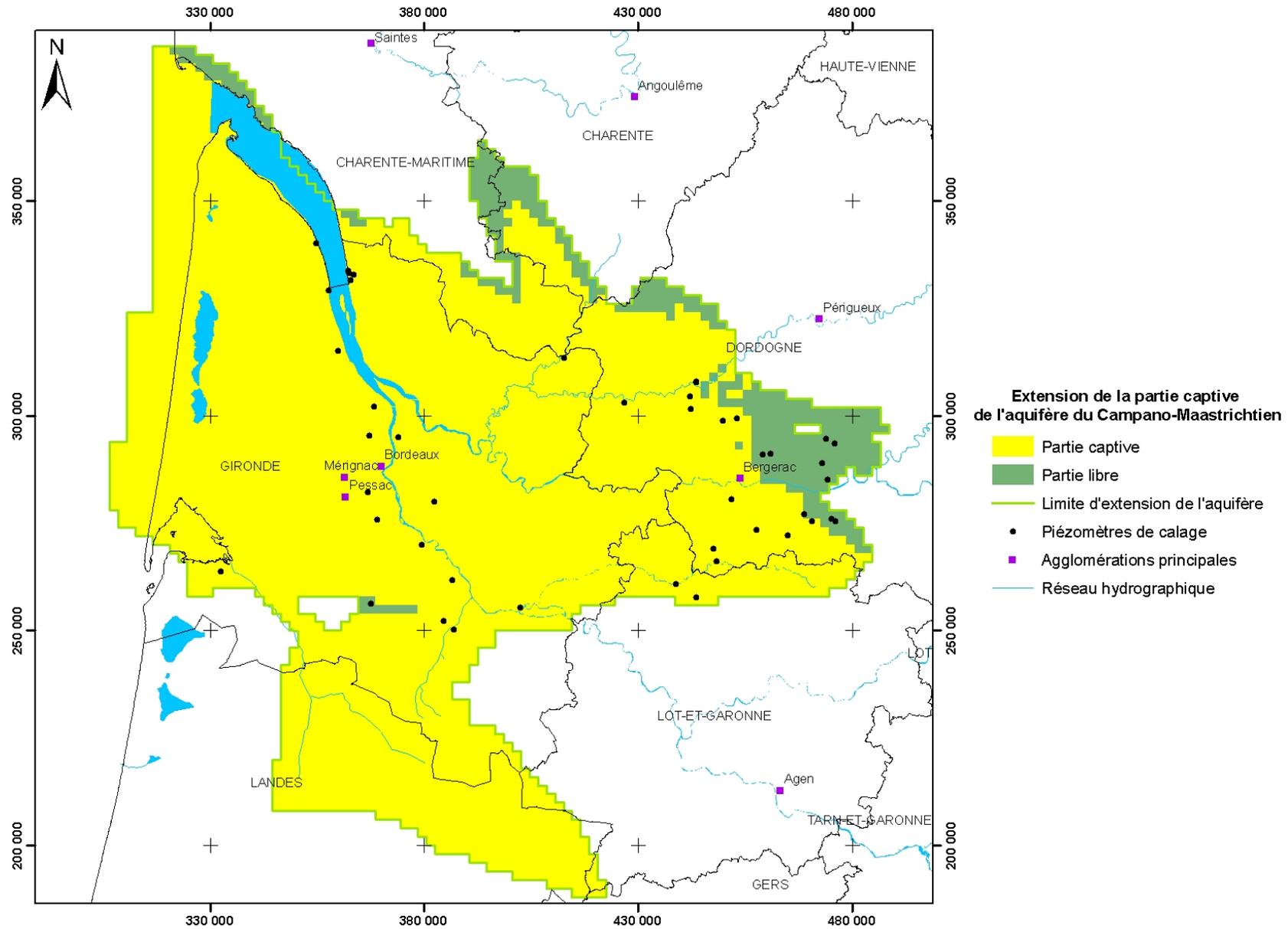
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



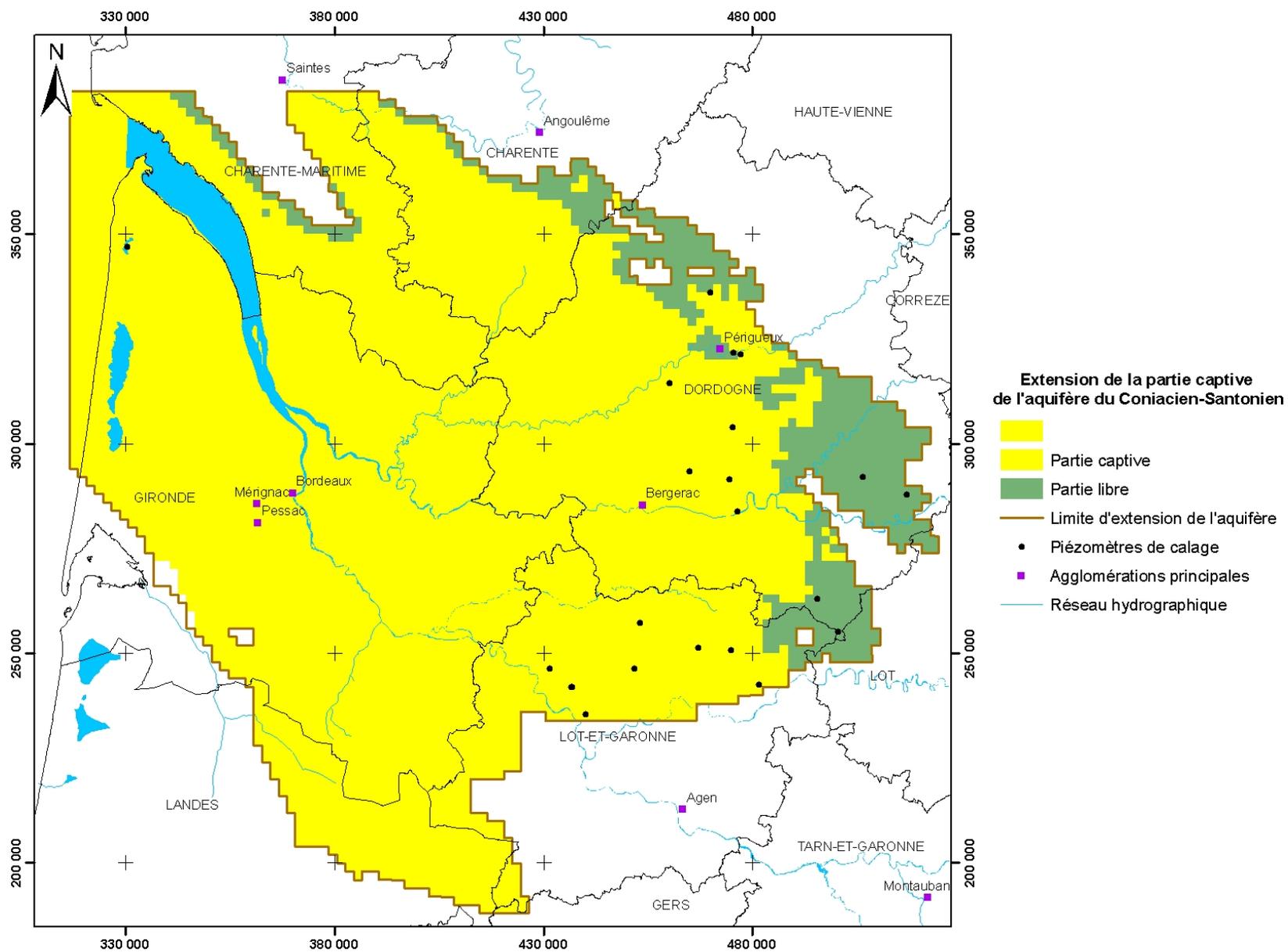


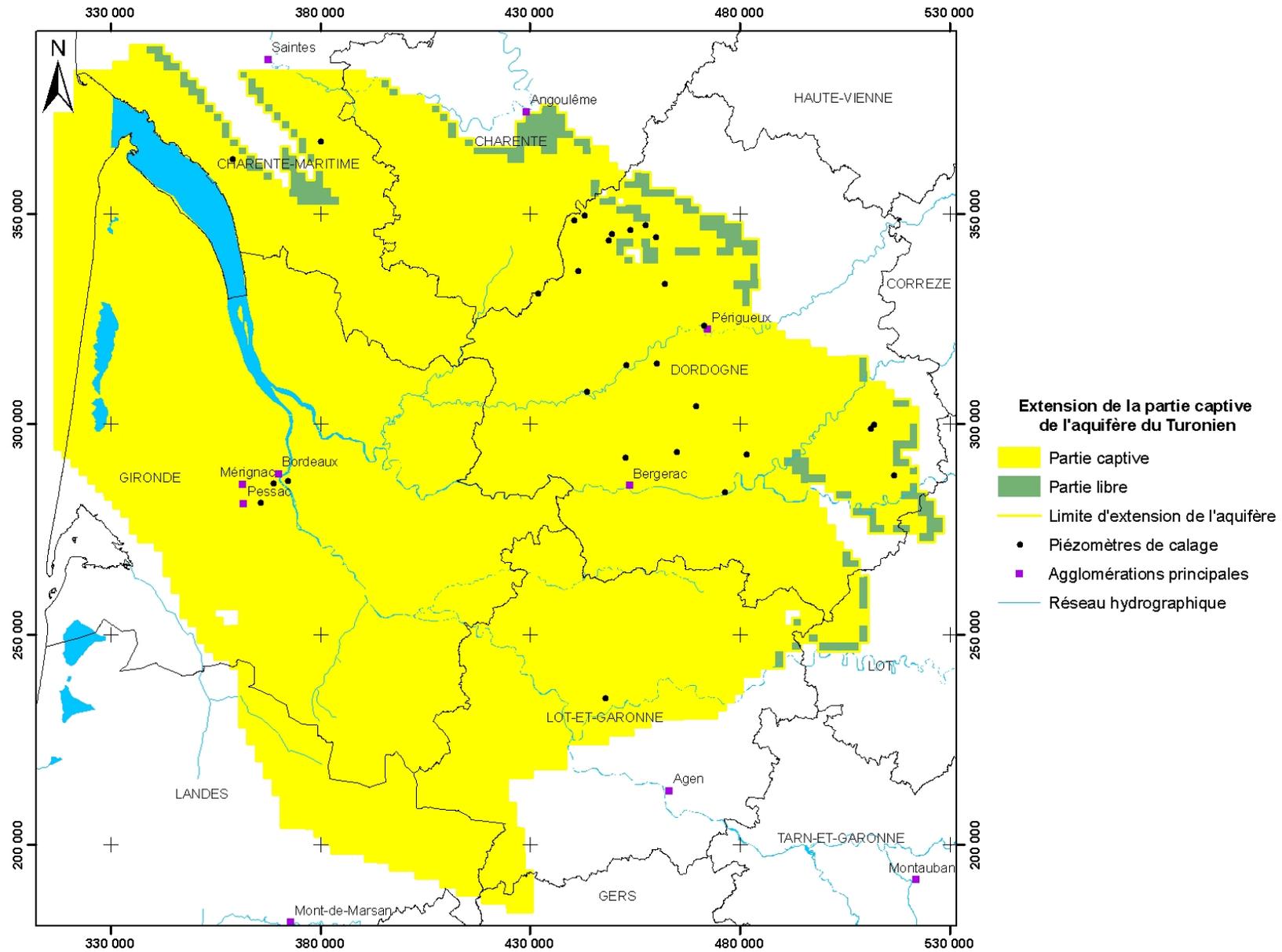
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



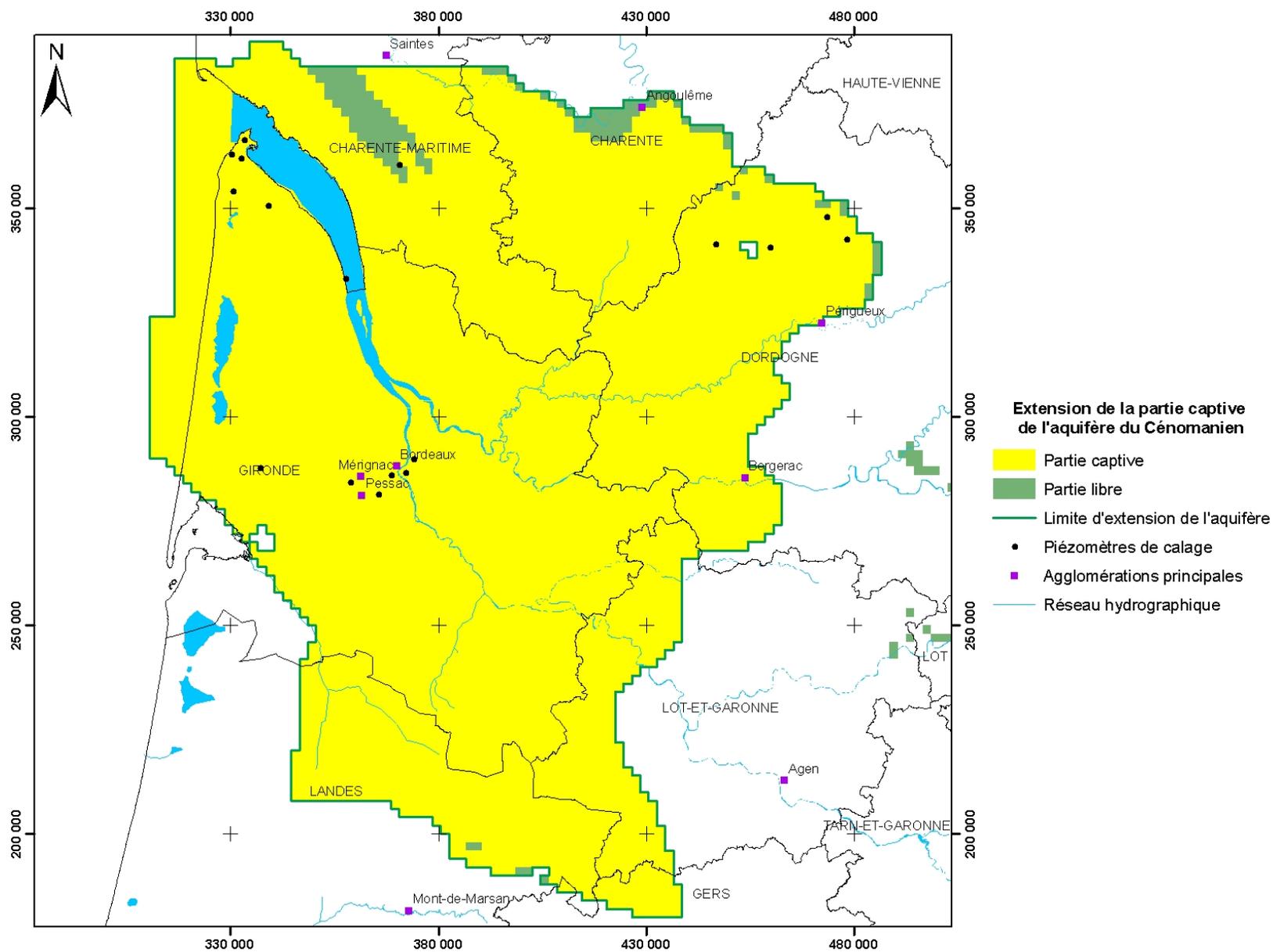


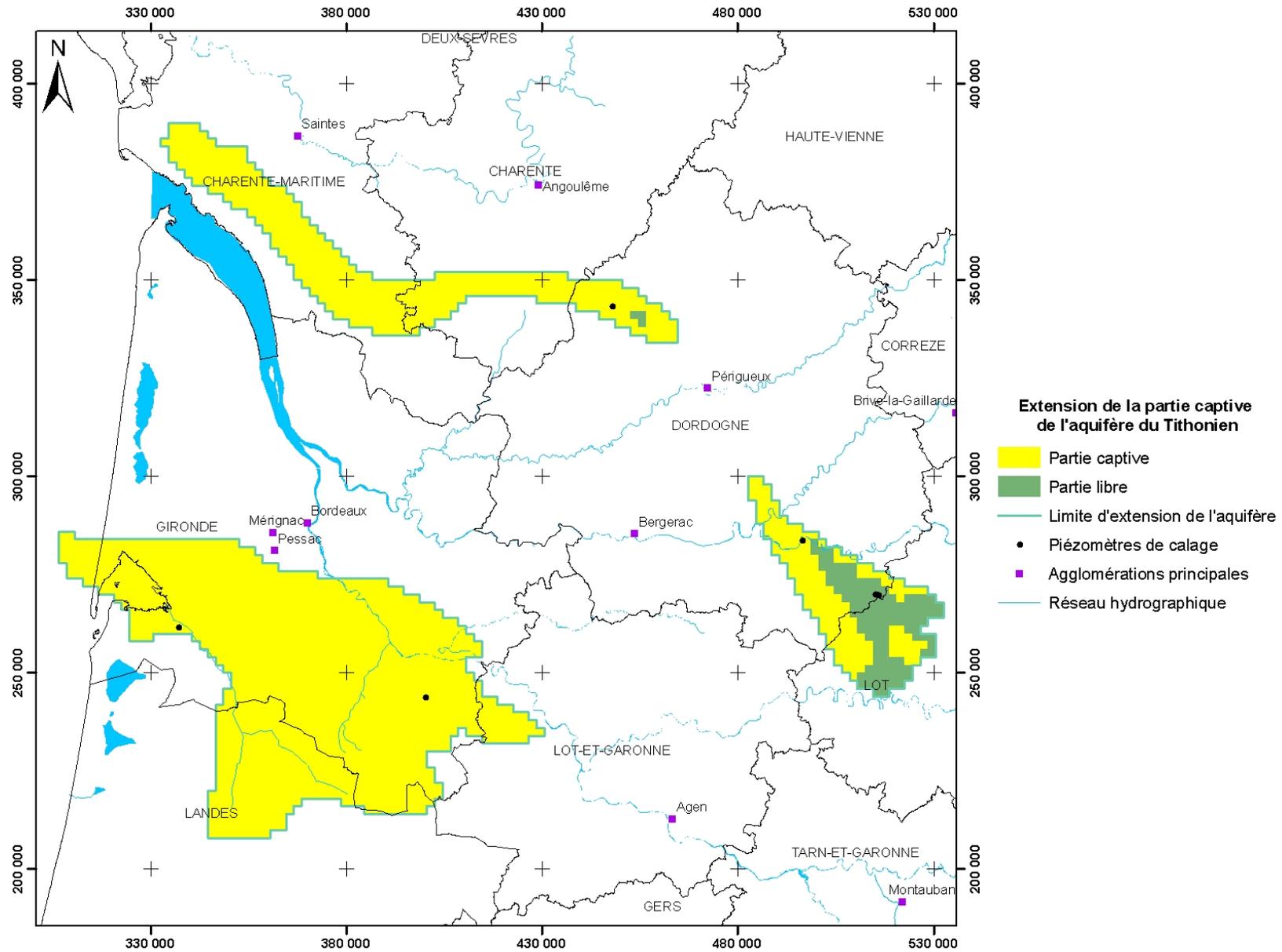
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



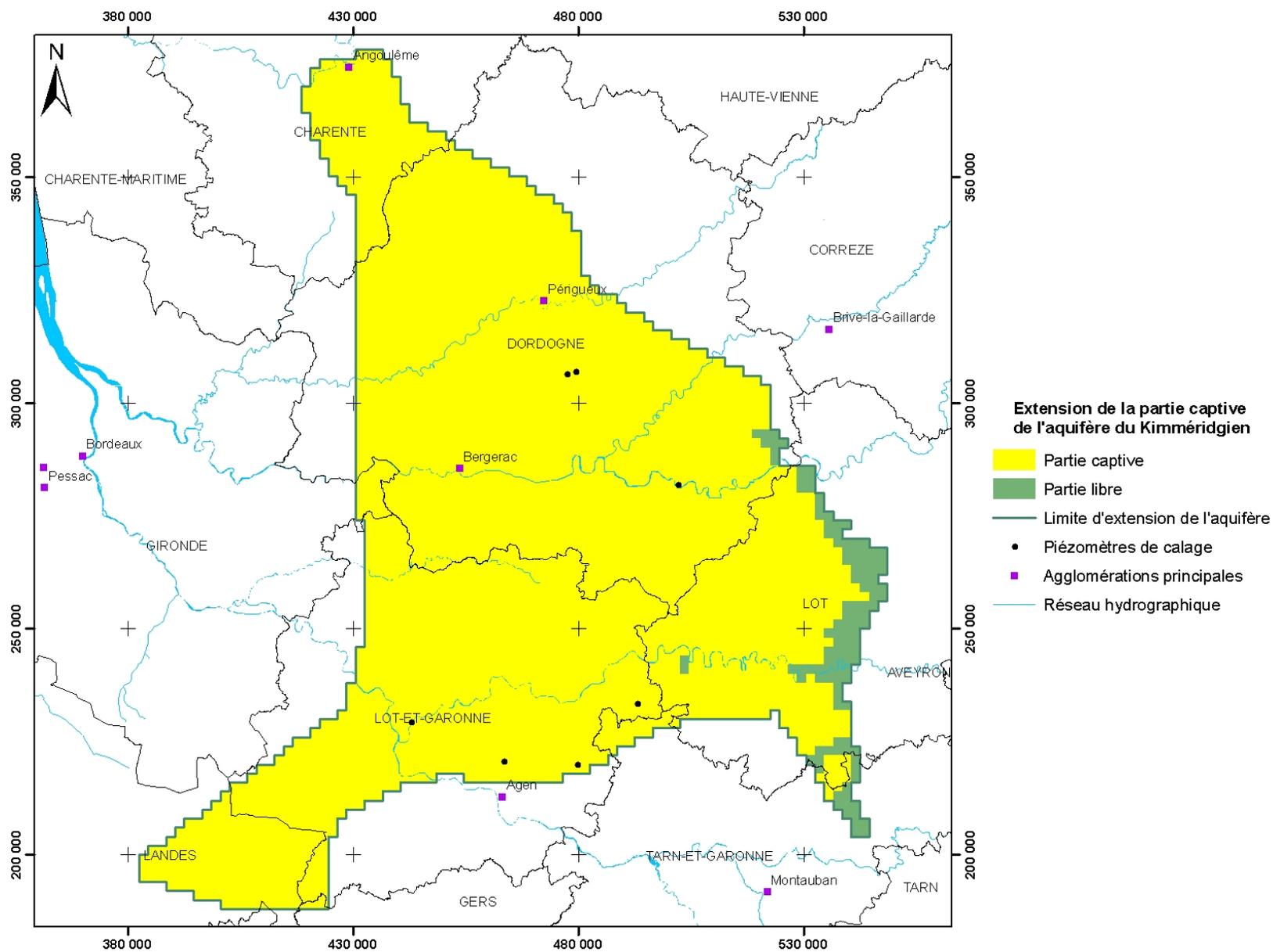


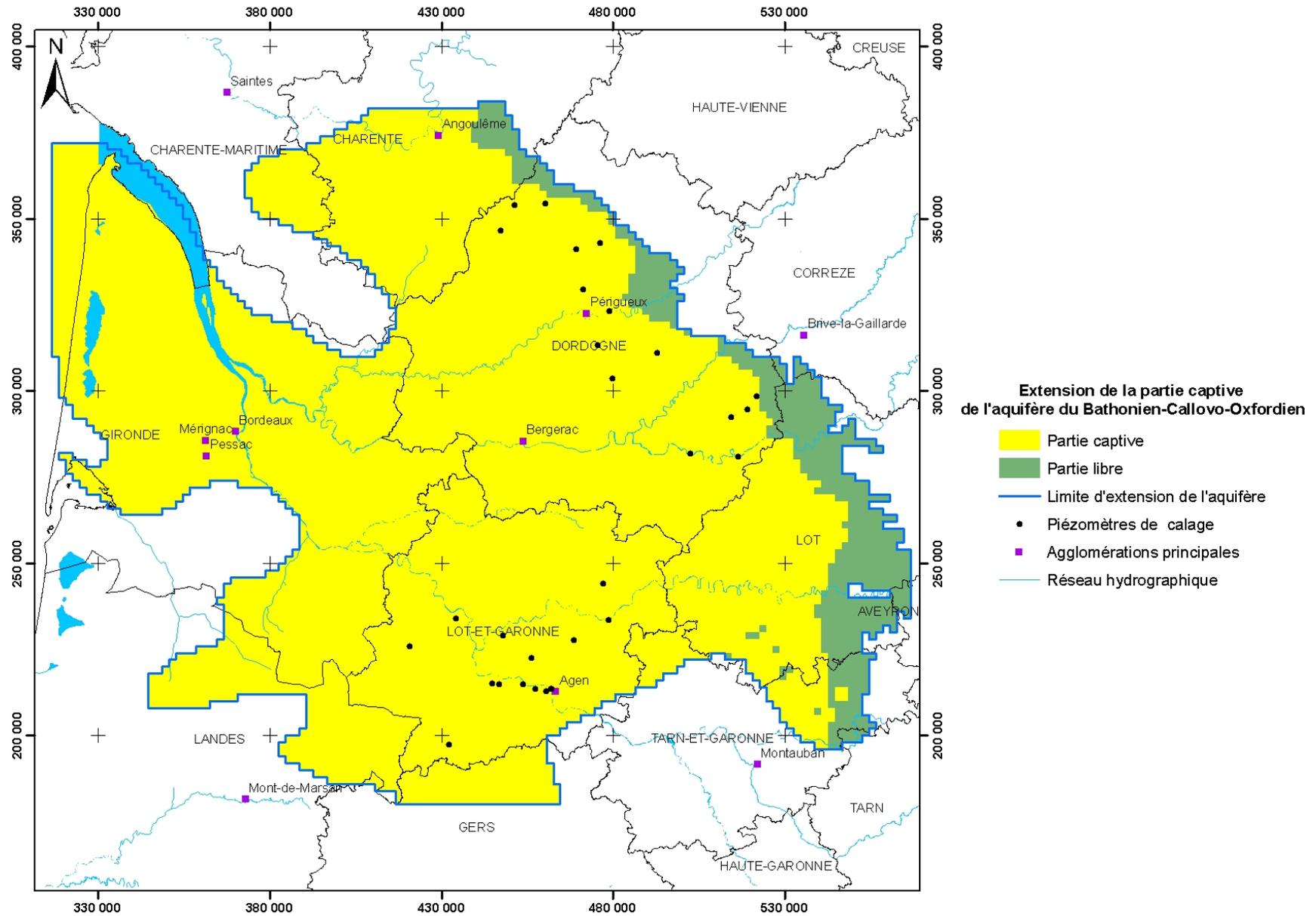
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



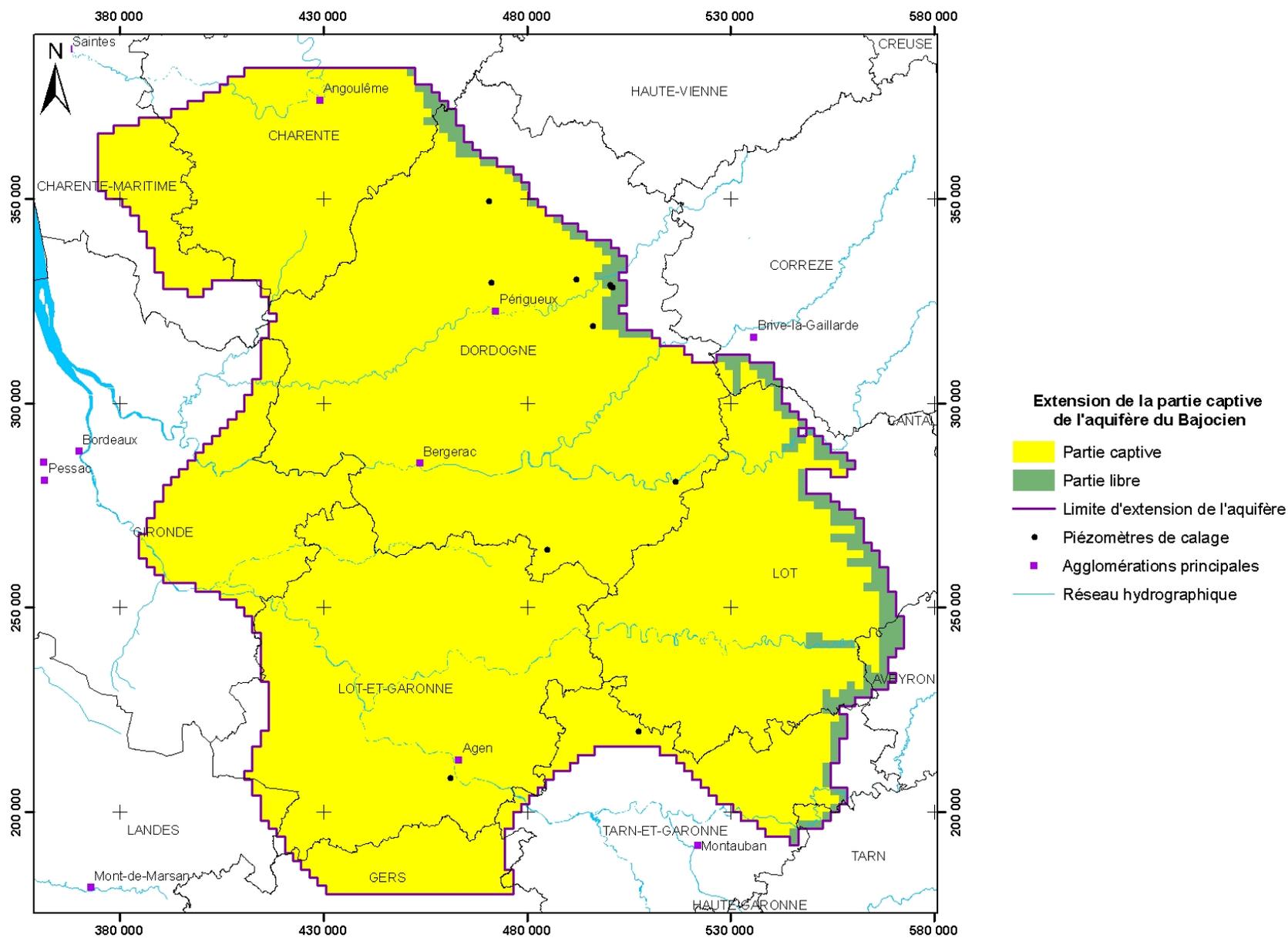


Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains





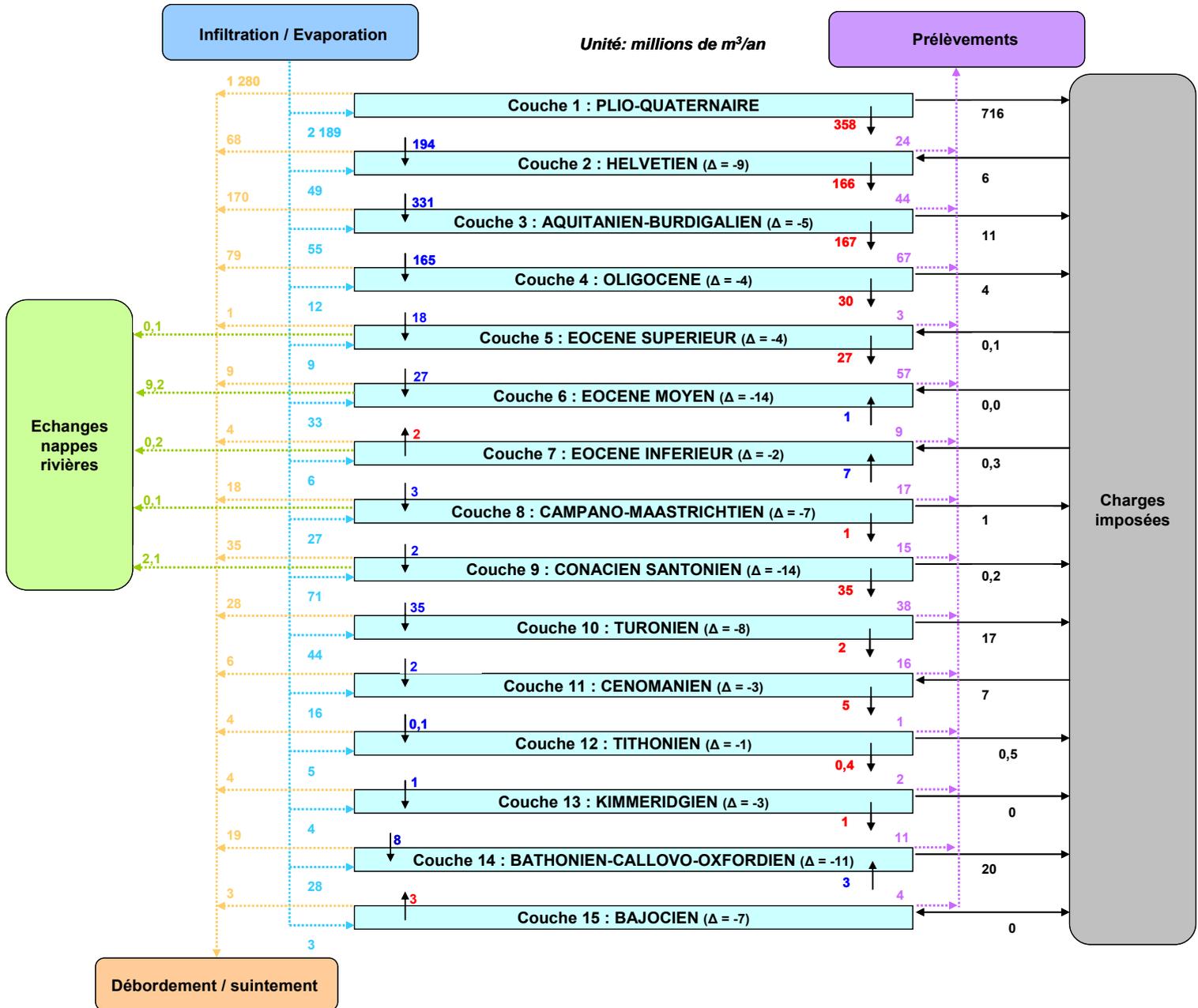
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



Annexe 2

Bilan global des débits du modèle Nord Aquitain (parties libres et captives)

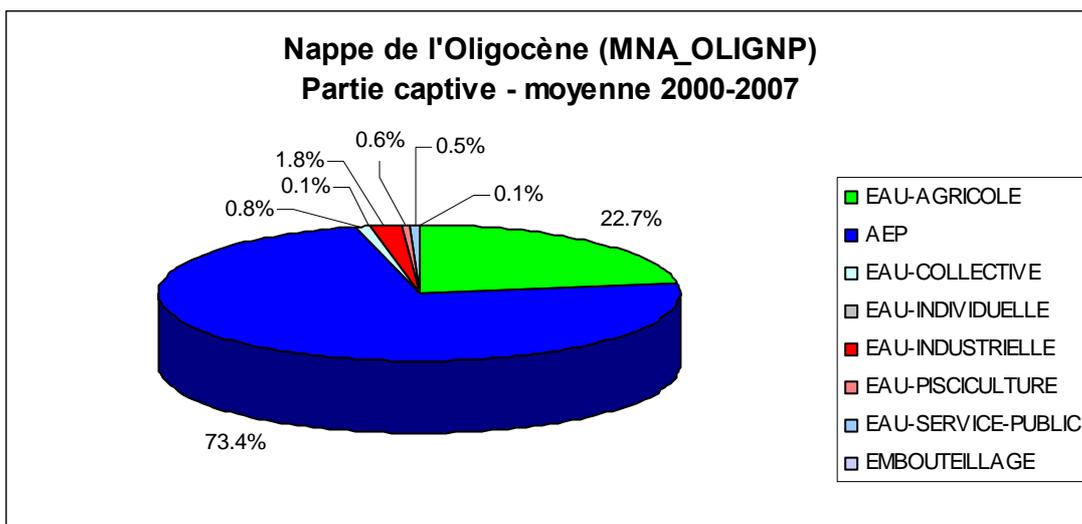
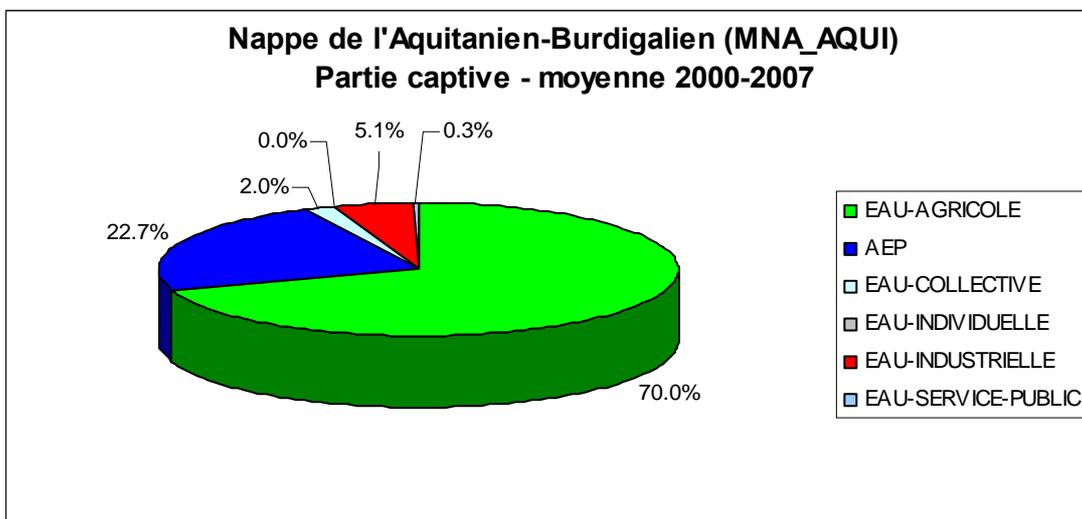
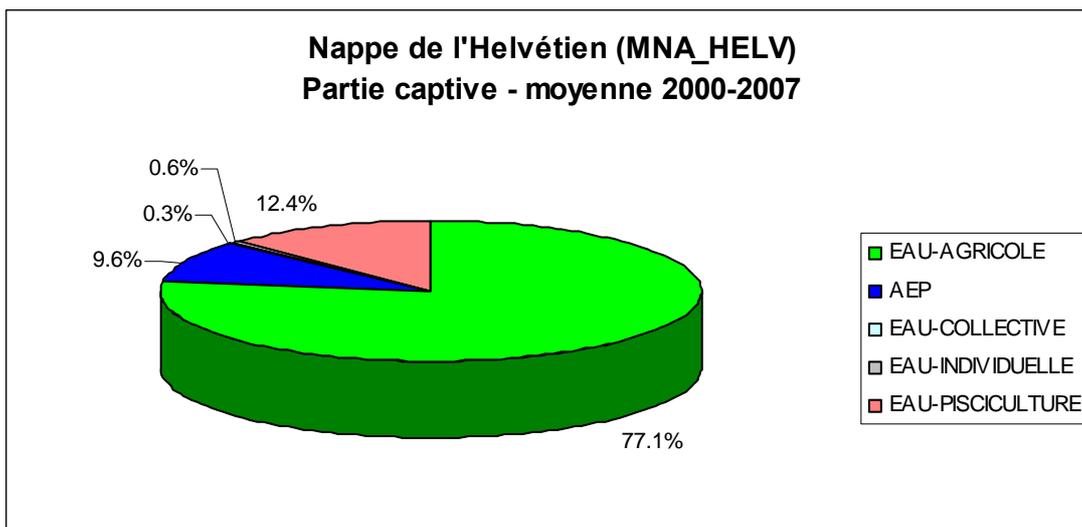
Moyenne des flux sur la période 1997-2007

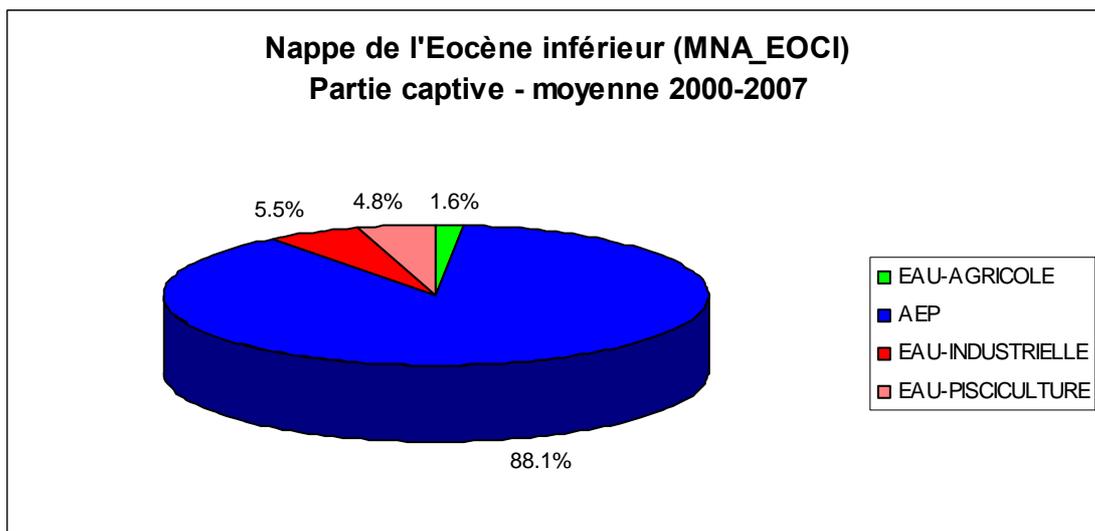
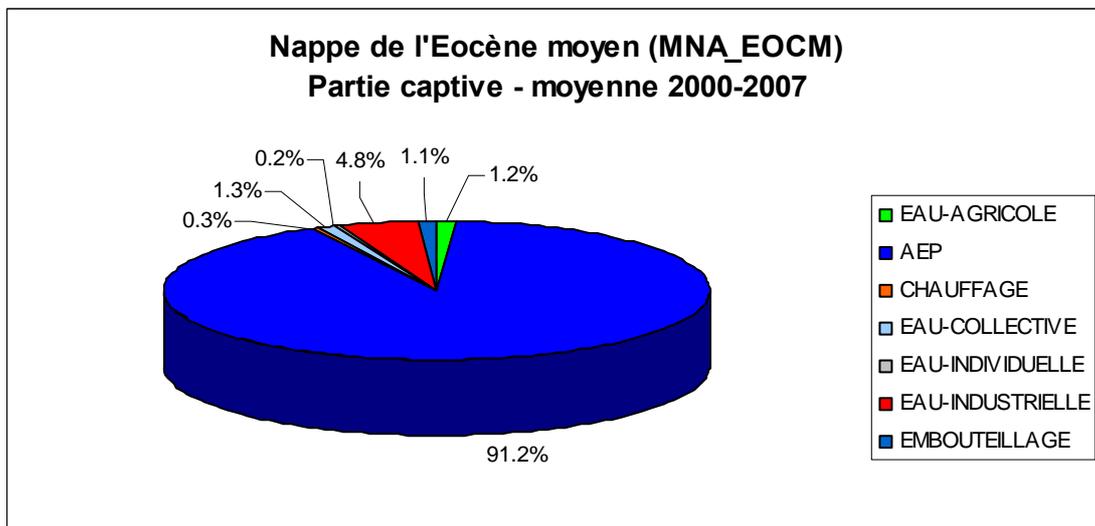
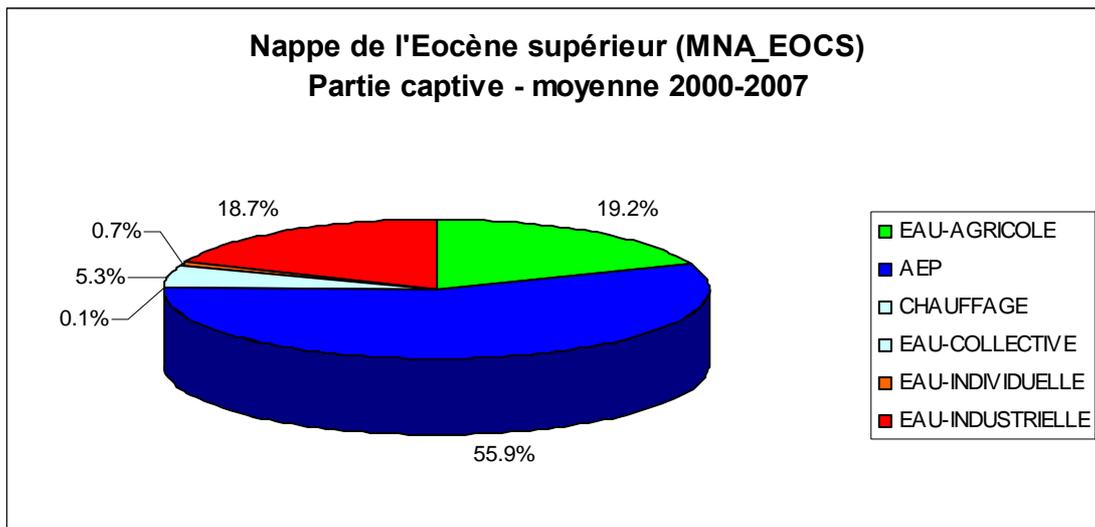


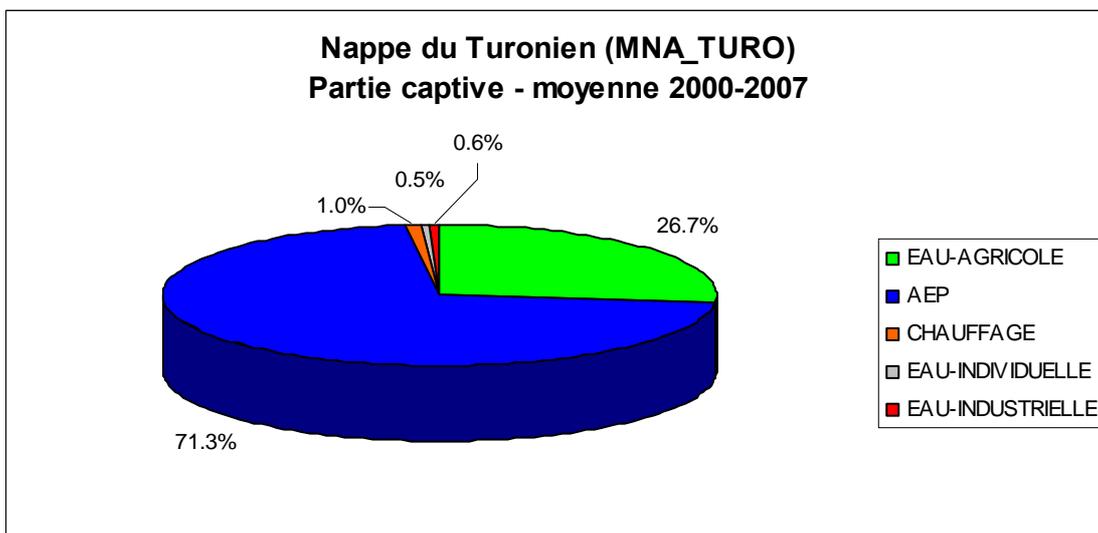
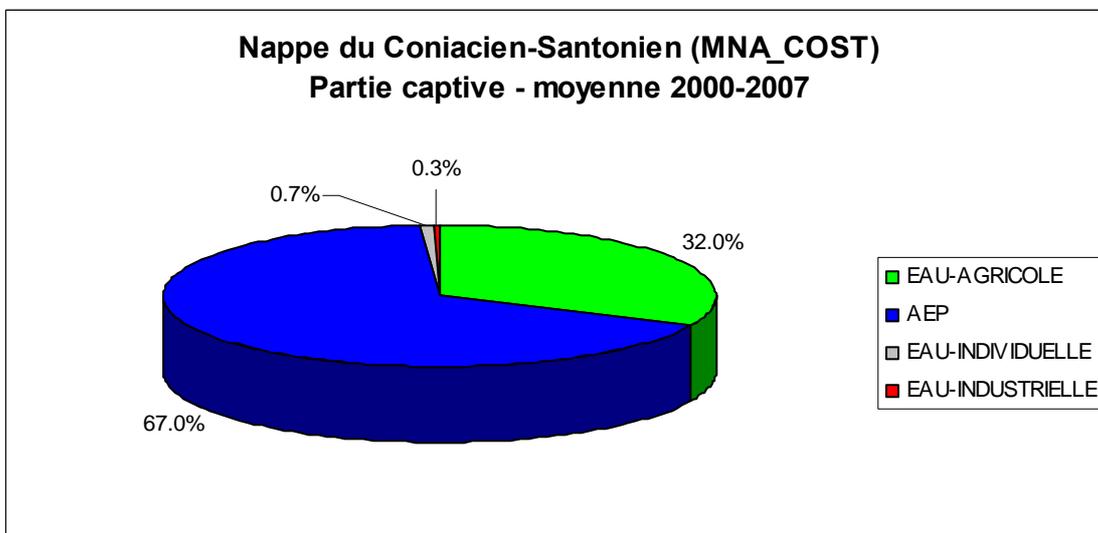
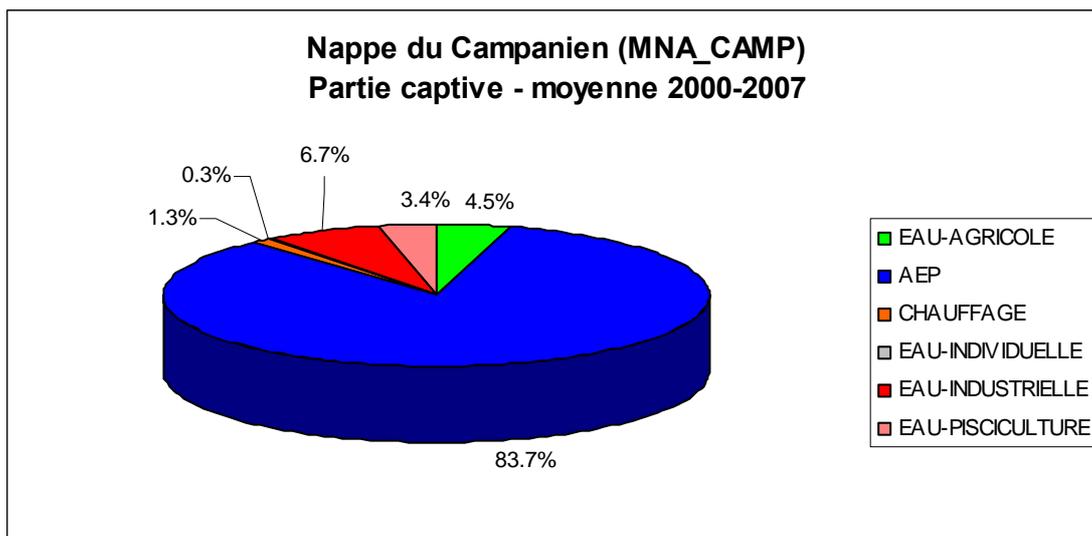
Bilan global des débits du modèle Nord Aquitain – Période 1997-2007– en millions de m³/an

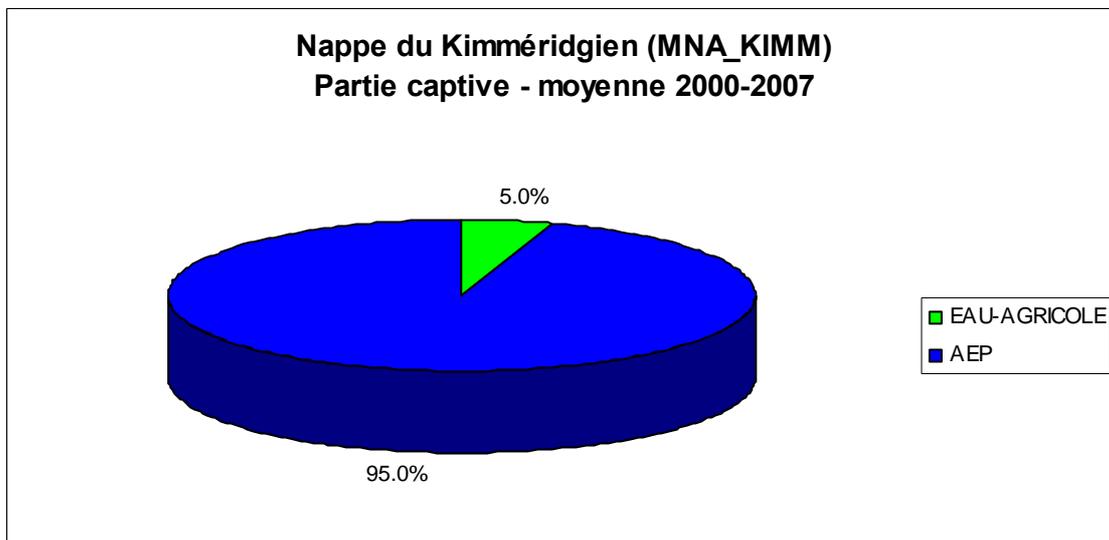
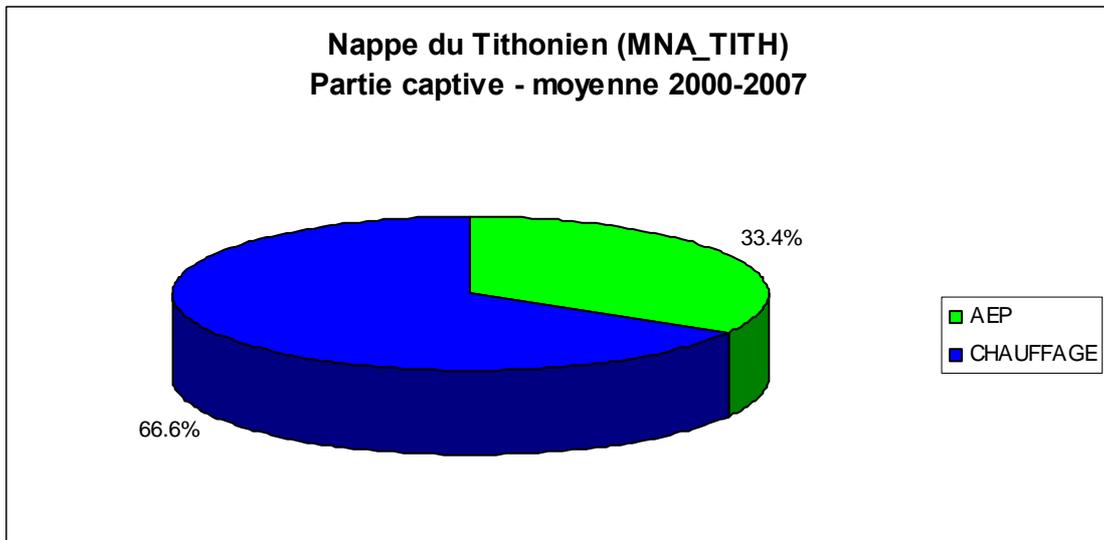
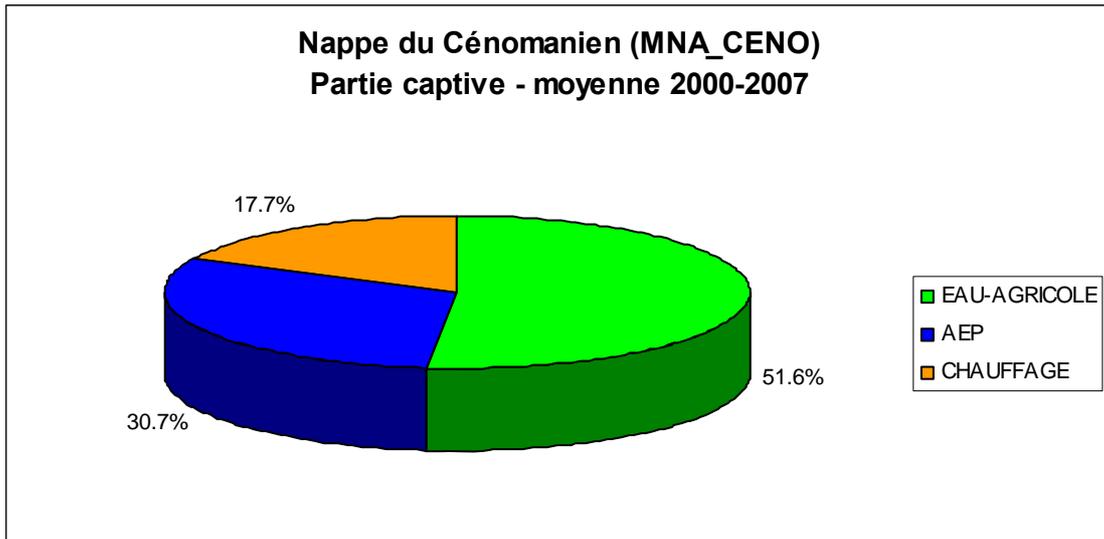
Annexe 3

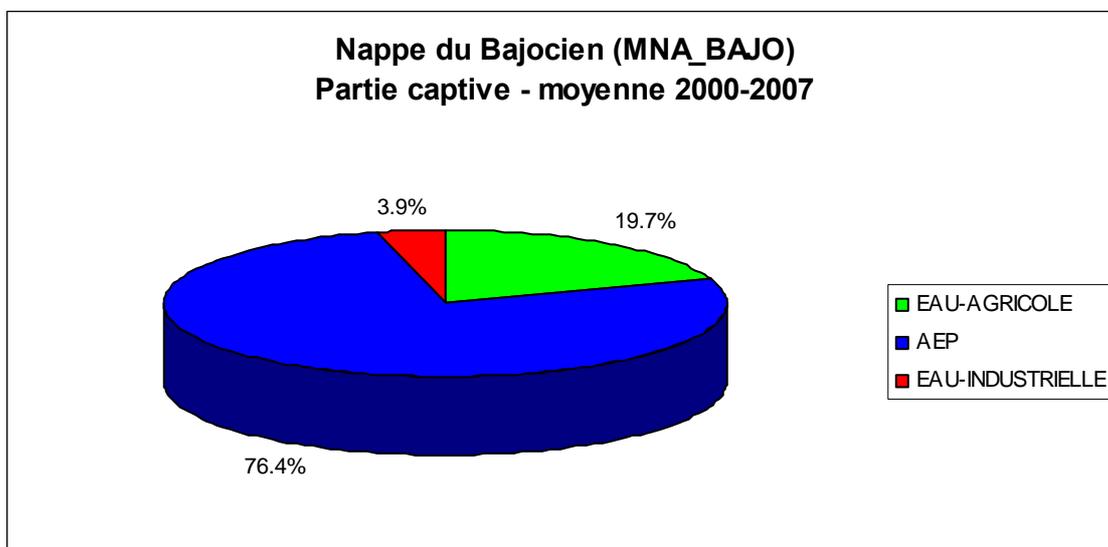
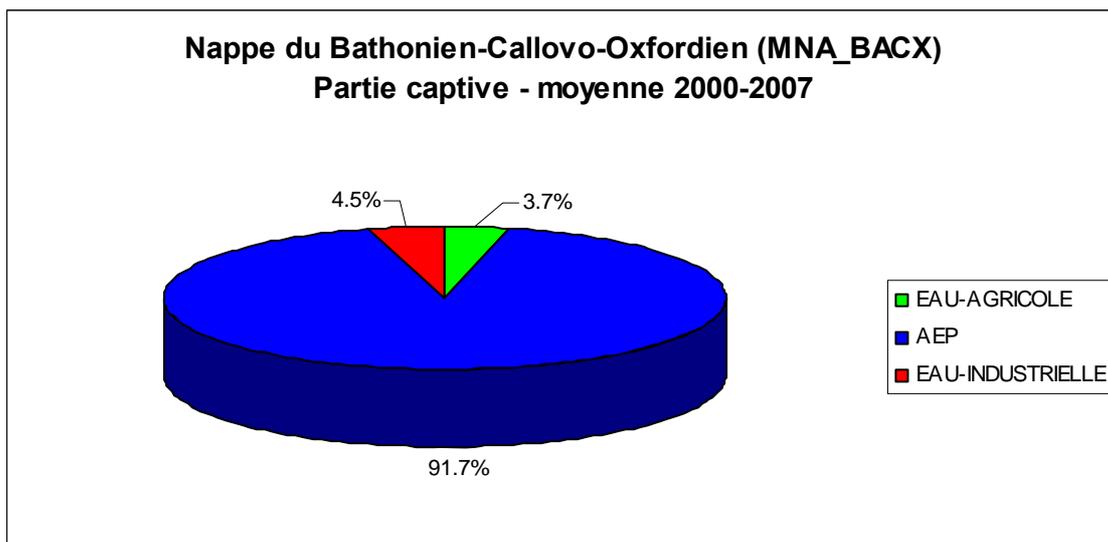
Répartition des prélèvements par usage et par nappe pour les 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives)– moyenne 2000-2007







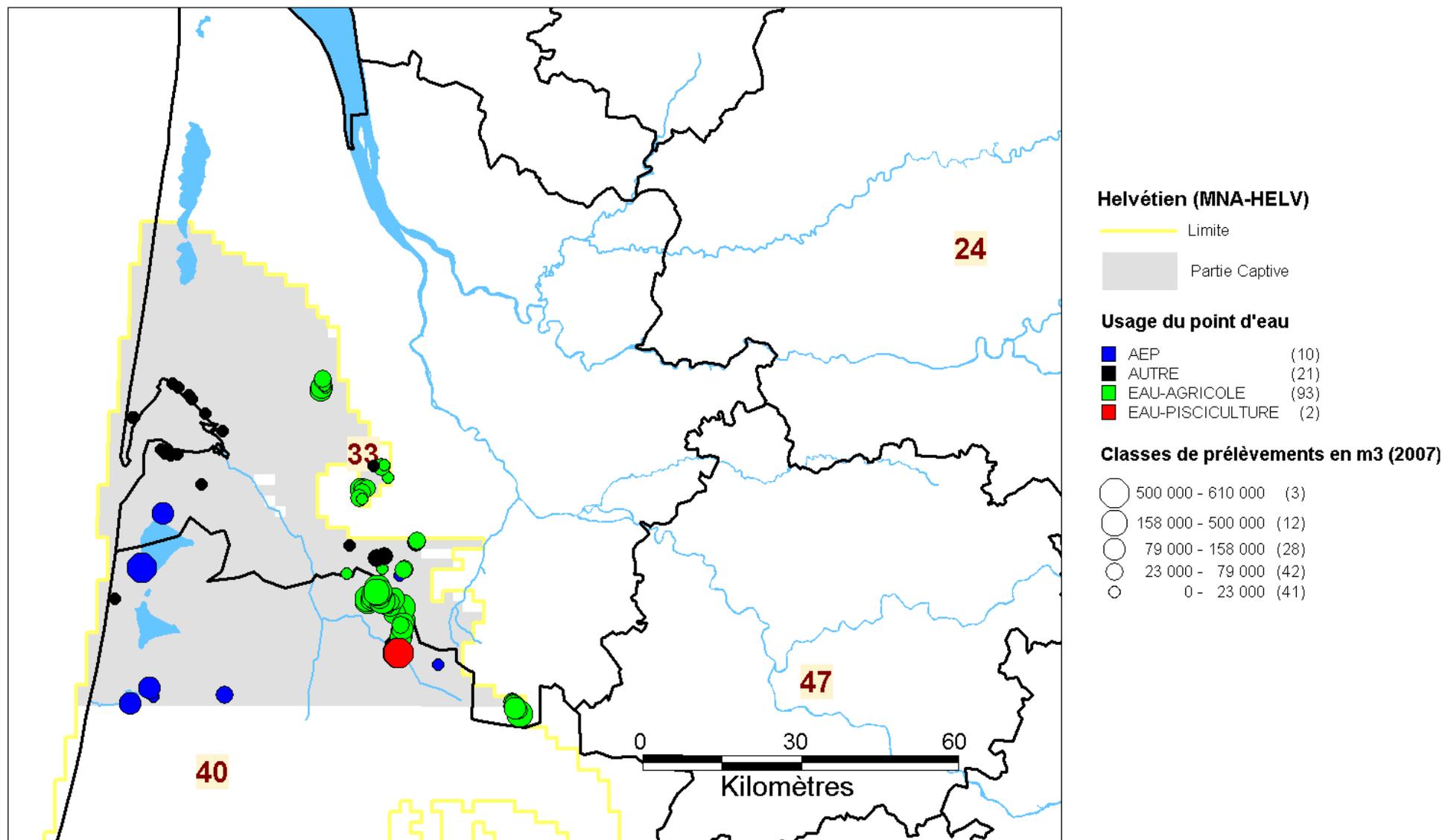


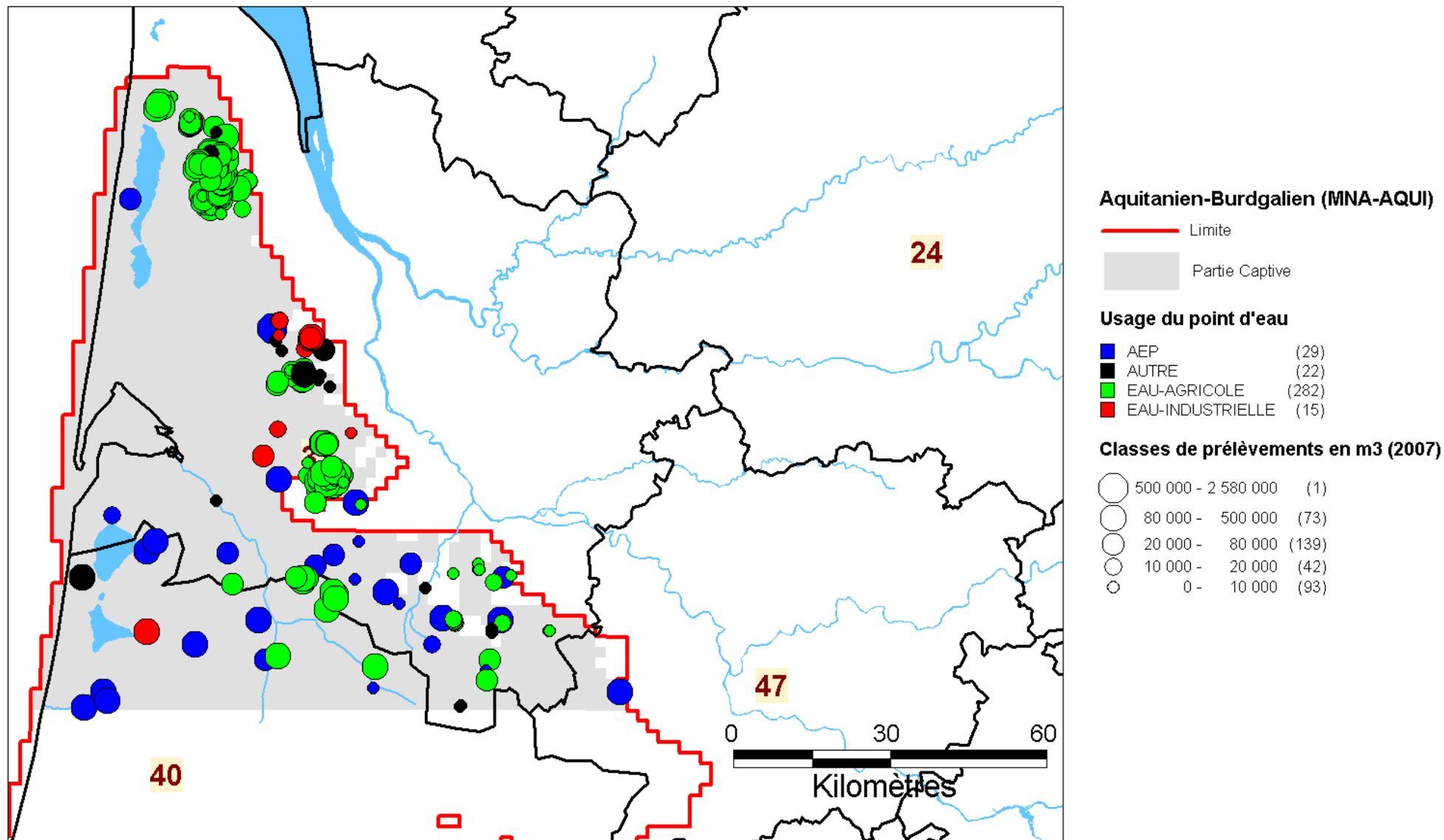


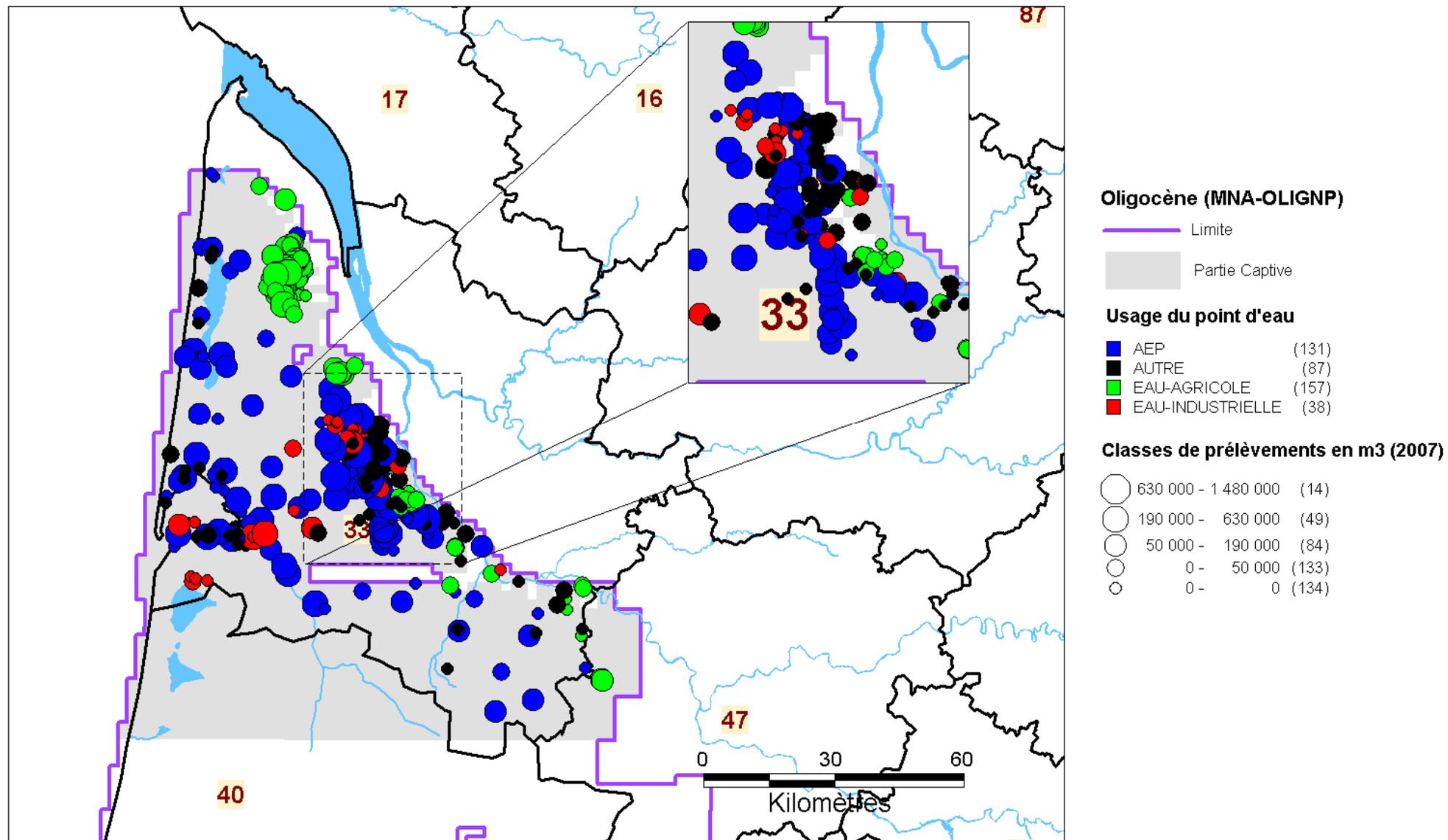
Annexe 4

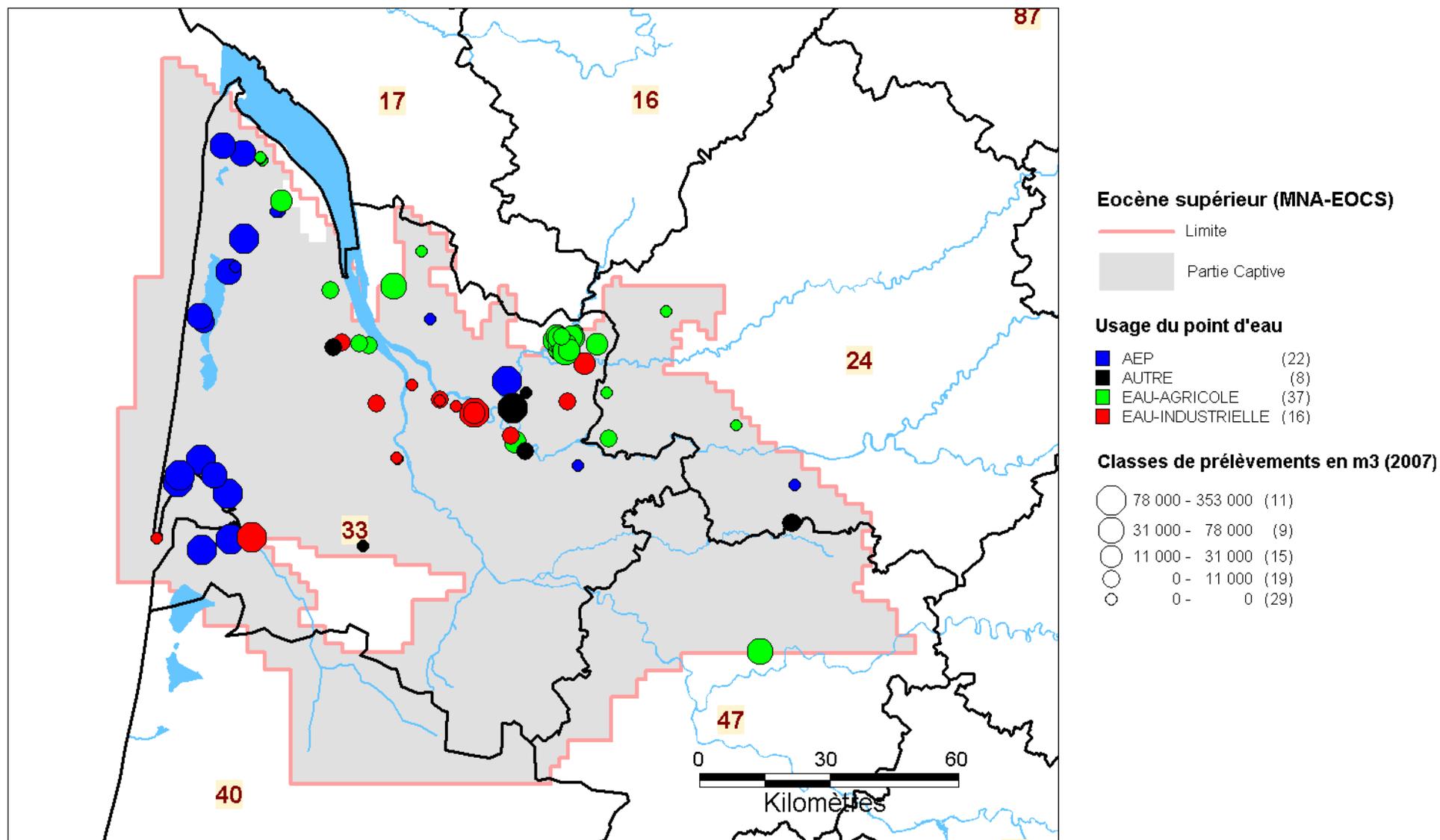
Cartes de répartition spatiale, par nappe et par usage, des 2048 ouvrages de la zone d'étude (parties captives)

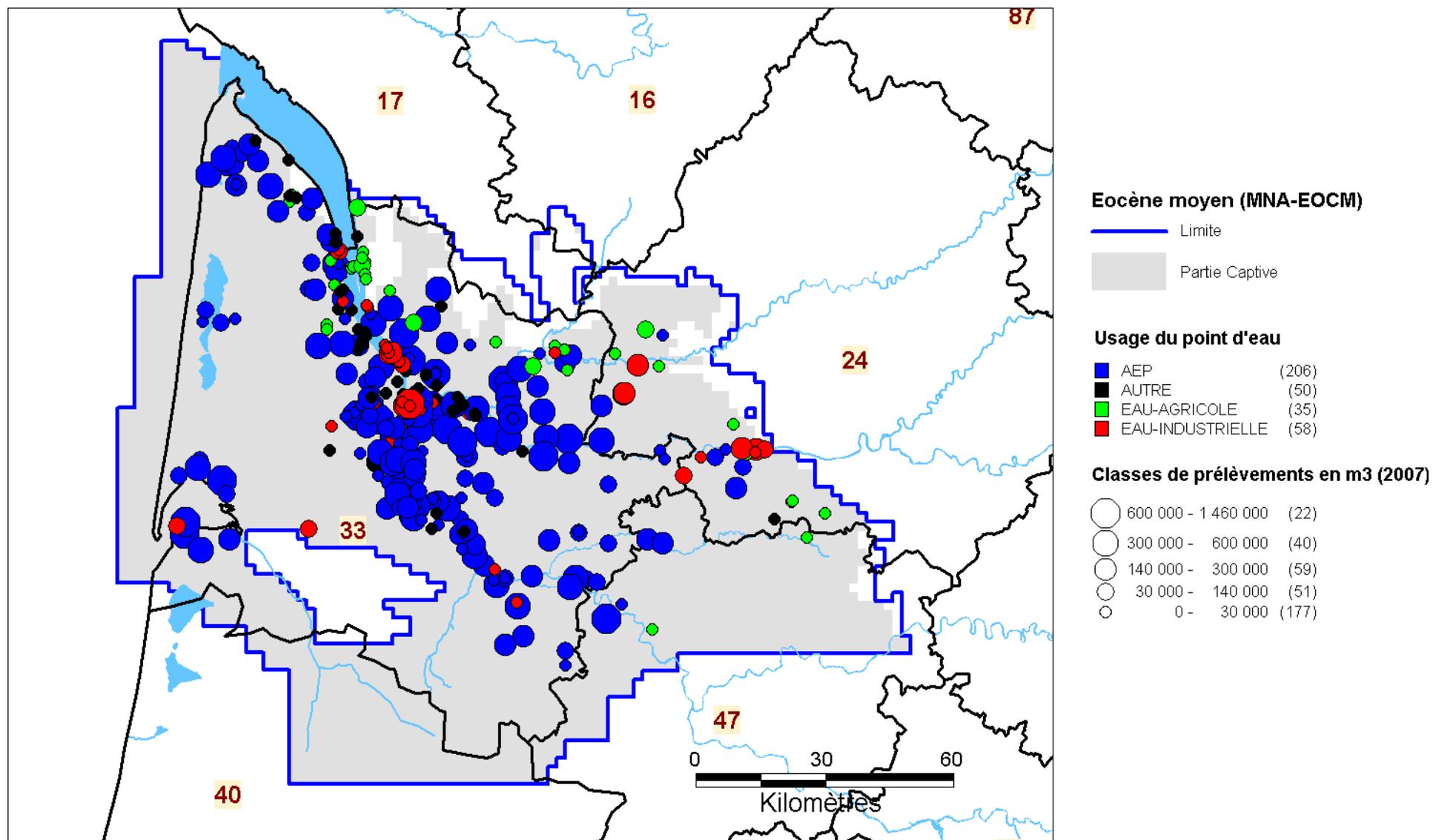
Dans les cartes qui suivent, les ouvrages géothermiques, alimentant des usines d'embouteillages ou des piscicultures ont été regroupés avec l'usage « EAU-INDUSTRIELLE »

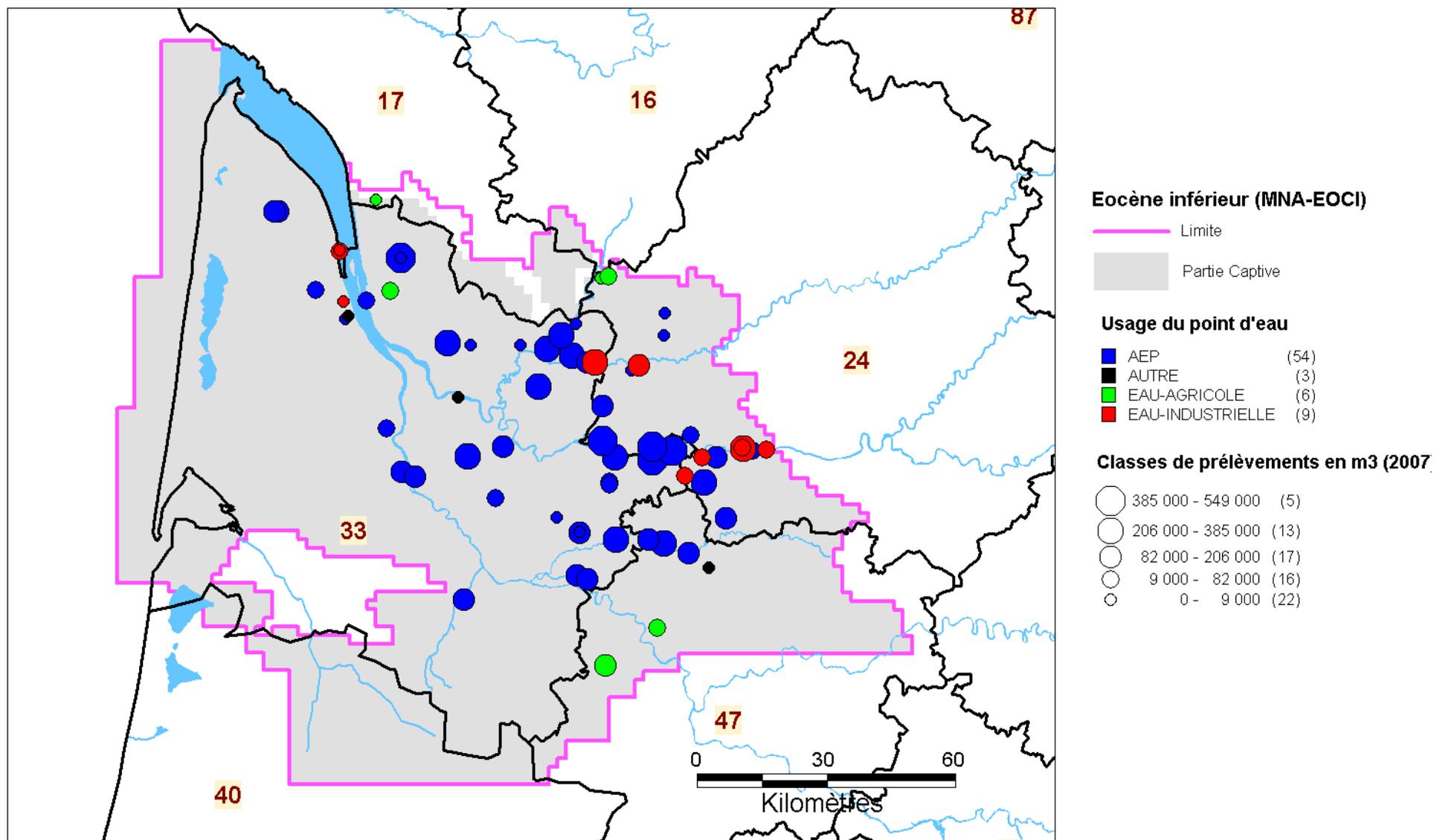


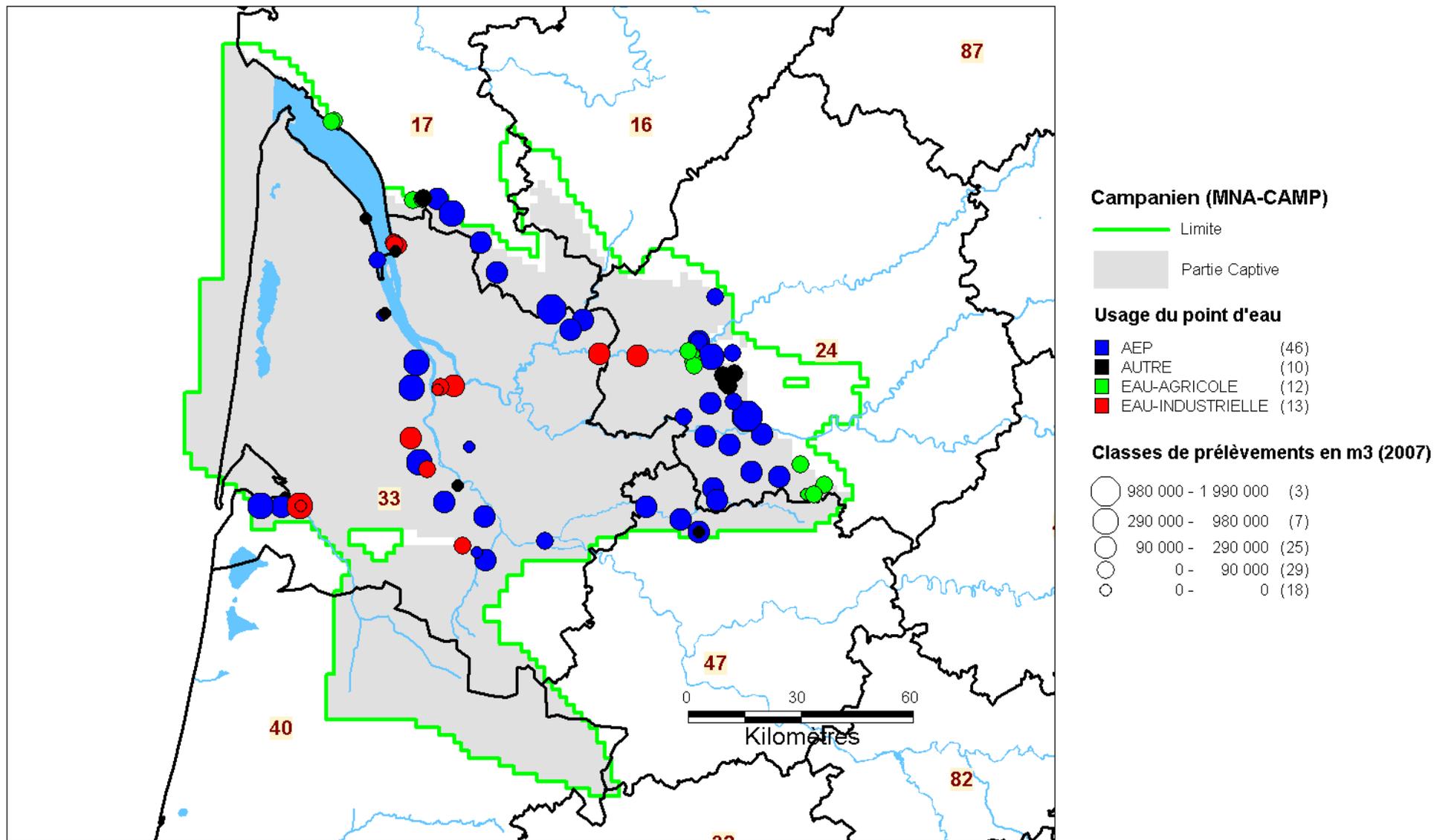


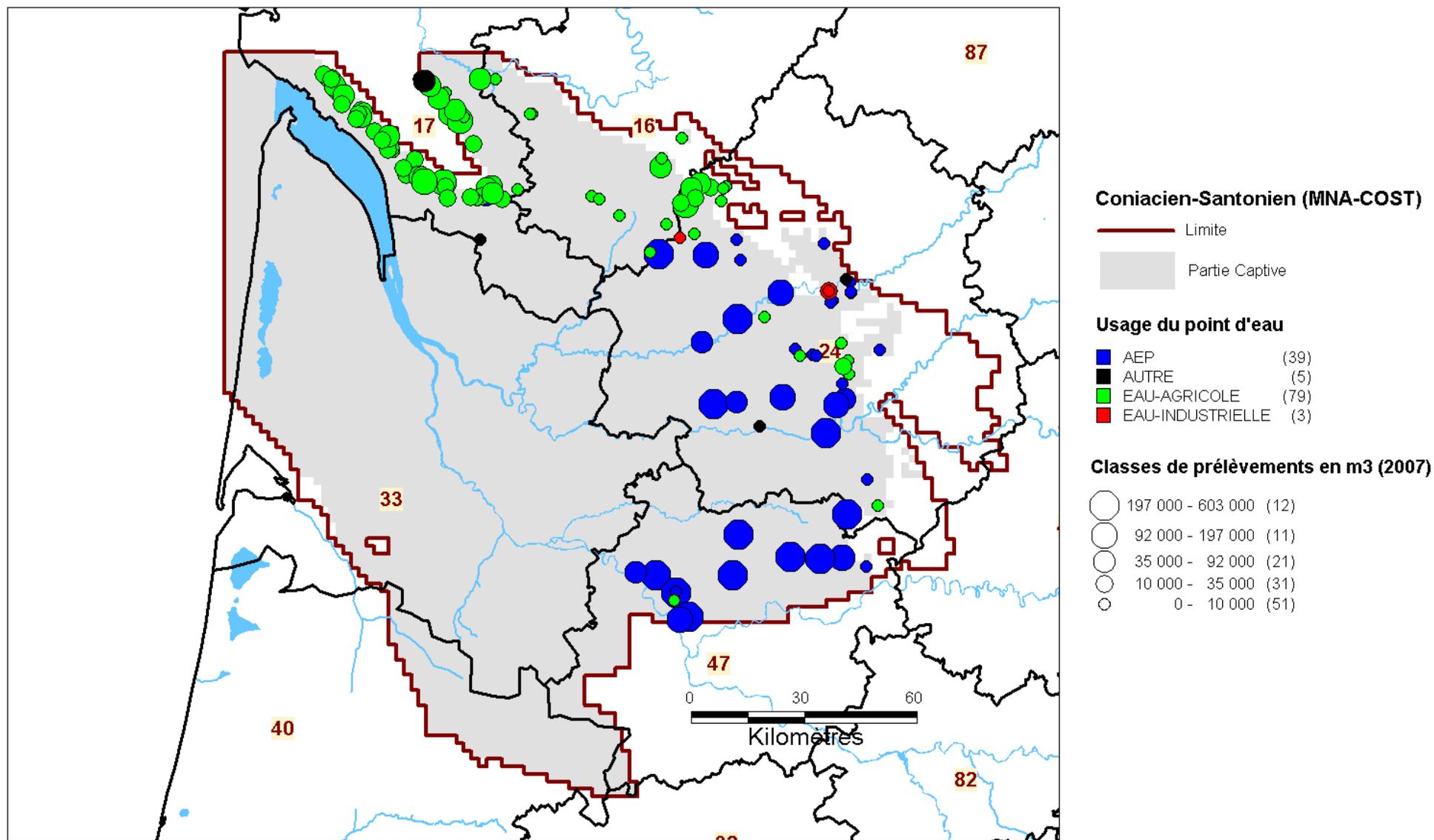


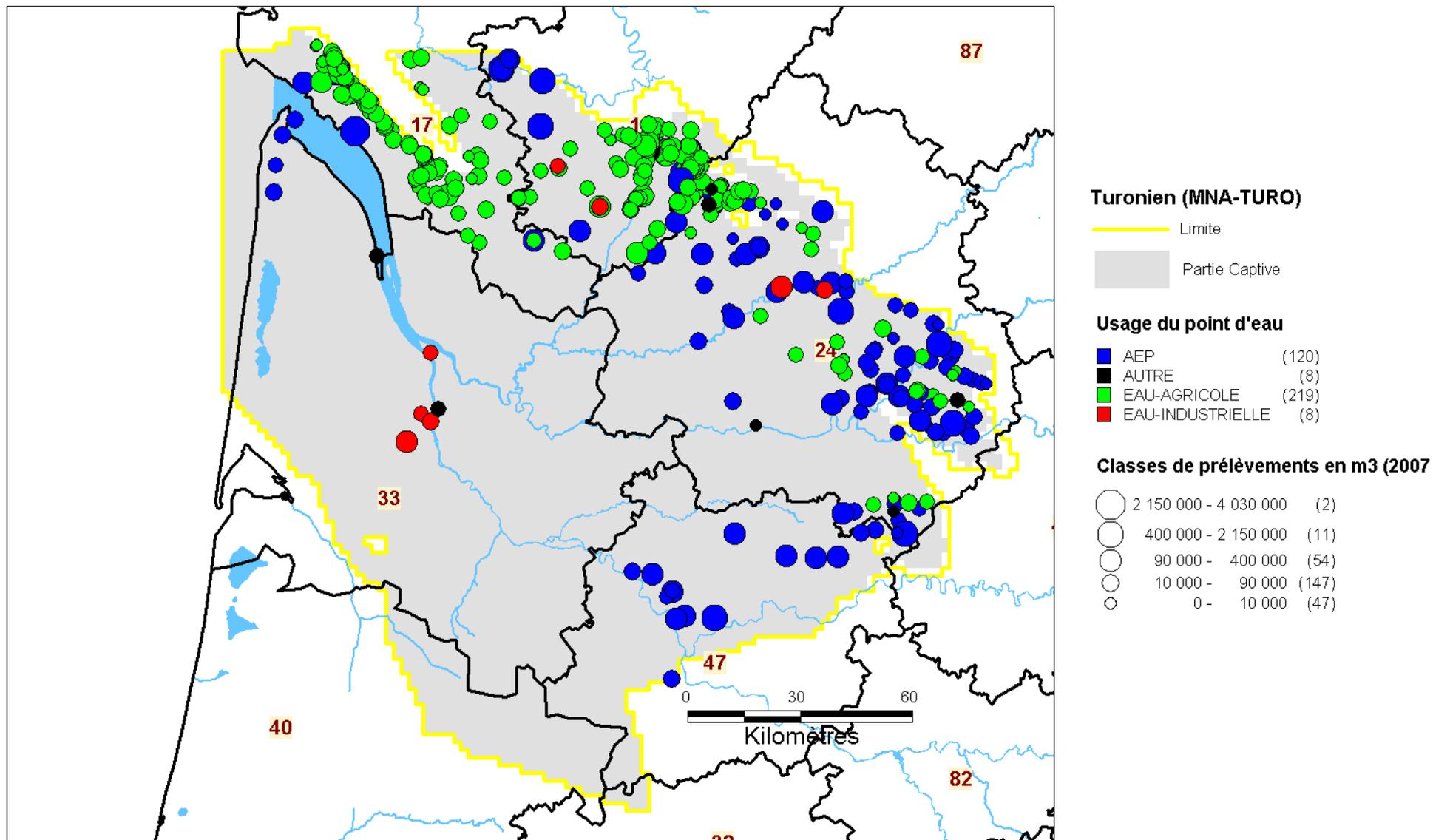


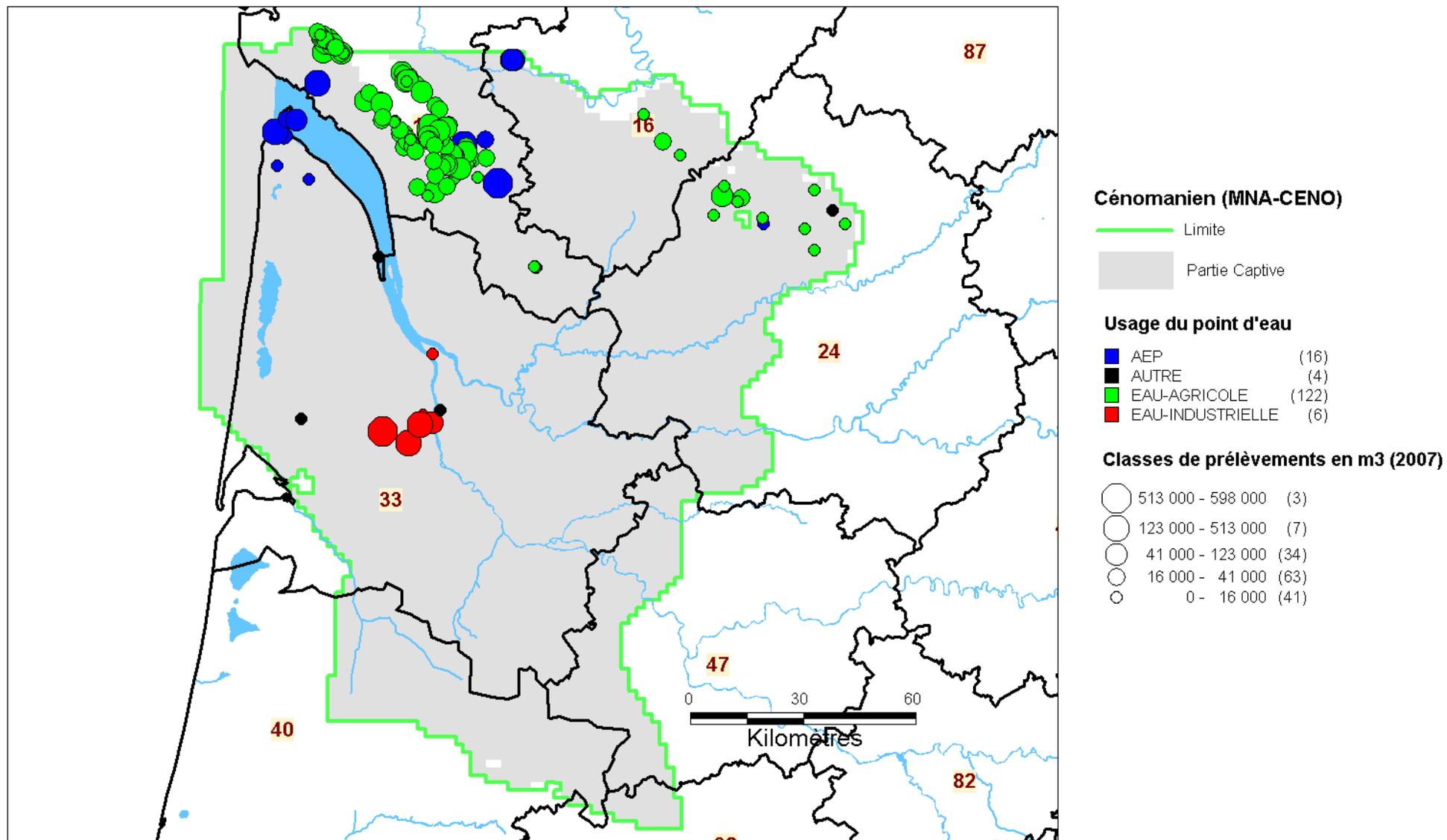


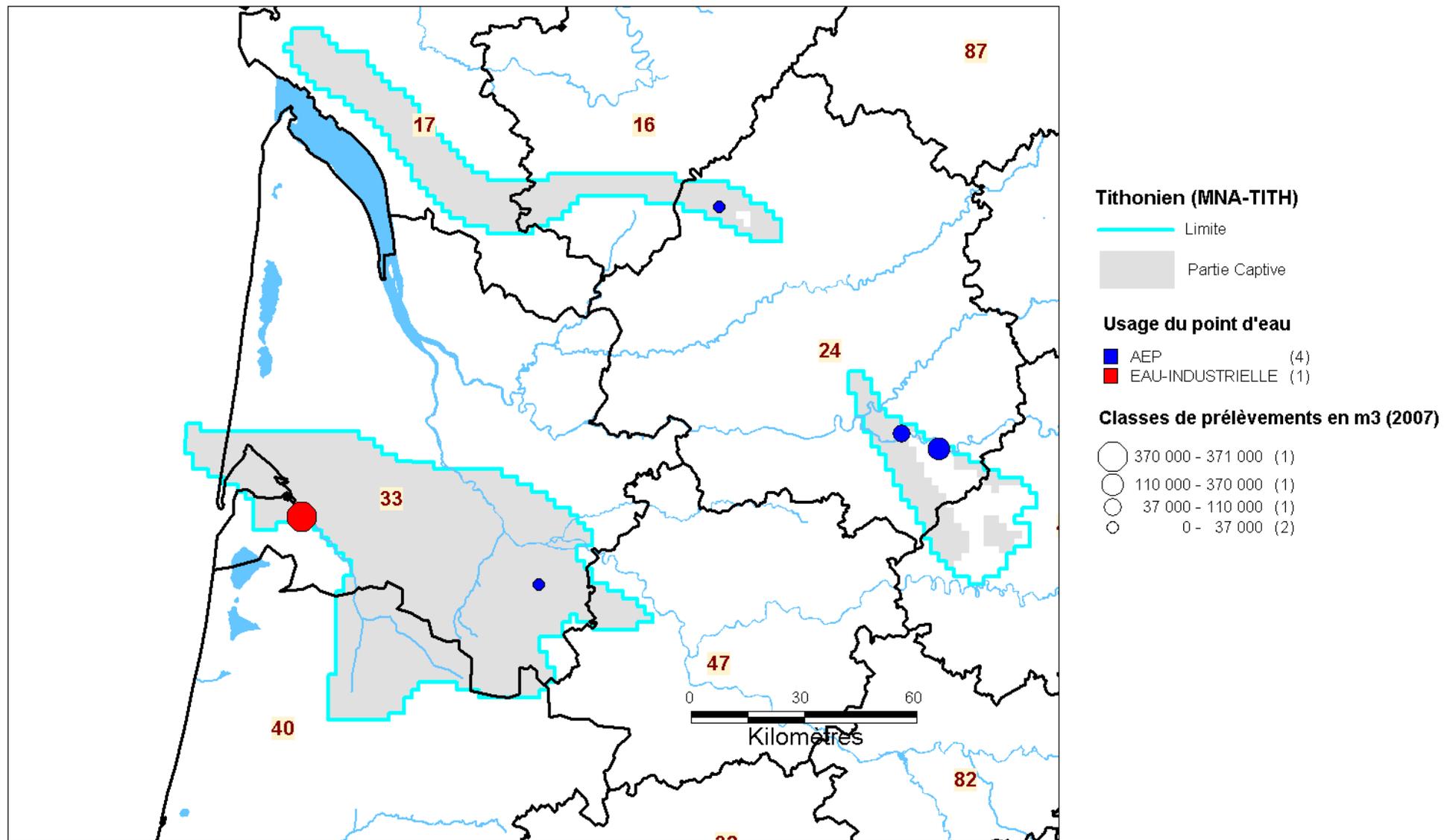


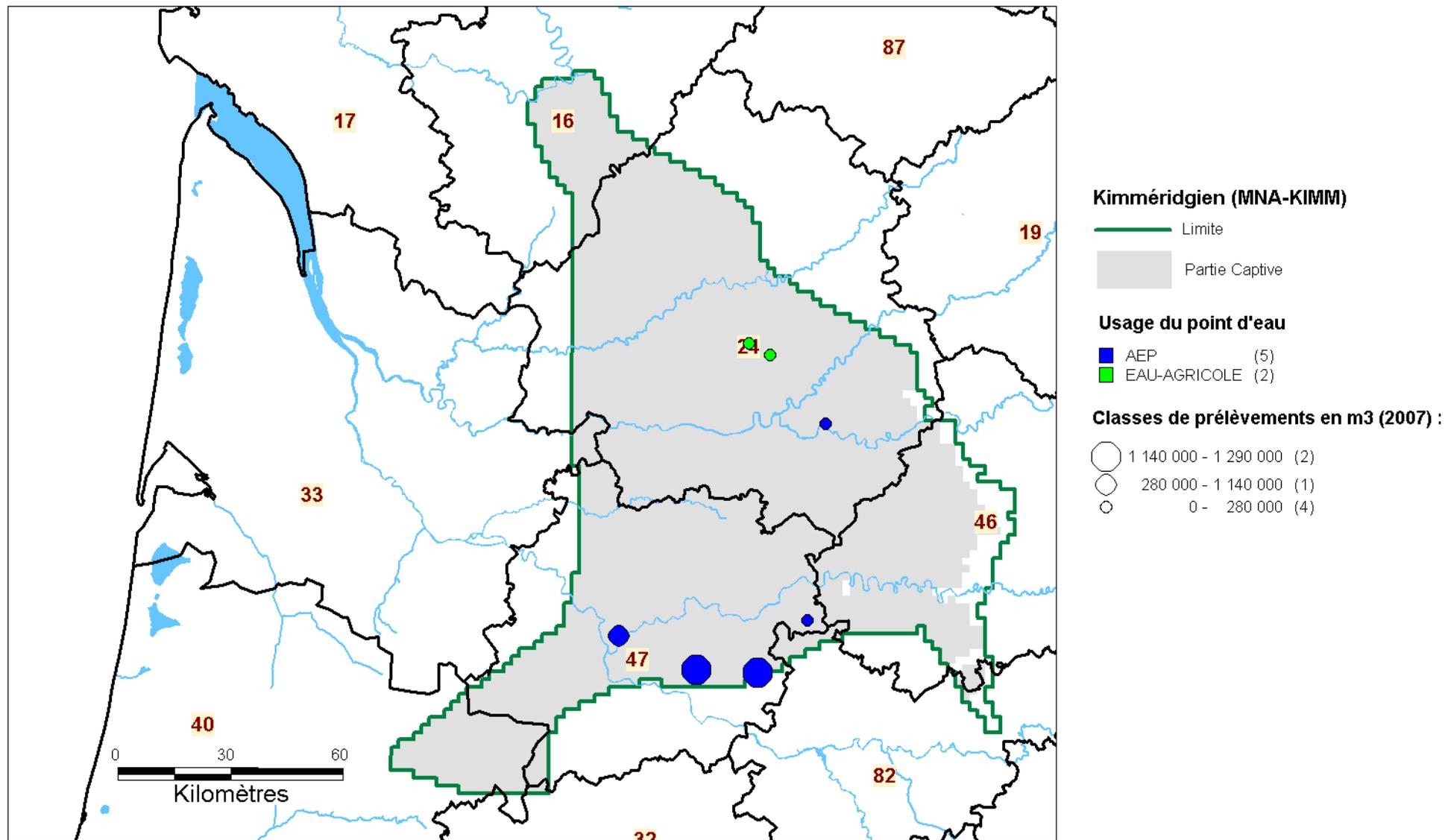


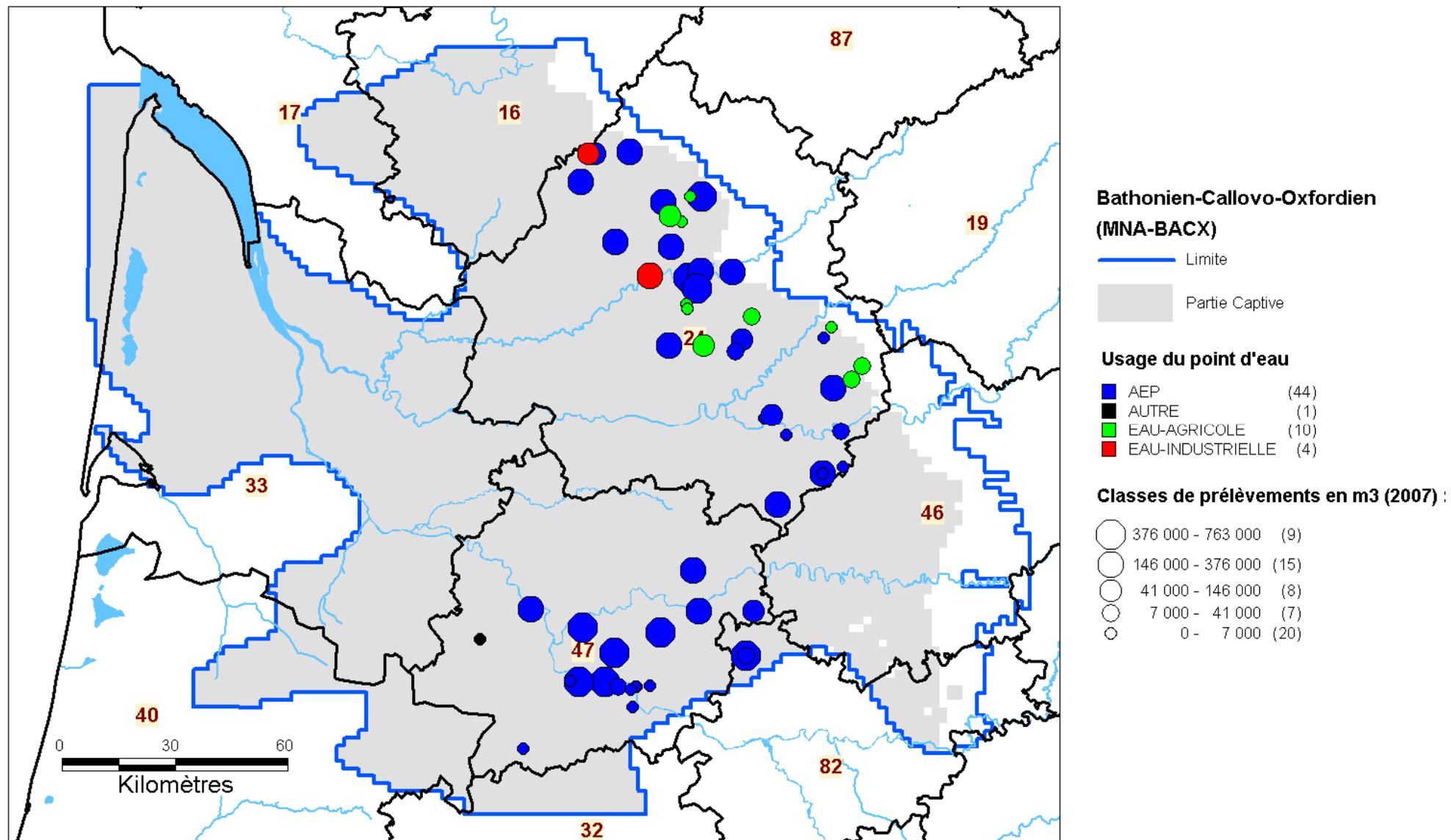


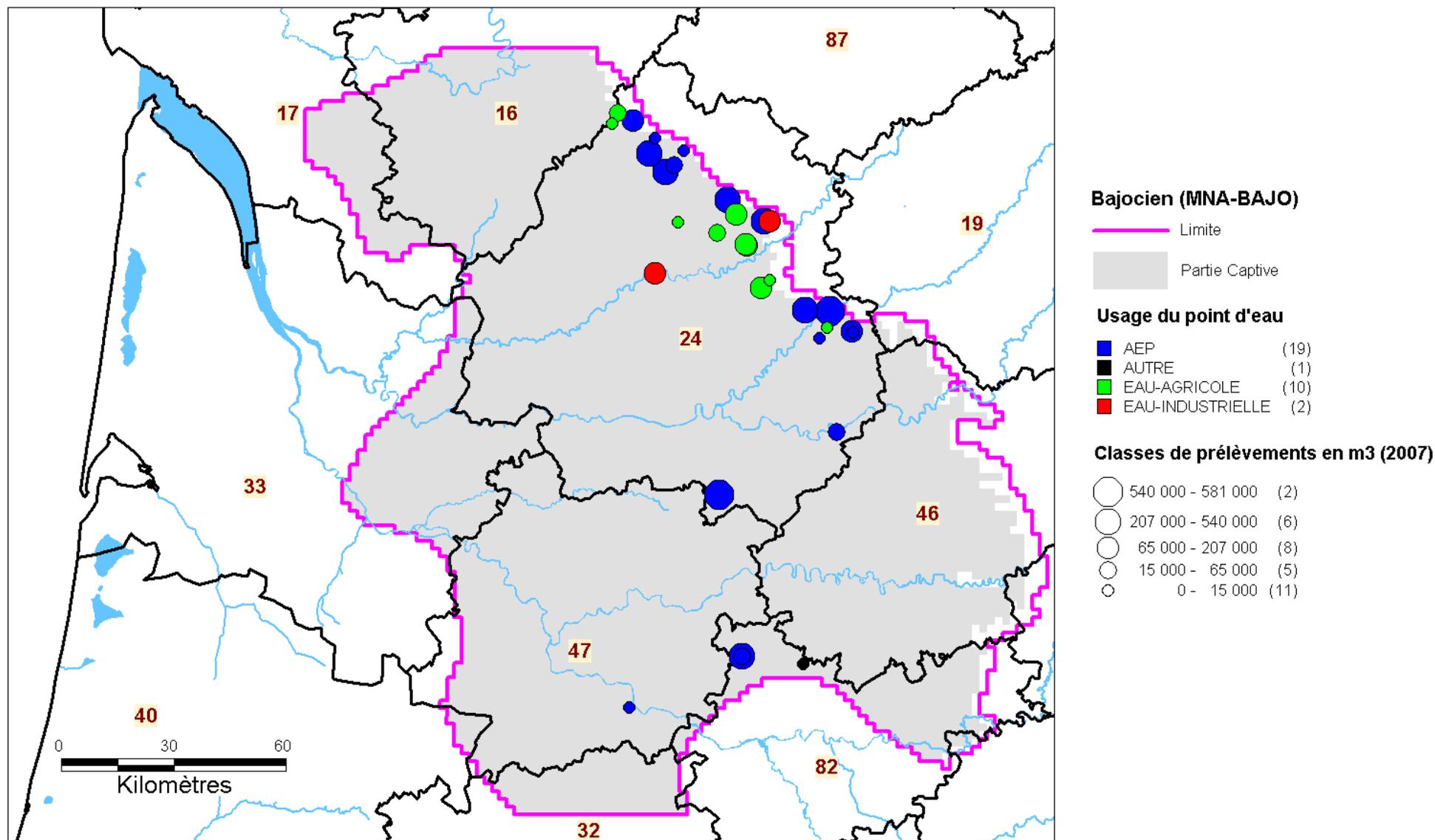








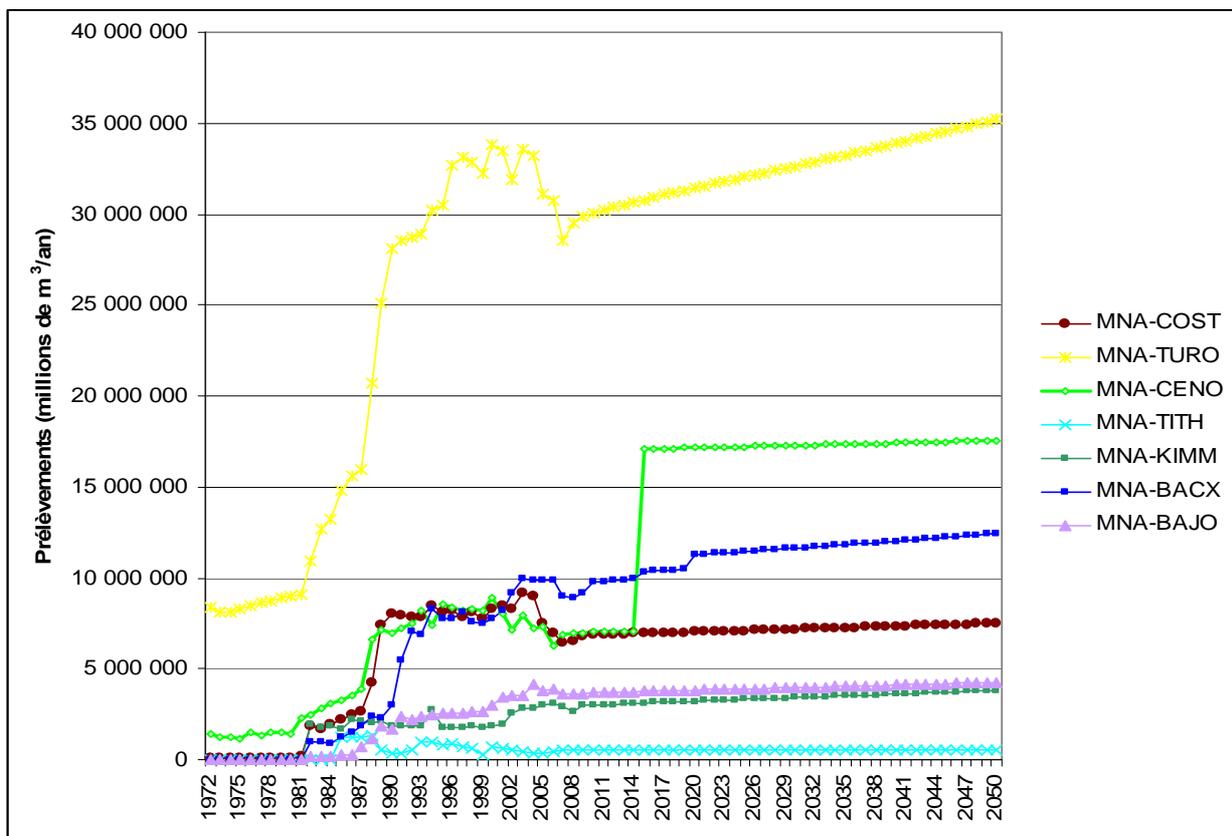
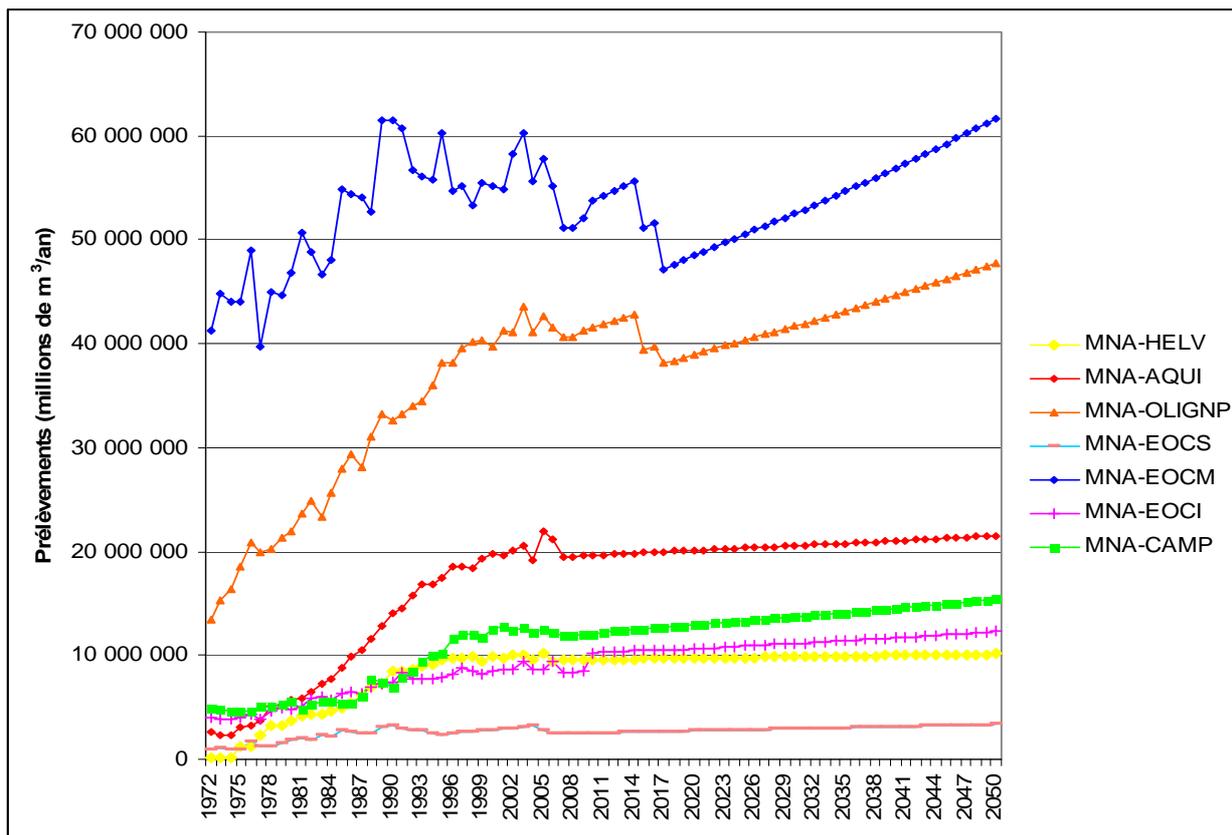




Annexe 5

Evolution des prélèvements par nappes – Période 1972-2050 - Scénario RA1B – Q Insee

Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



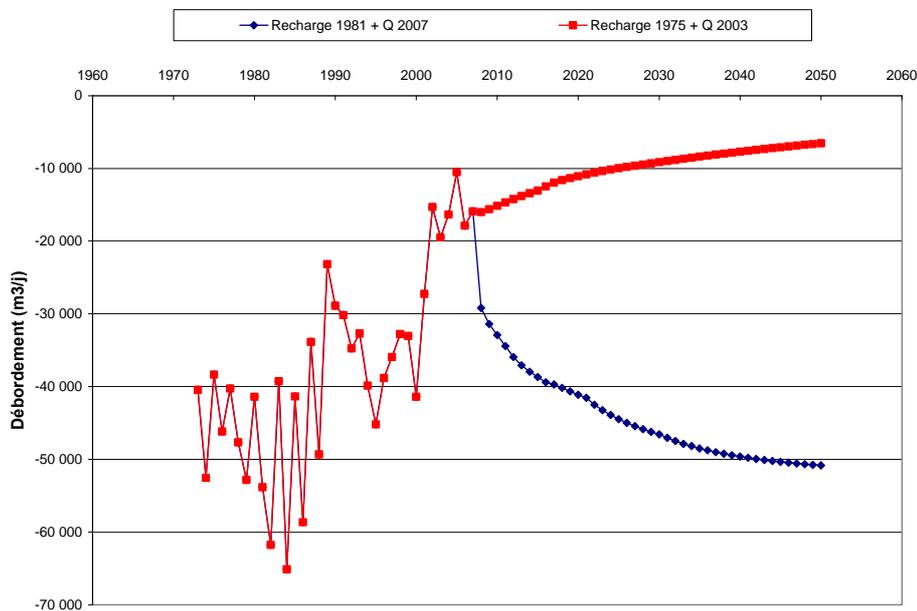
Annexe 6

Relations entre débordement et stockage

Le maintien de conditions de recharge et de prélèvements constants au cours du temps dans les scénarios tendanciels s'accompagne quasi systématiquement d'une réduction, même très lente, du déstockage.

Le système tend à retrouver un nouvel état d'équilibre (régime permanent). Cette réduction progressive du déstockage est due à la mise en place de flux de drainance (générés par le déstockage) combiné à la diminution du flux de débordement avec une inertie propre à chaque couche.

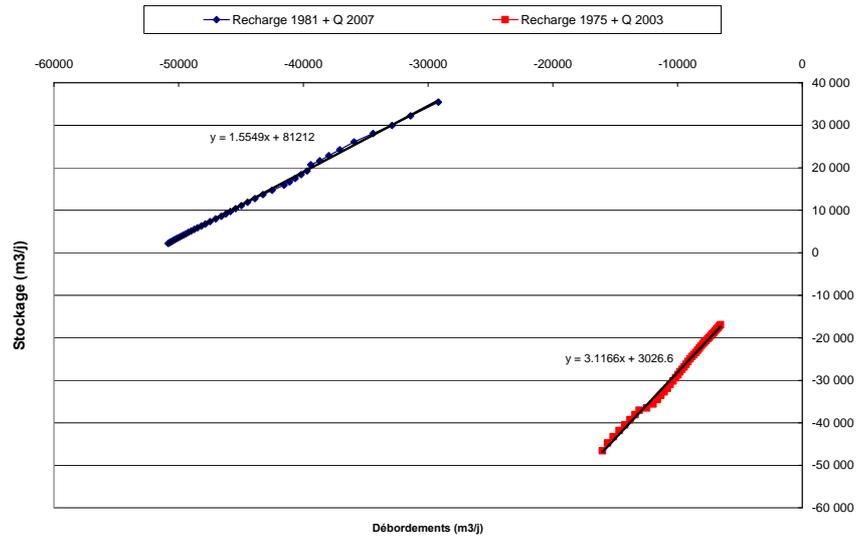
Pour illustrer cela, prenons l'exemple de l'Eocène moyen. L'illustration suivante montre l'évolution du débordement au cours du temps pour les deux scénarios contrastés.



Evolution du débordement pour l'Eocène moyen sur la période 1972-2050 pour 2 scénarios contrastés

Dans le cas du scénario pessimiste « Recharge 1975 + Prélèvements 2003 », on constate effectivement une diminution du débordement sur la période 2008-2050.

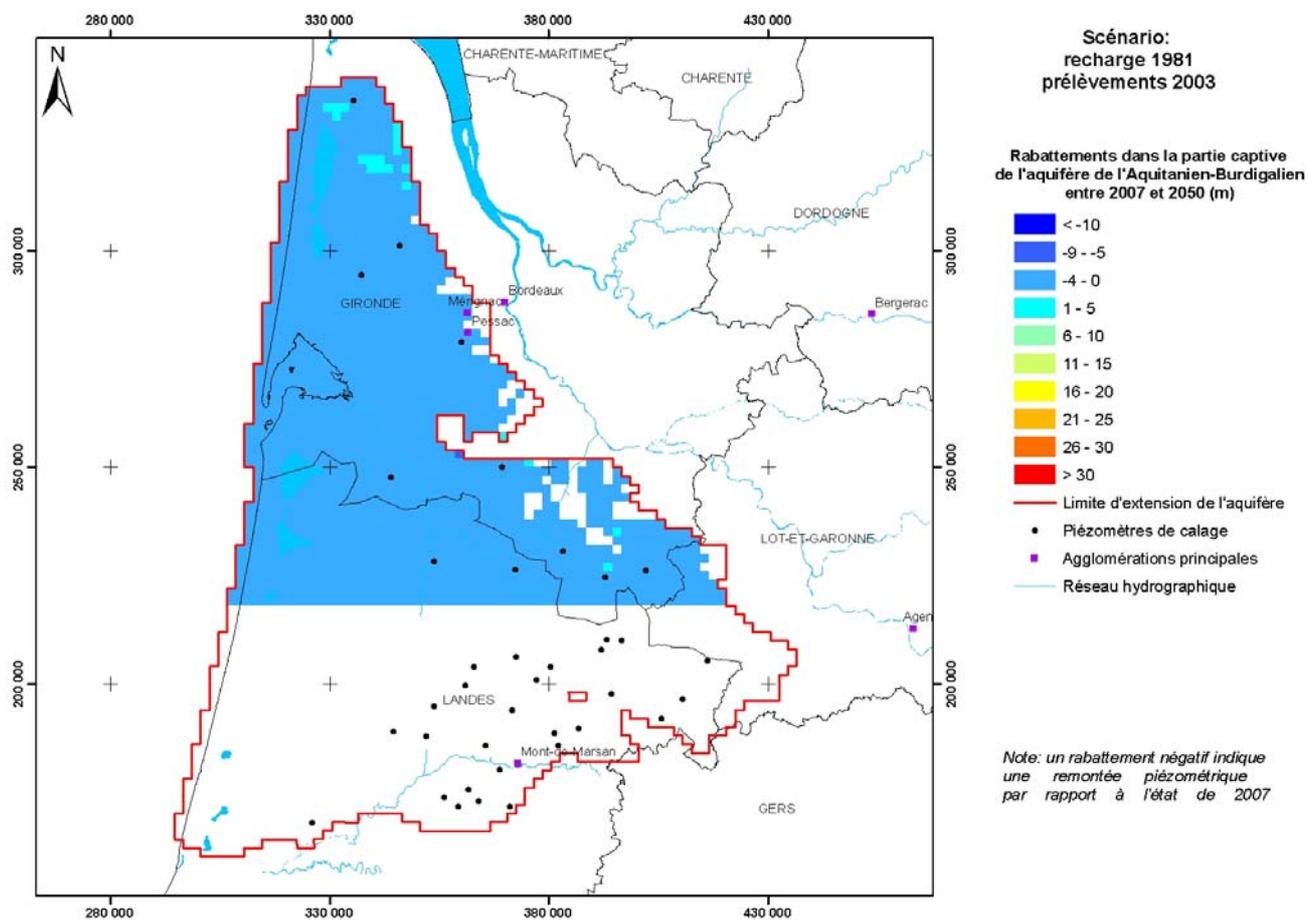
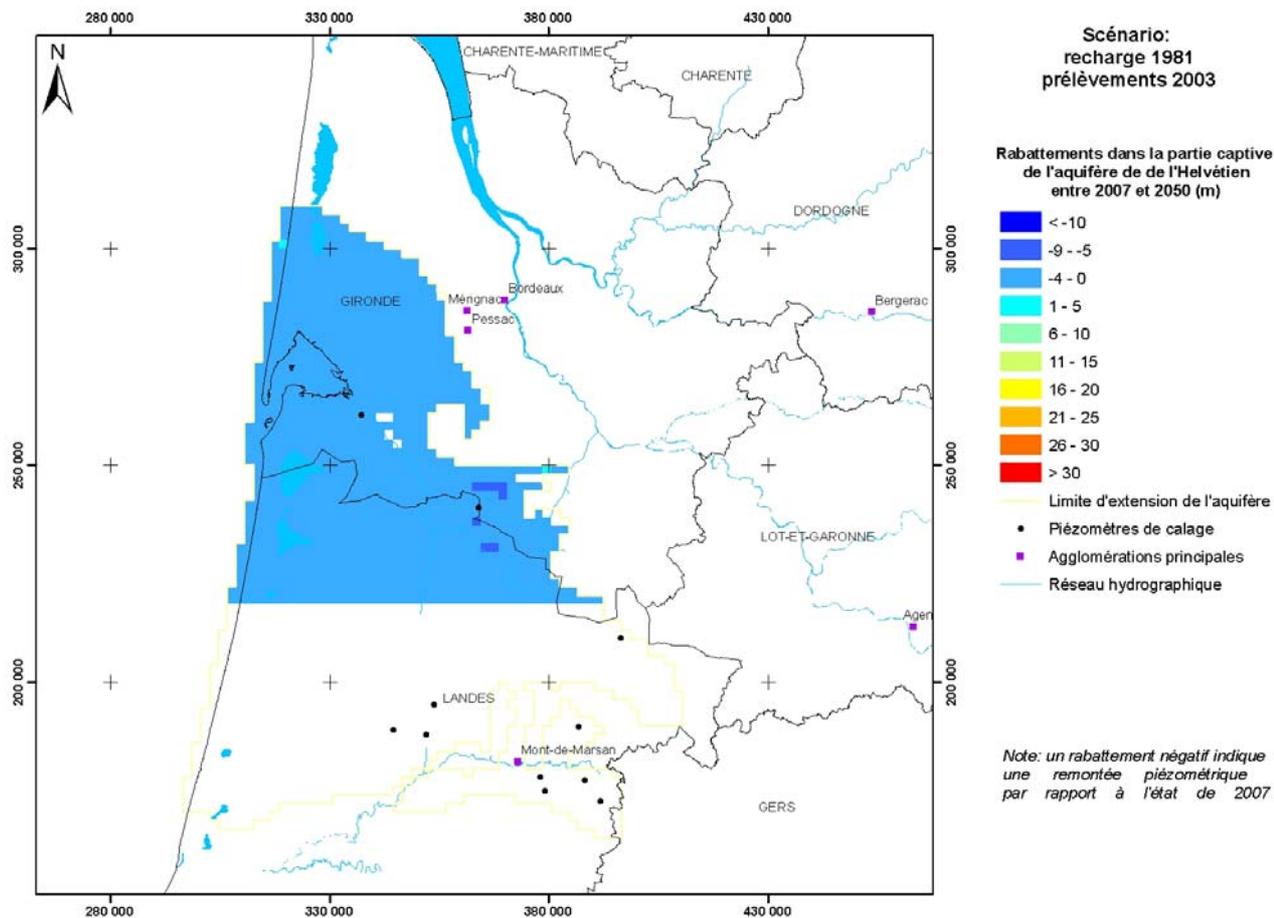
En mettant en relation le stockage avec le débordement sur la période 2008-2050 (cf. illustration ci-après), il apparaît qu'avec de faibles valeurs de débordement (scénario « Recharge 1975 + Prélèvements 2003 »), une variation positive d'une unité pour le débordement conduit à une variation positive environ 4 fois plus importante pour le stockage.

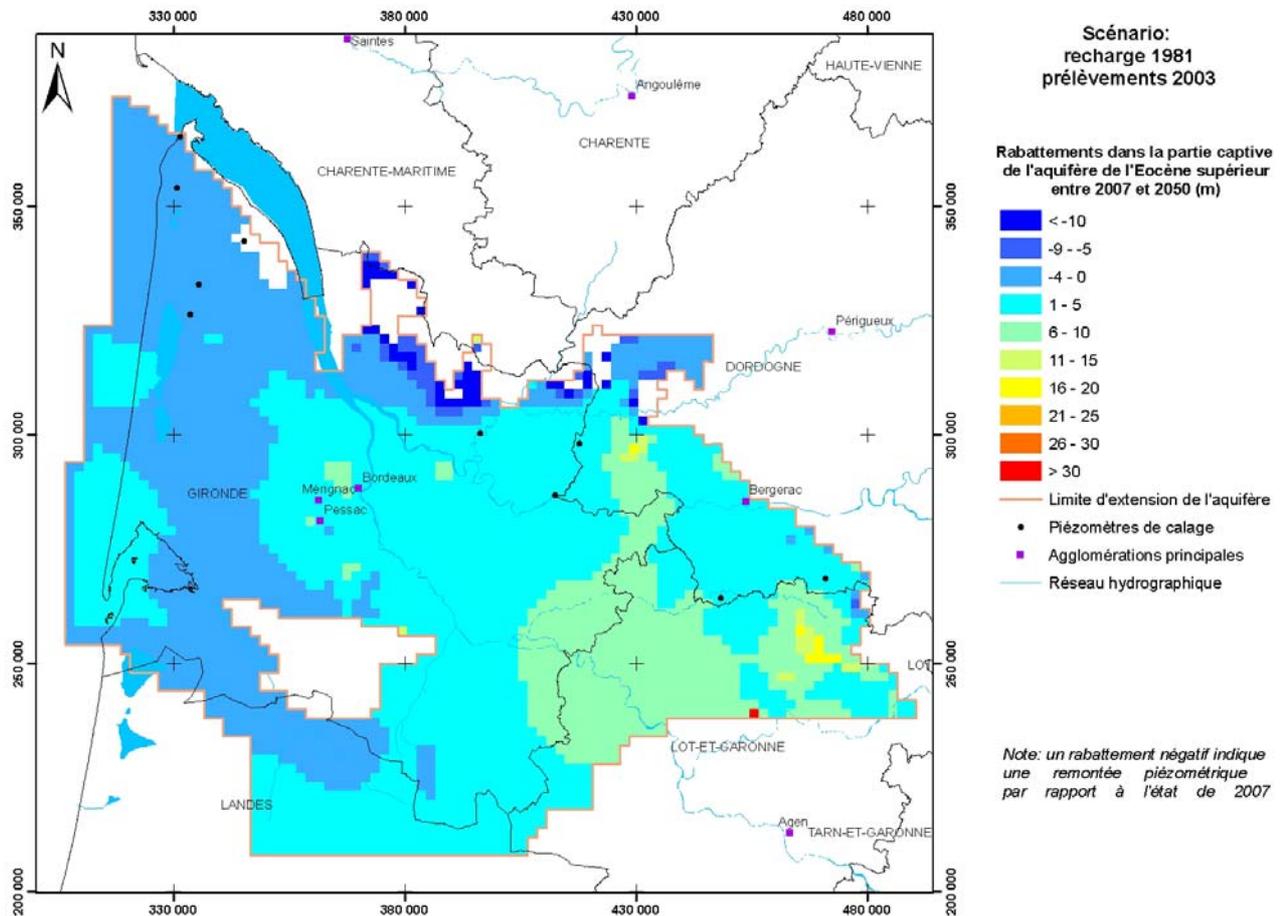
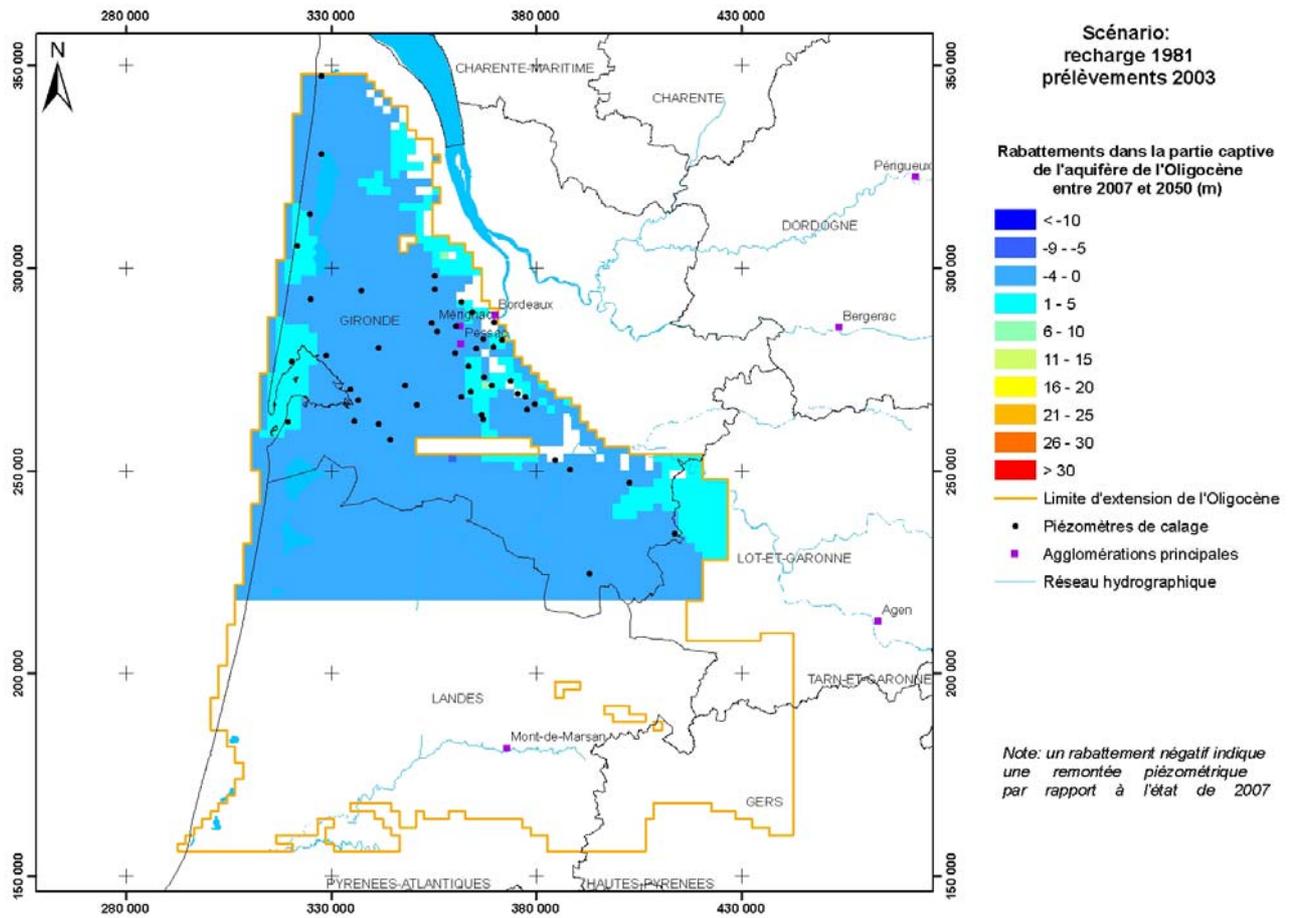


Relation entre le stockage/déstockage et le débordement sur la période 2008-2050 pour la nappe de l'Eocène moyen

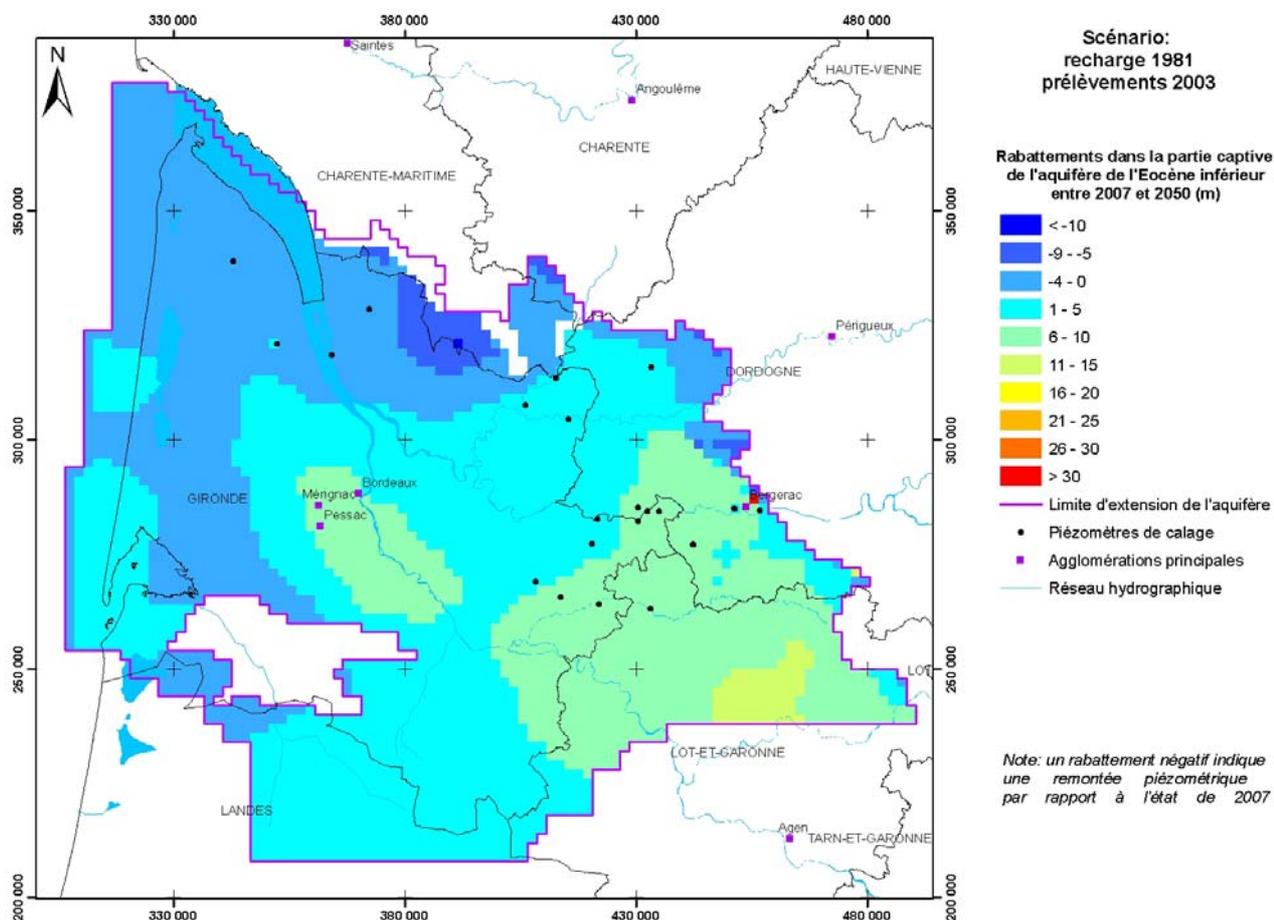
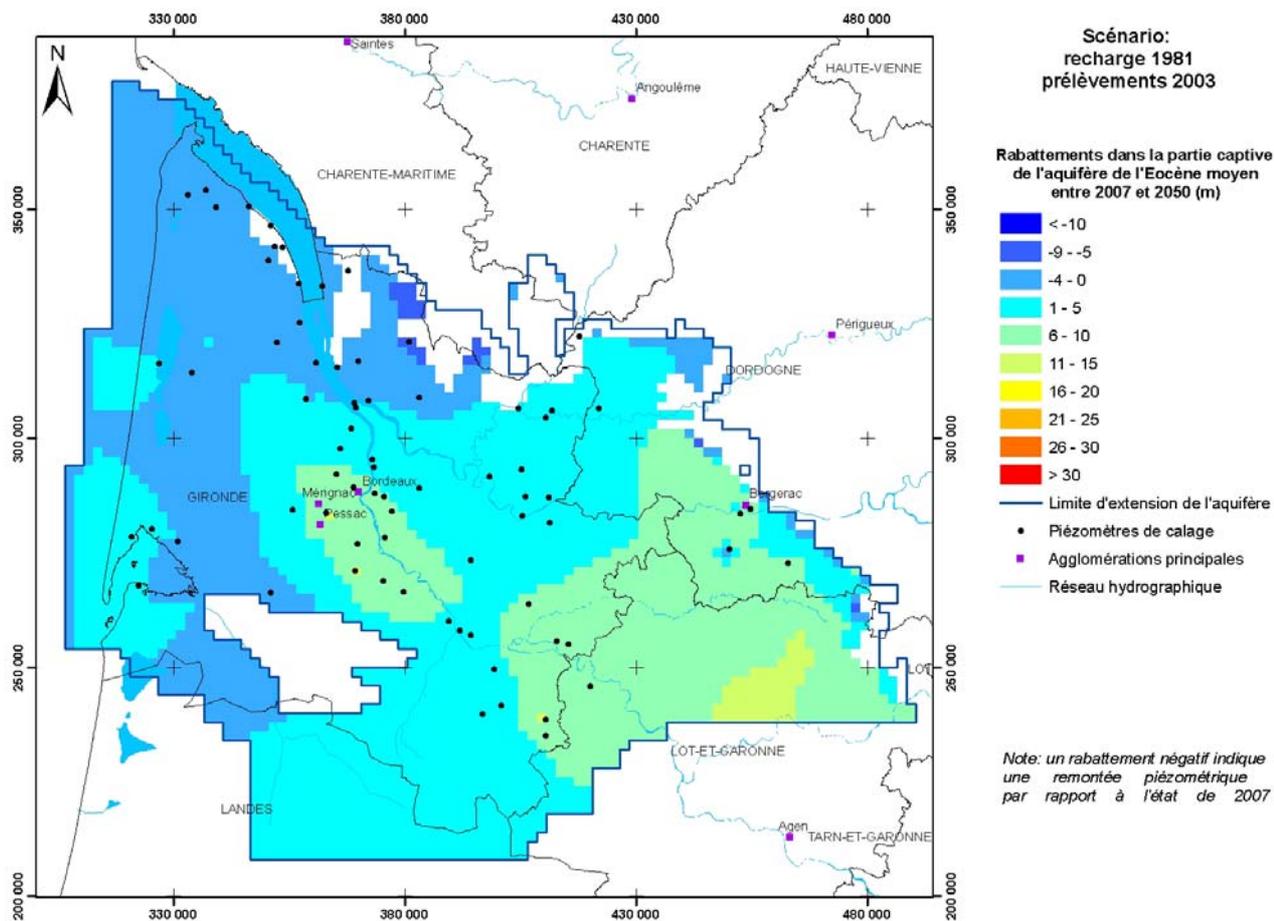
Annexe 7

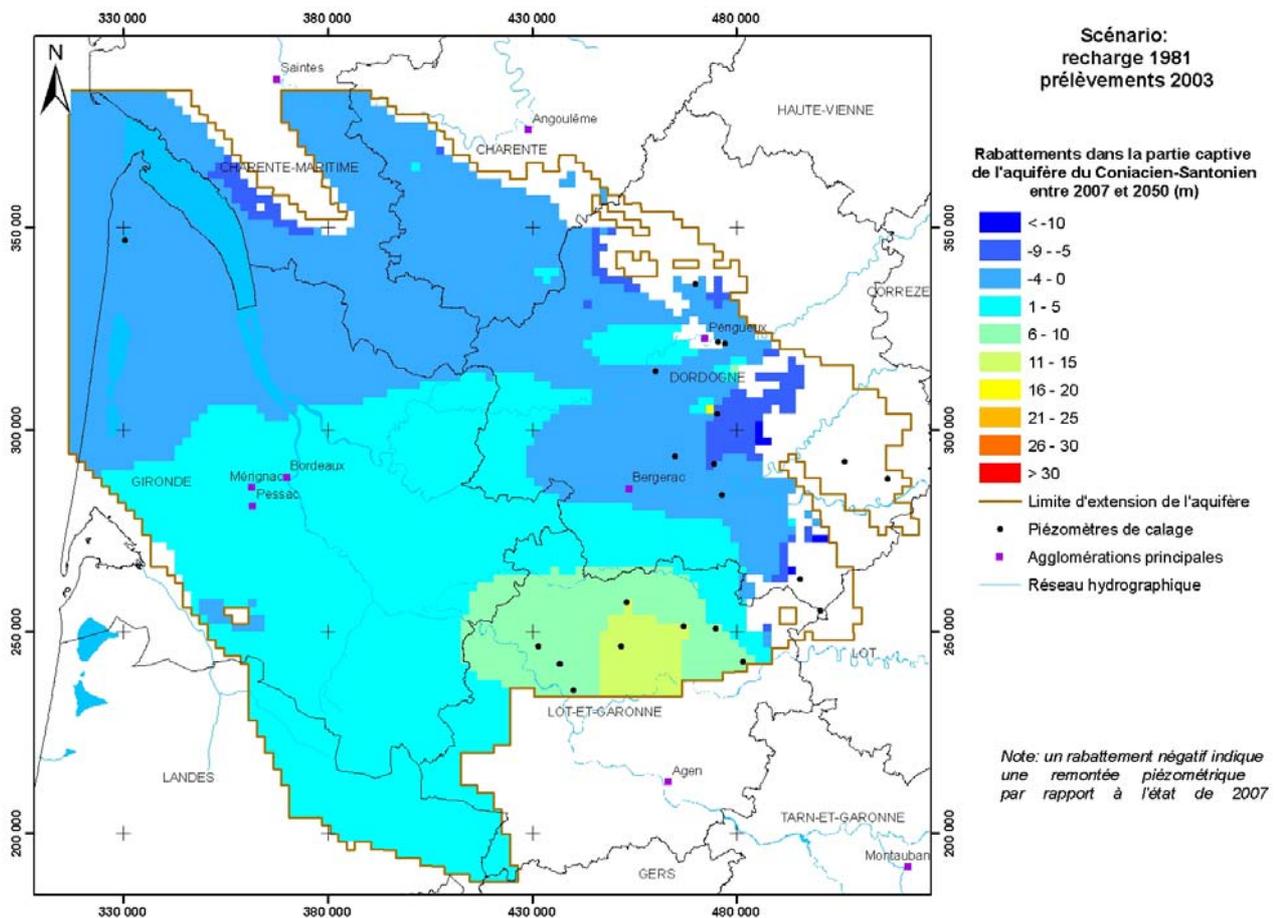
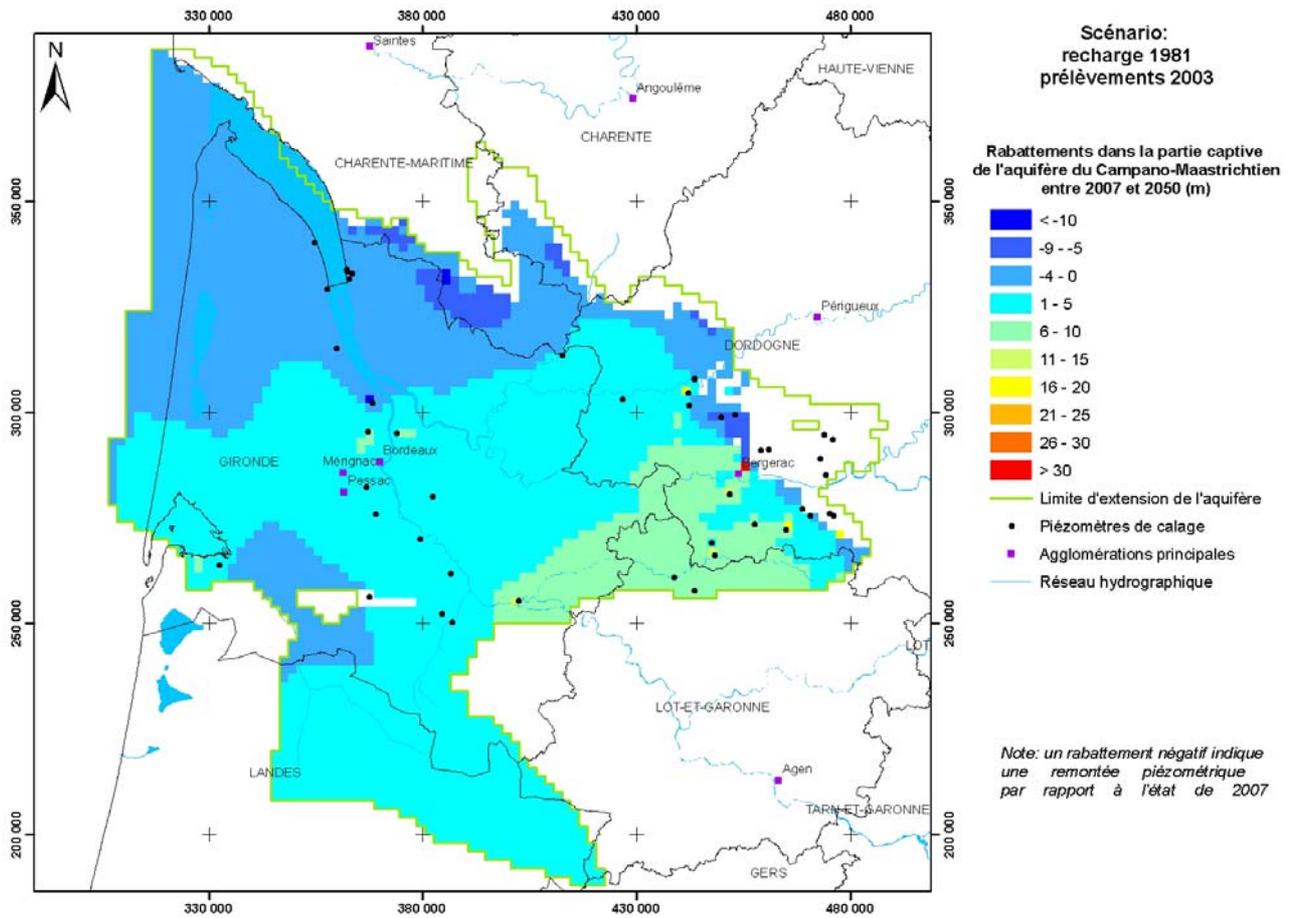
Cartes de rabattements 2007-2050 – Scénario « Recharge 1981 + Prélèvements 2003 »



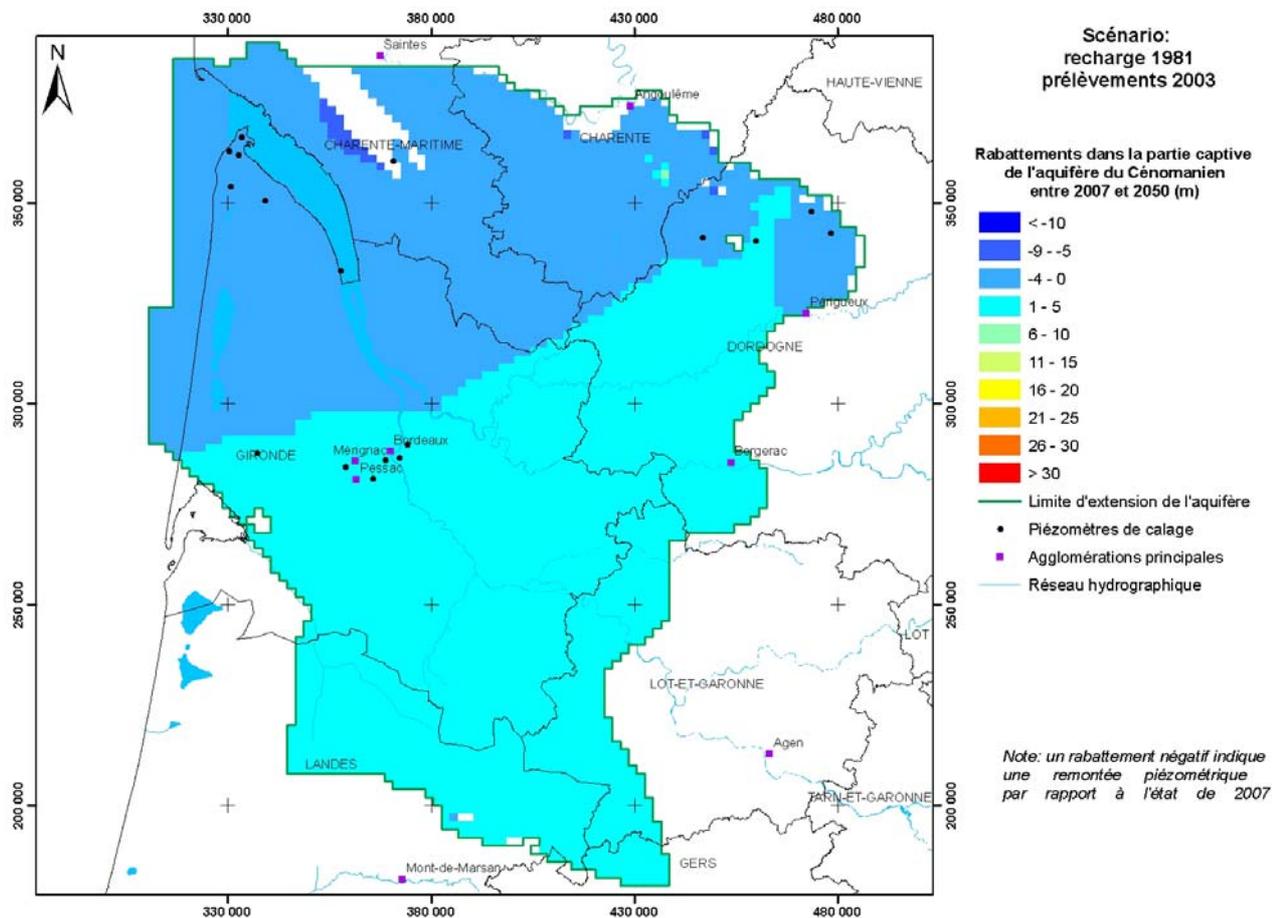
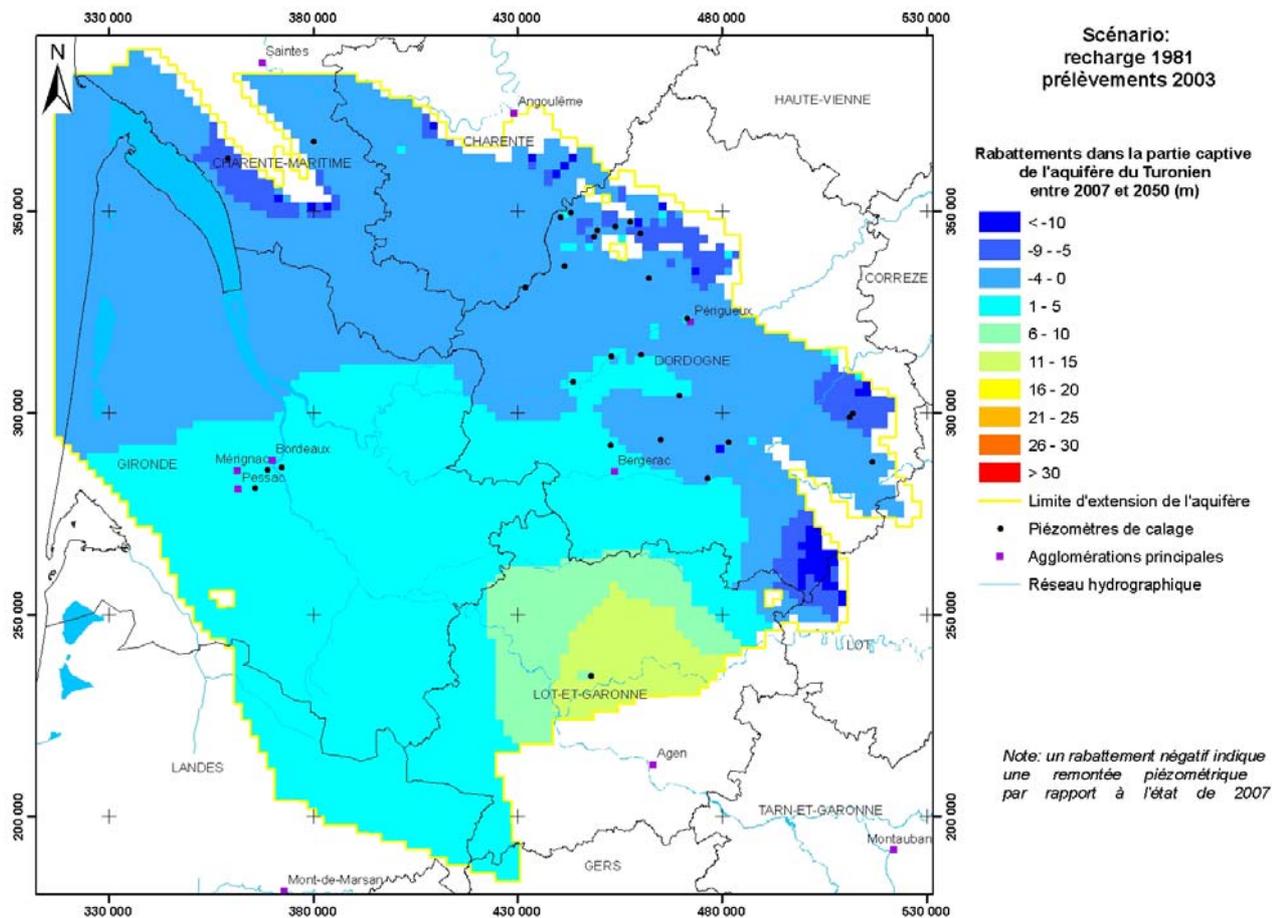


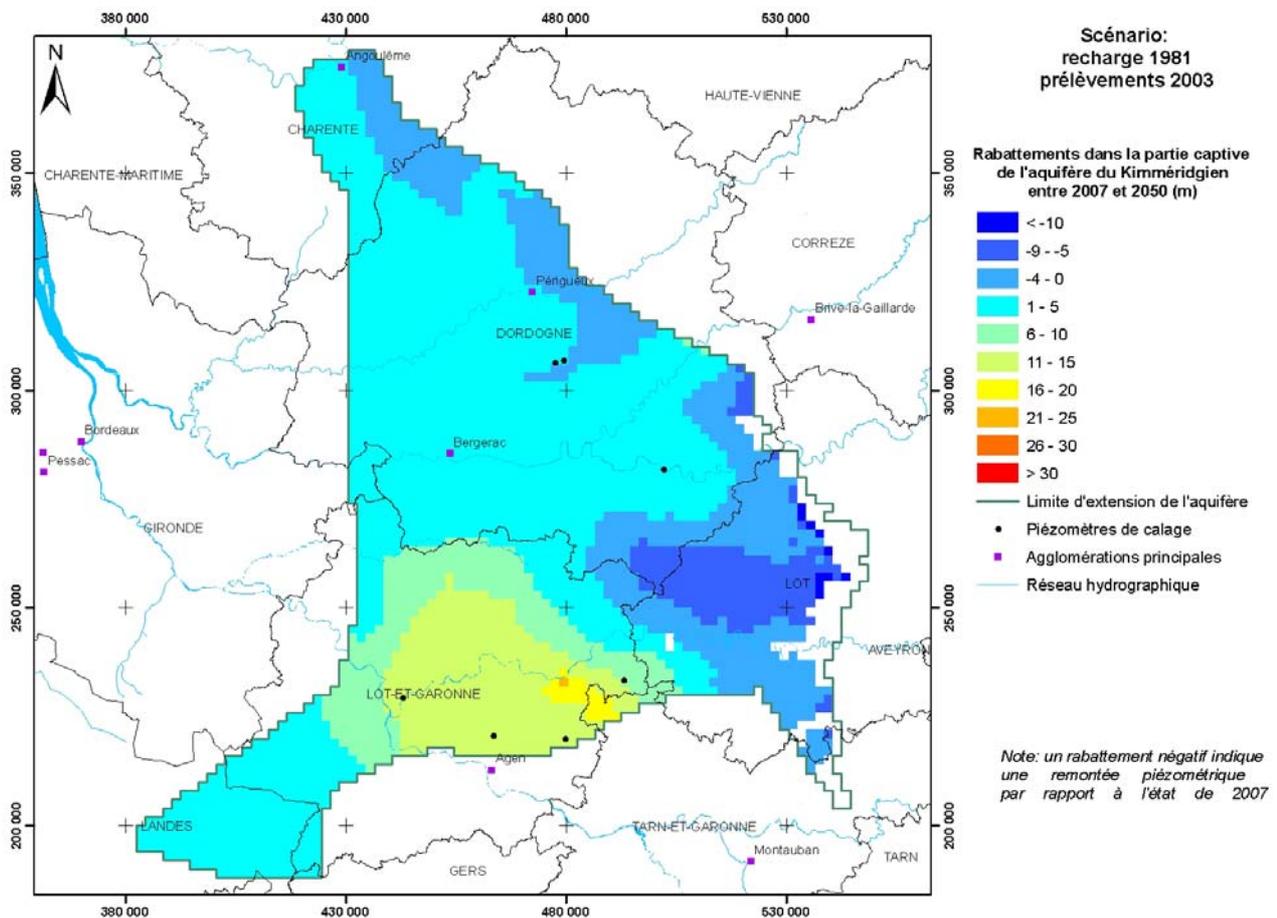
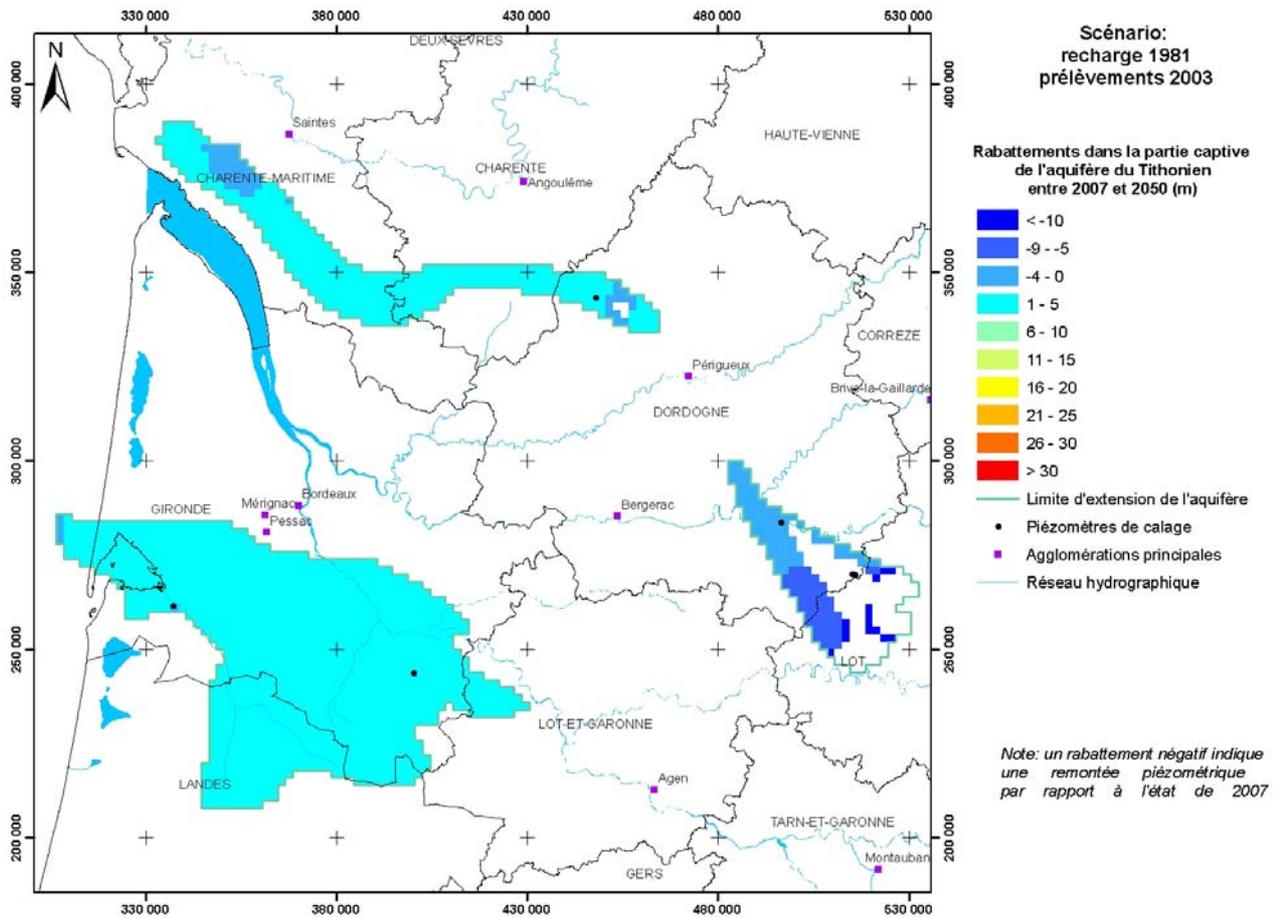
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



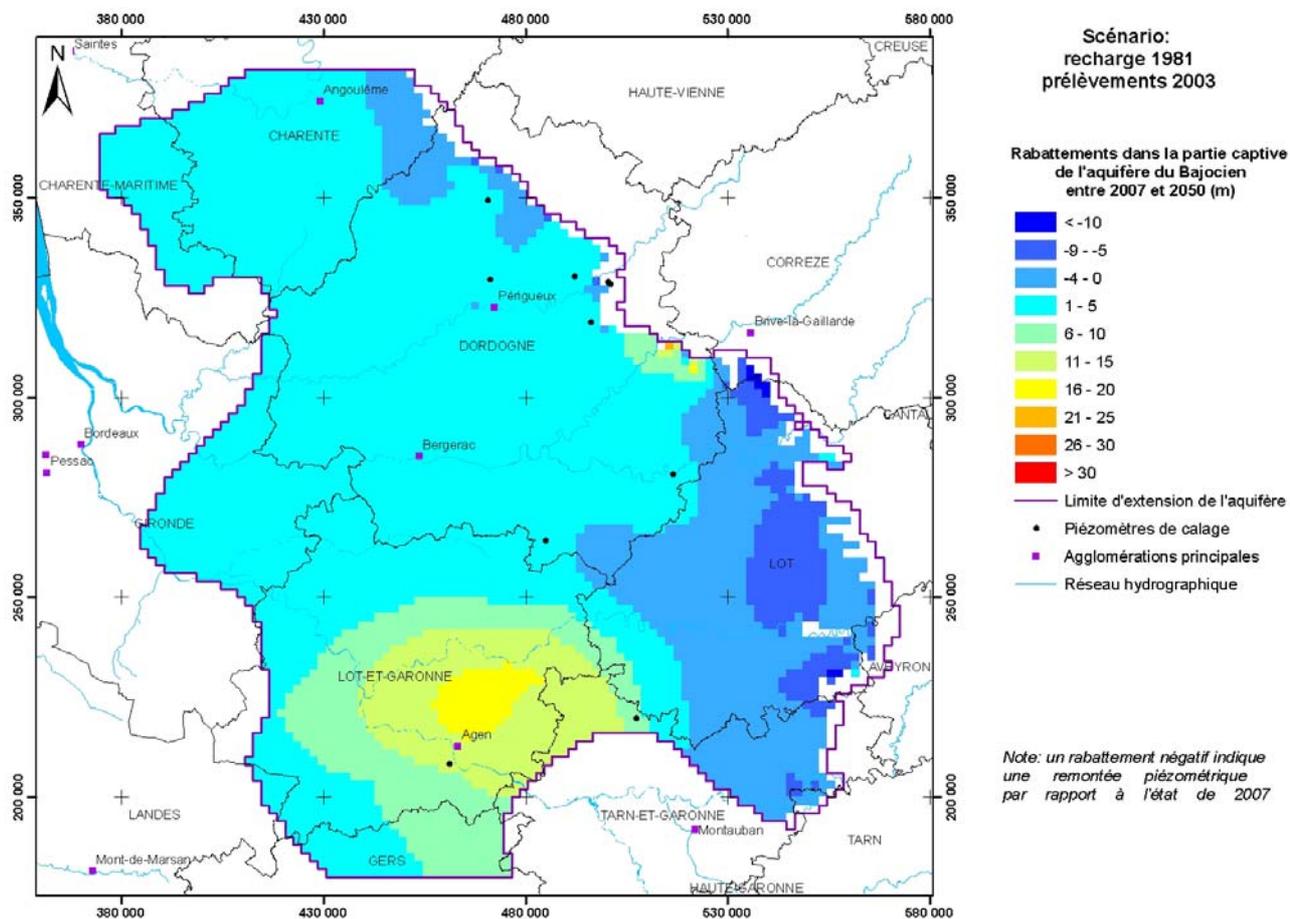
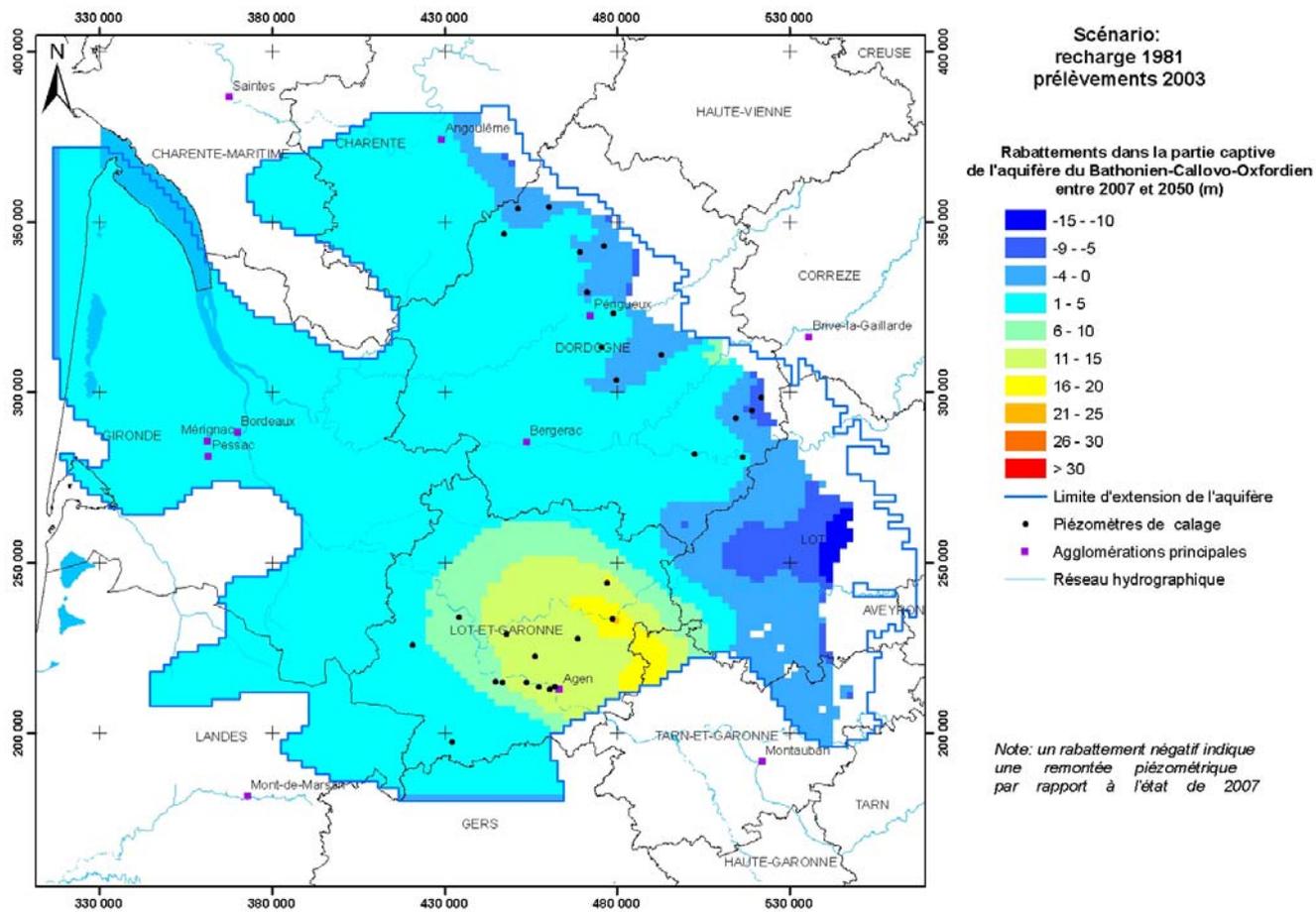


Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



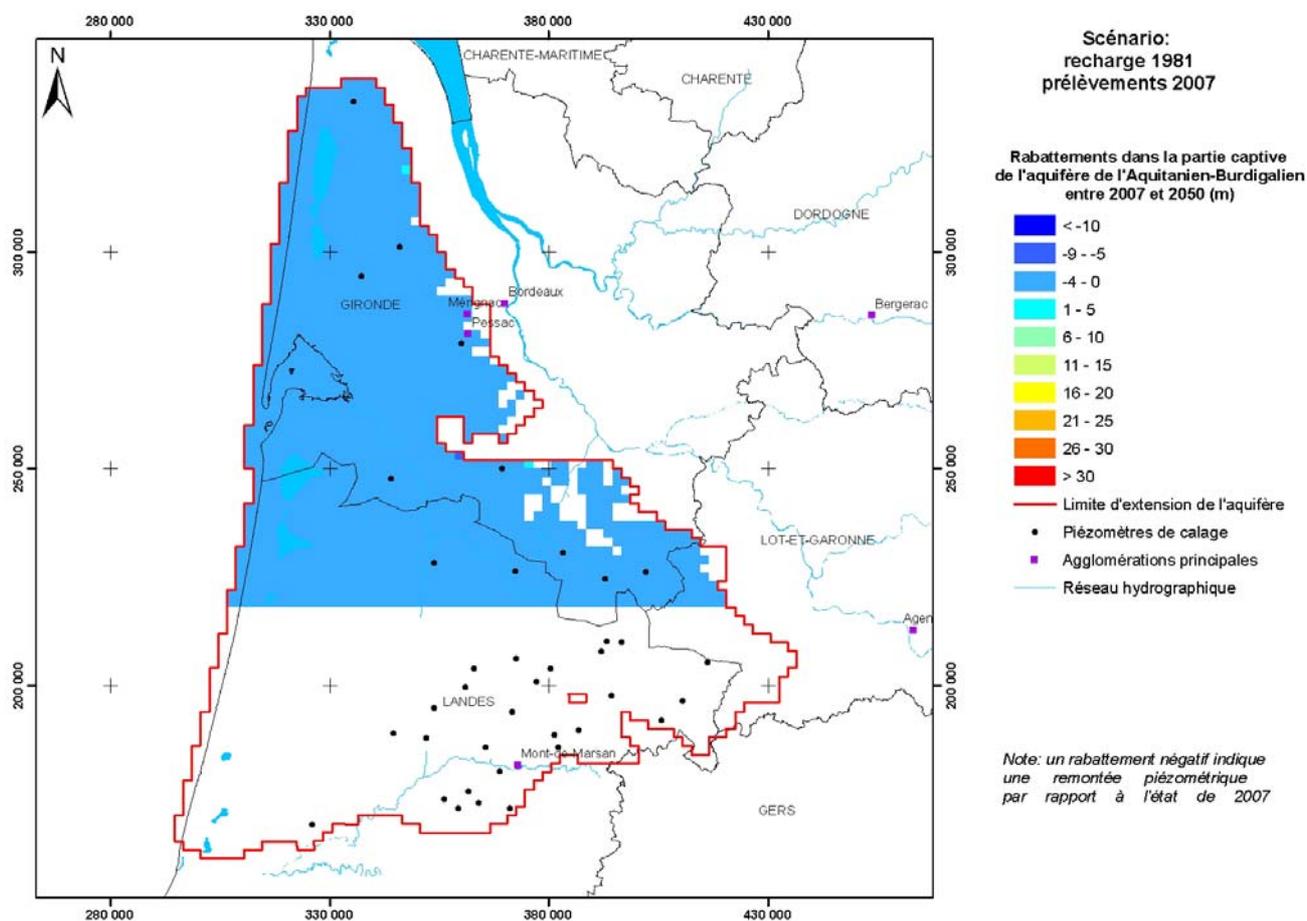
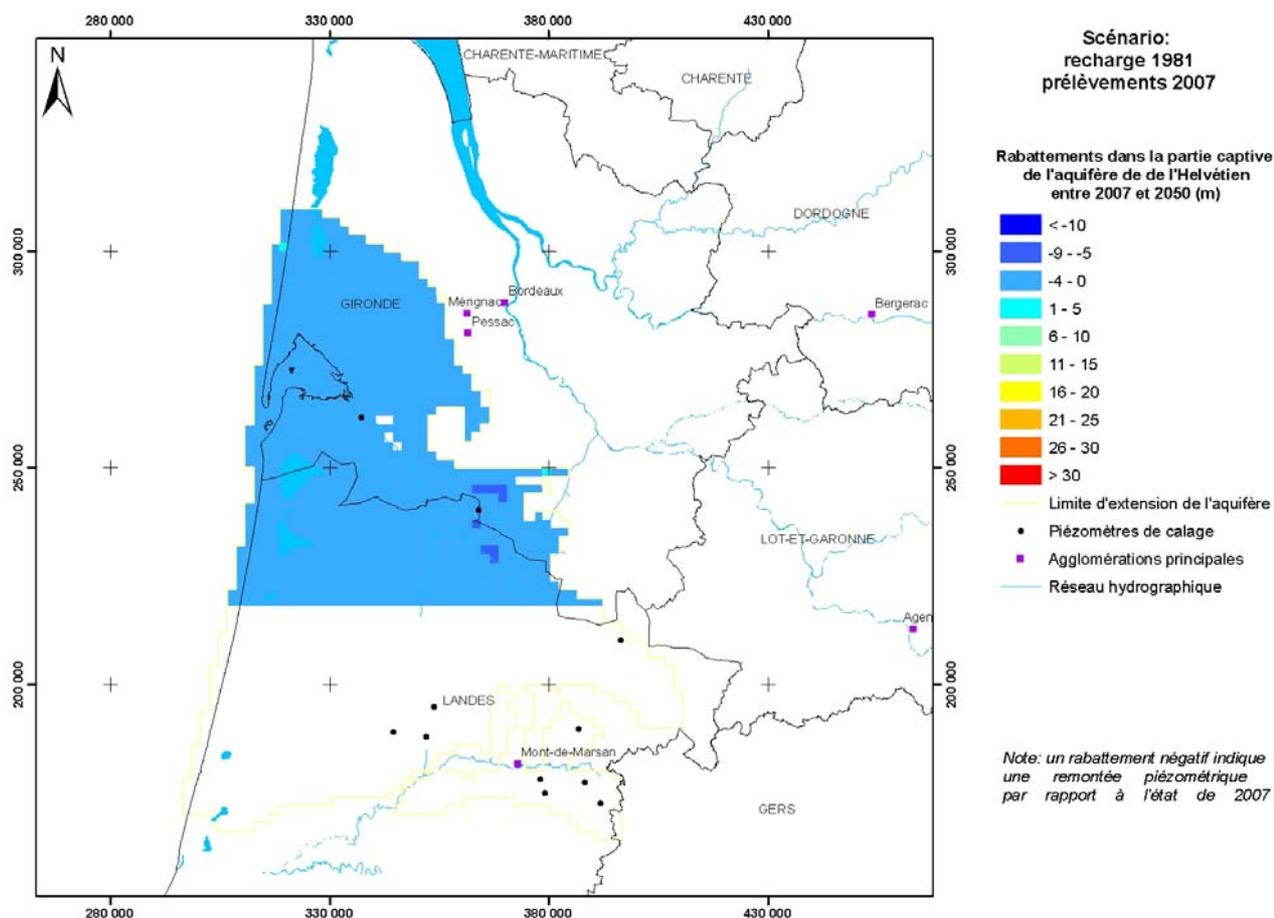


Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains

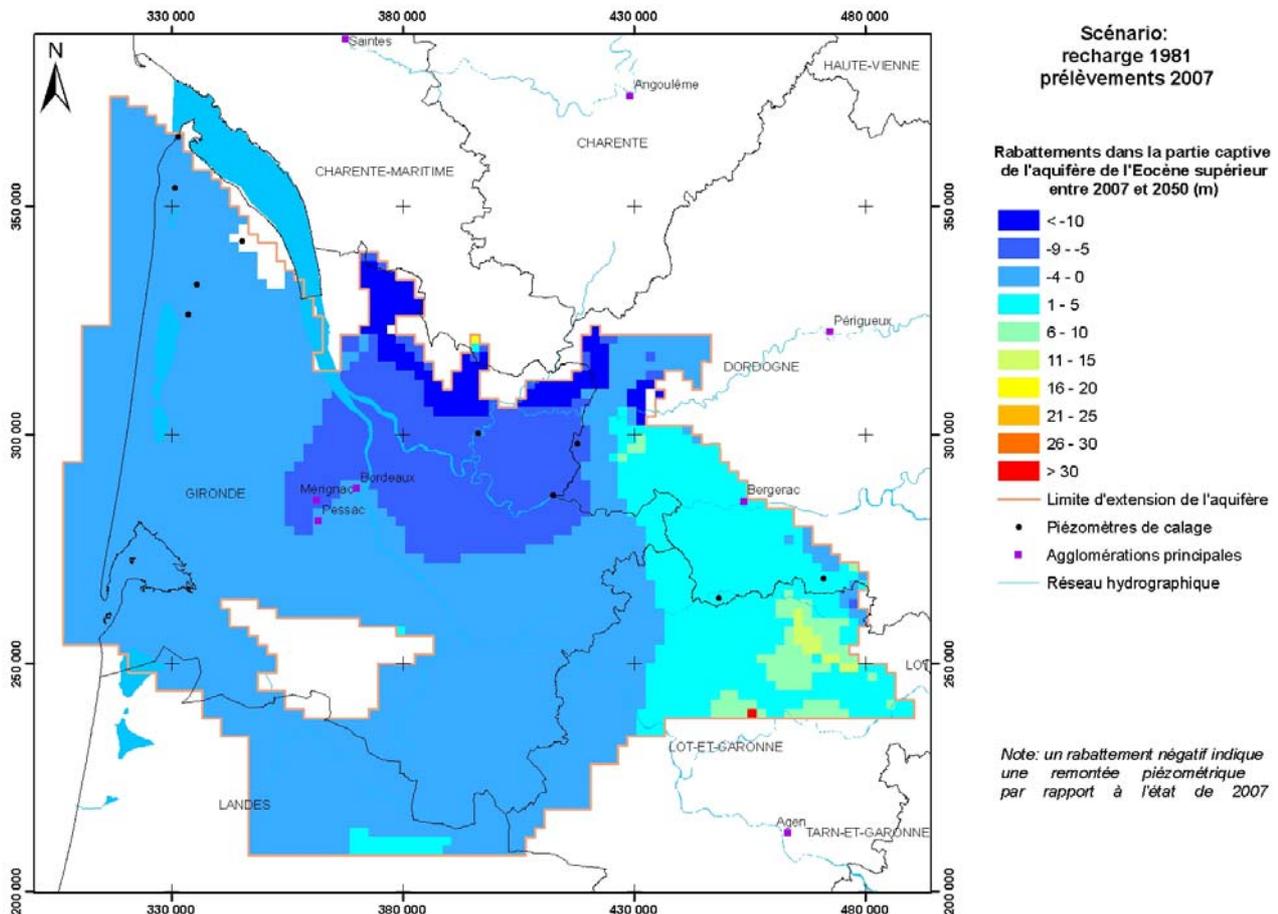
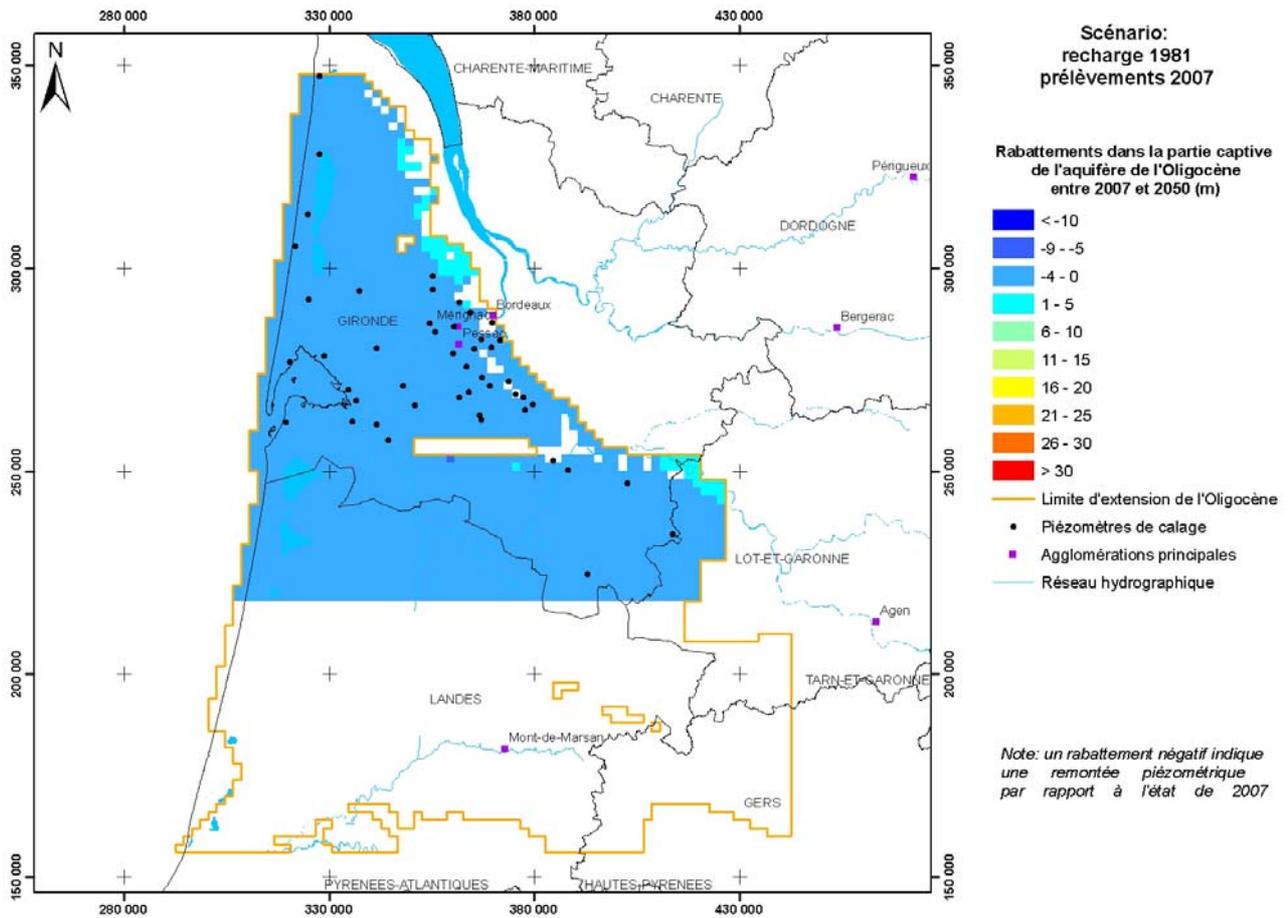


Annexe 8

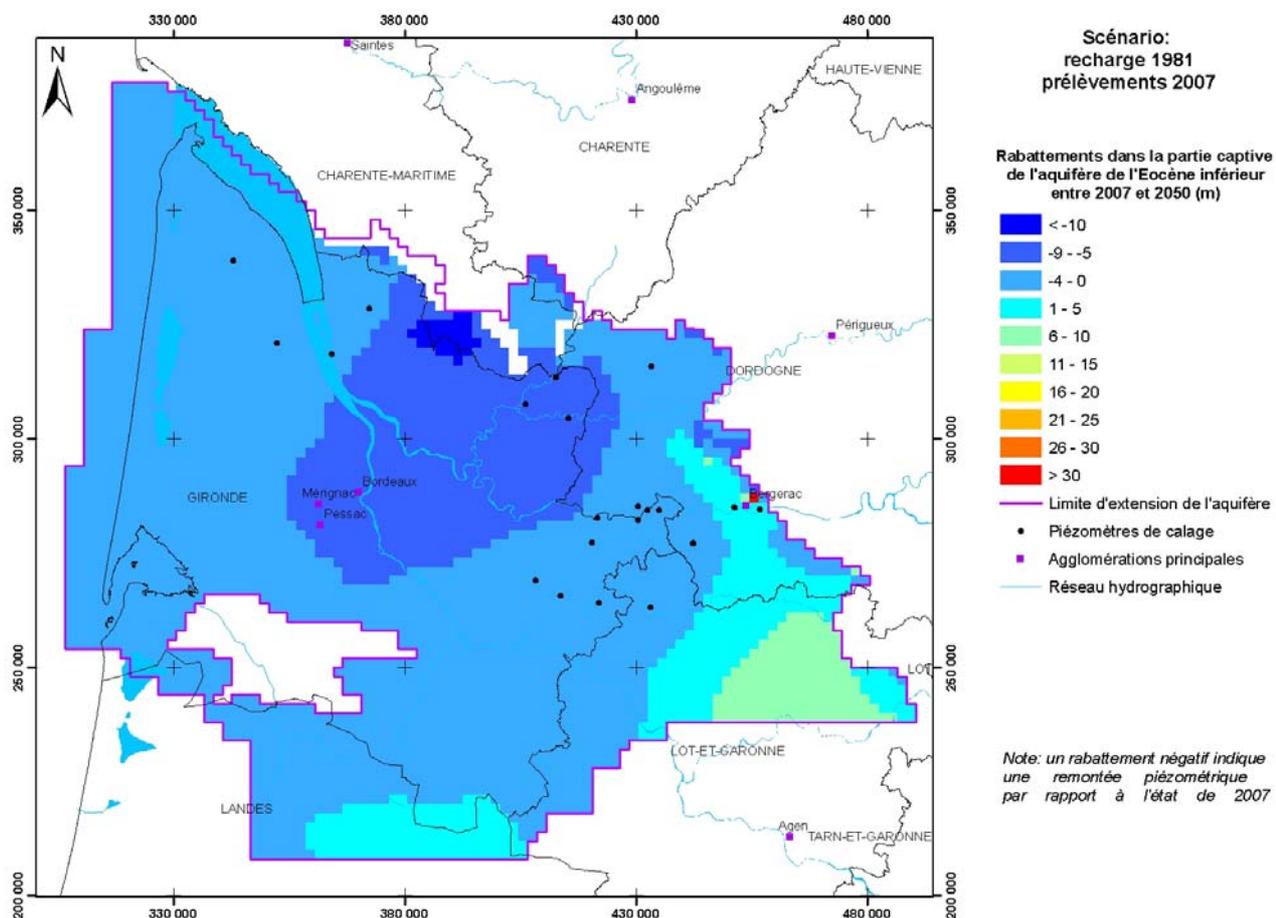
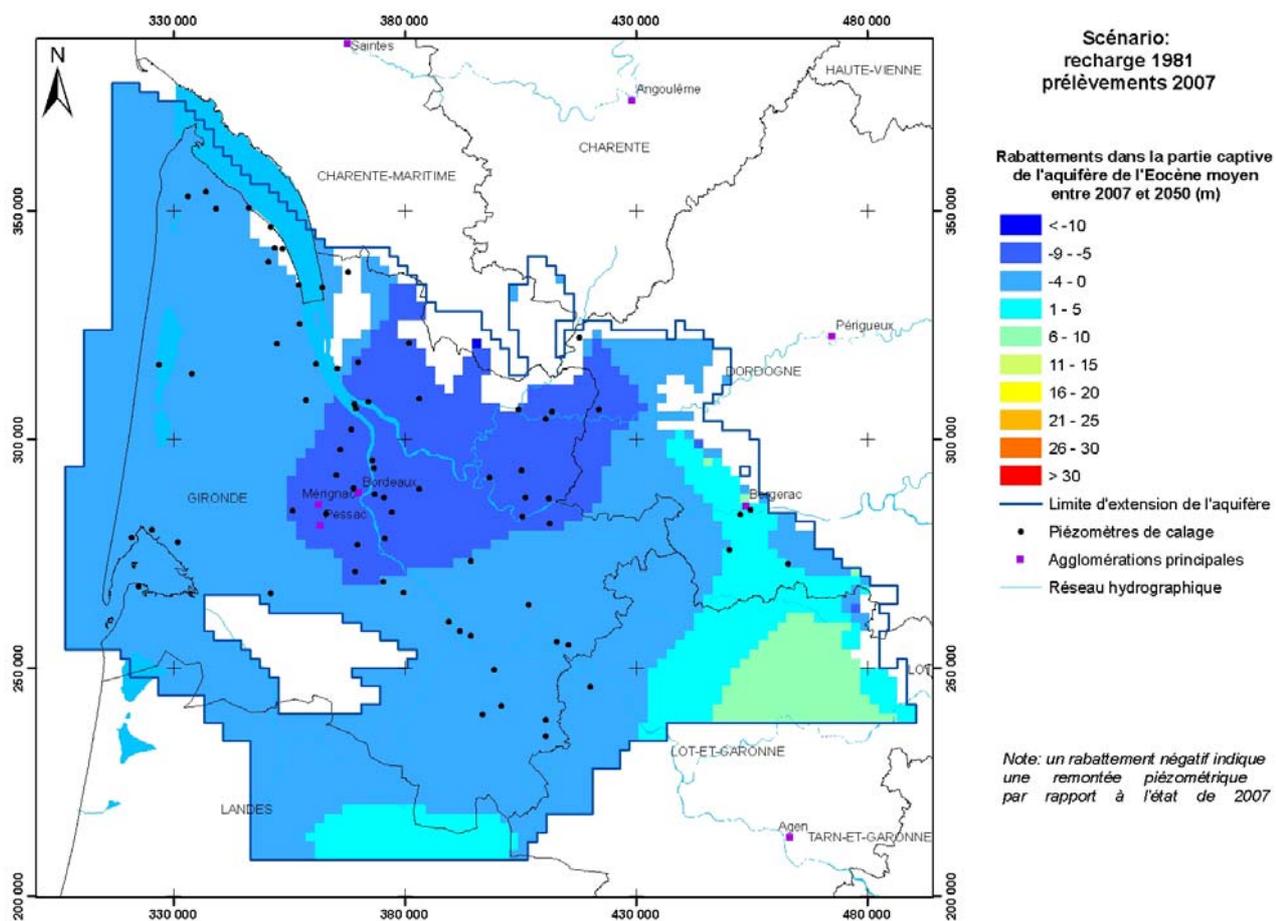
Cartes de rabattements 2007-2050 – Scénario « Recharge 1981 + Prélèvements 2007 »

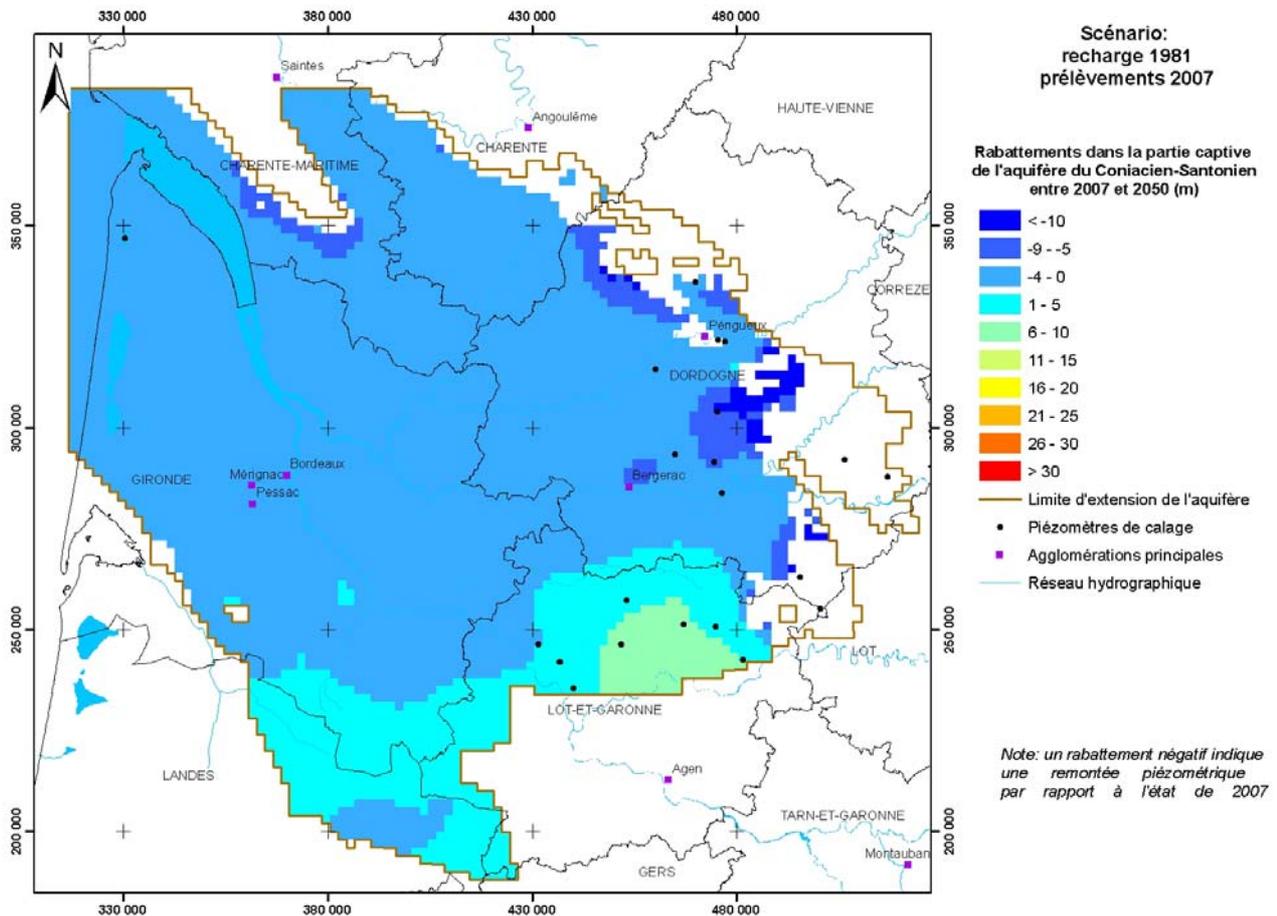
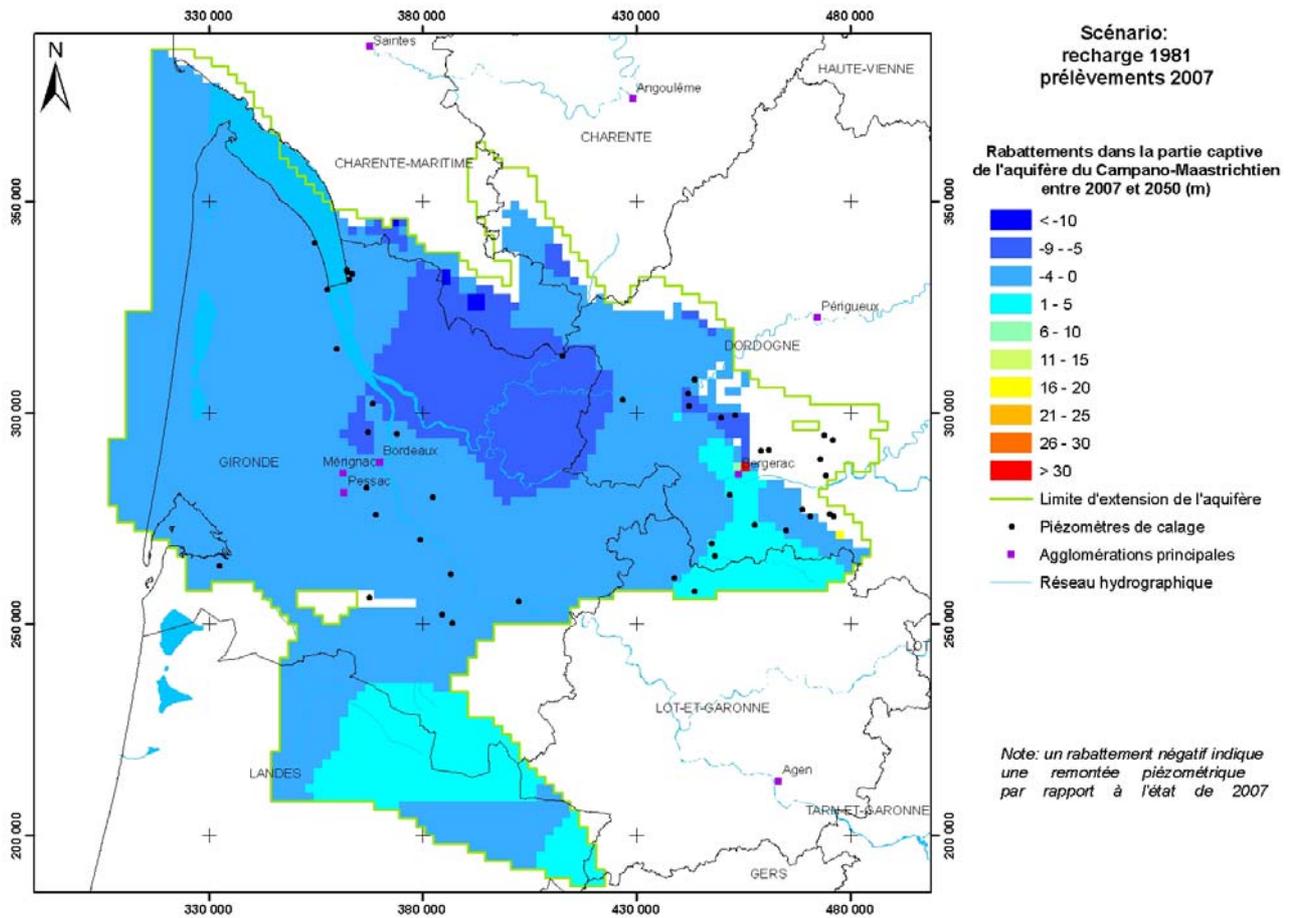


Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains

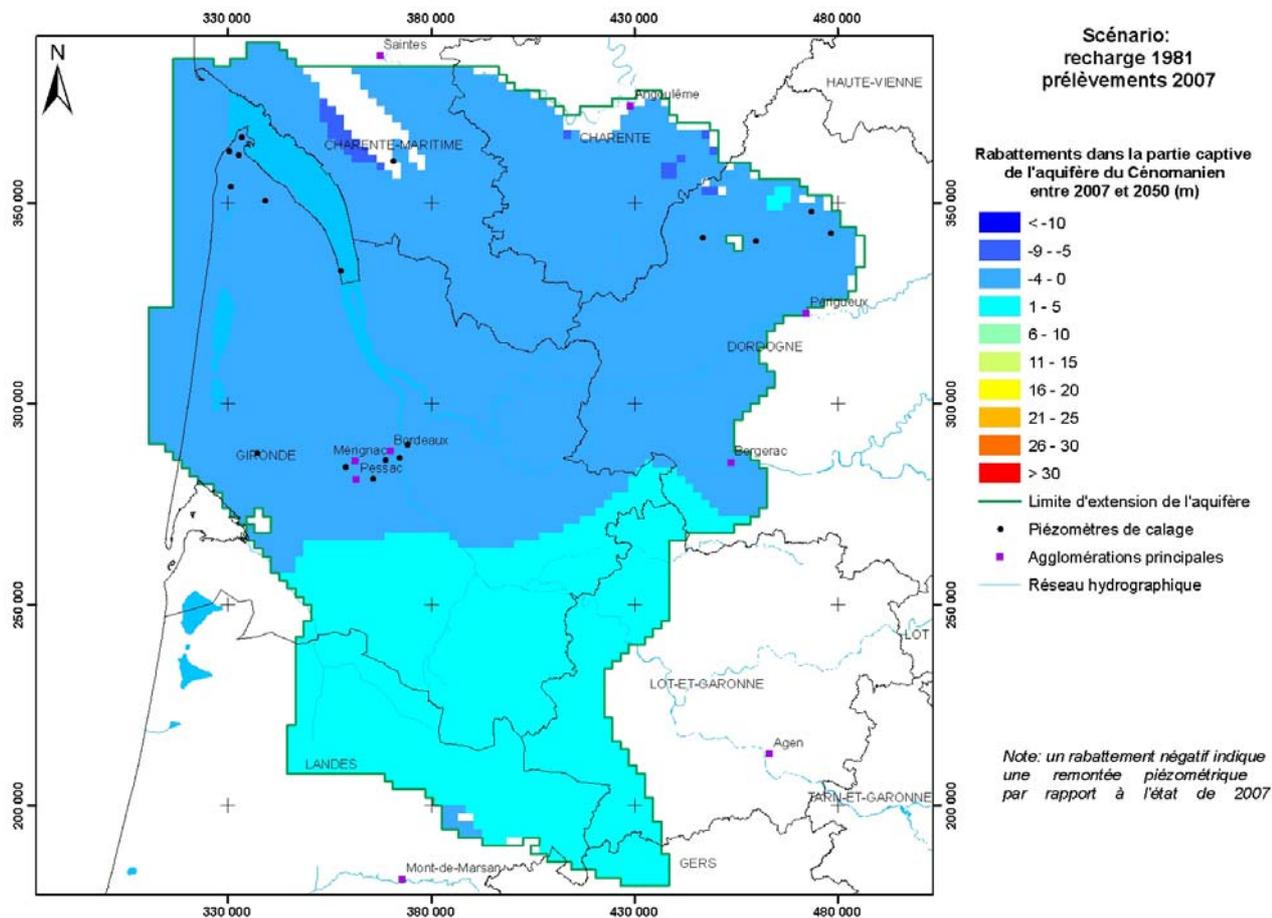
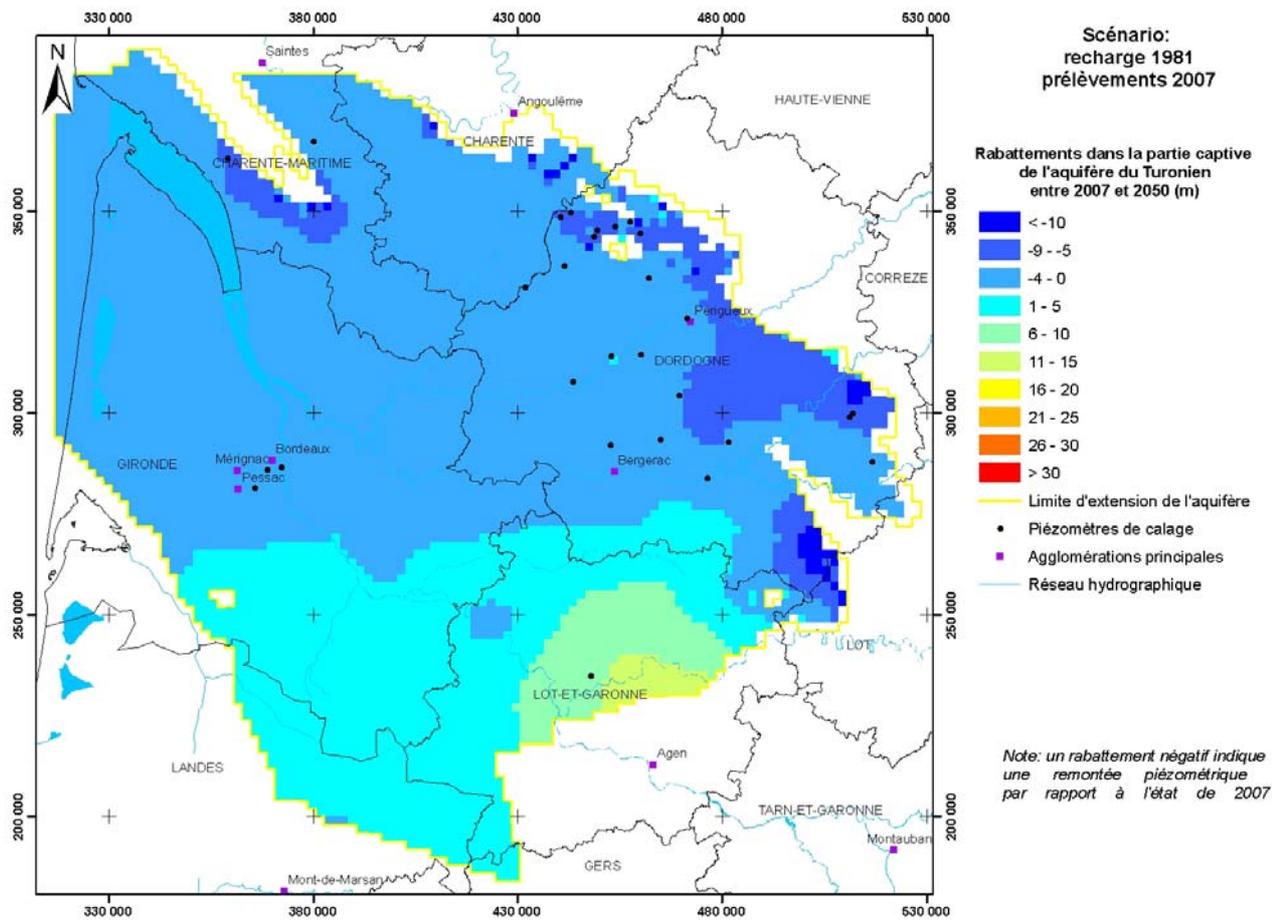


Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains

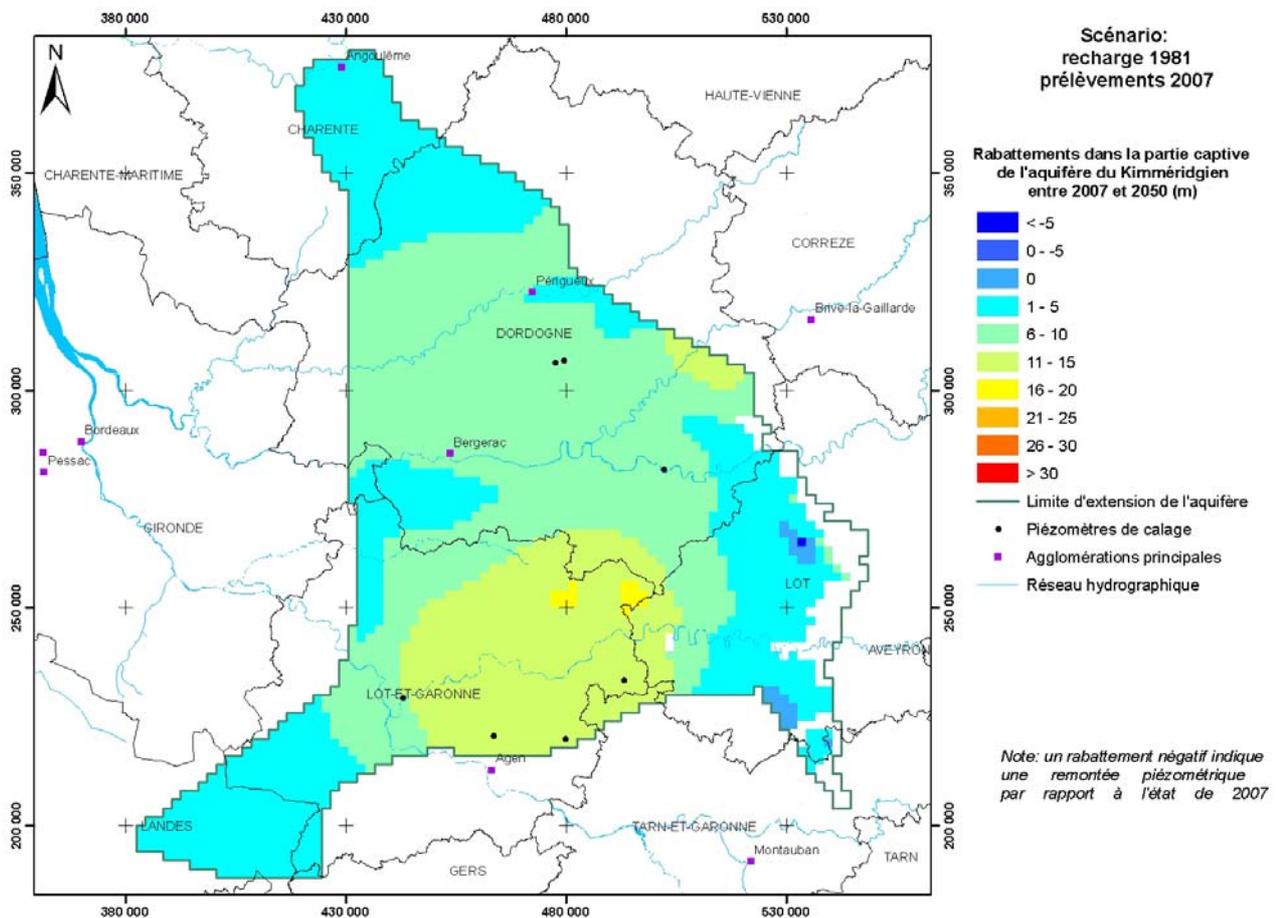
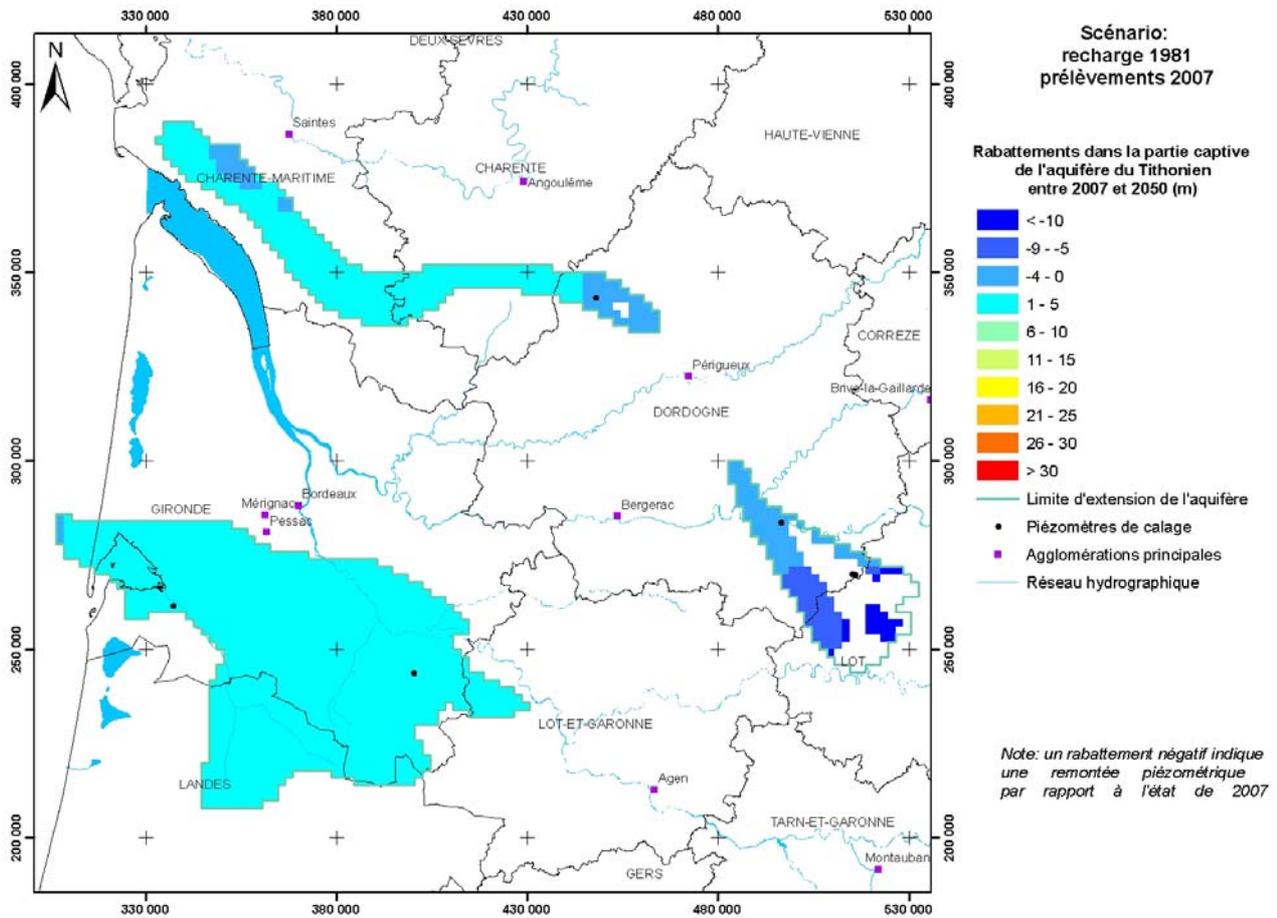




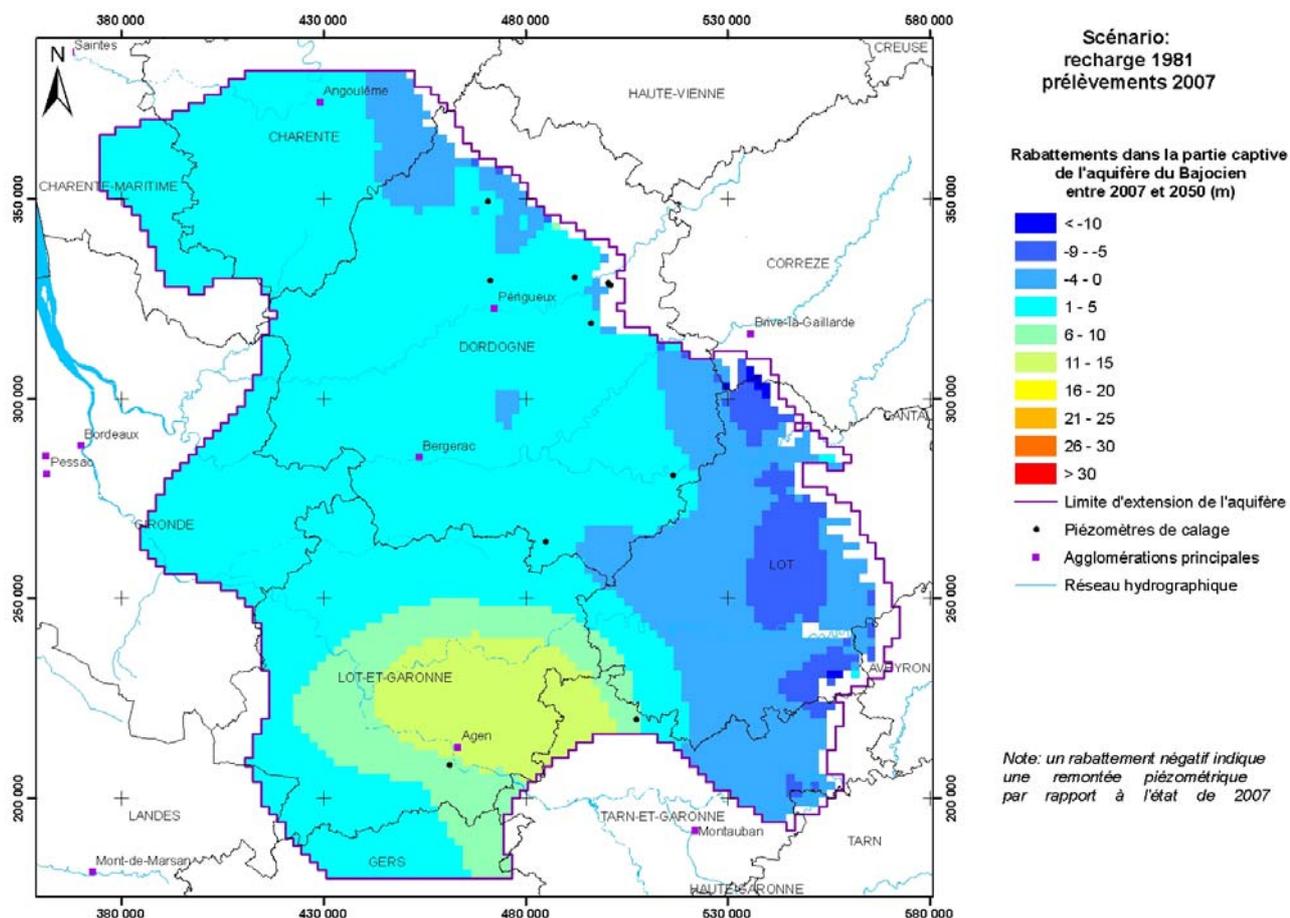
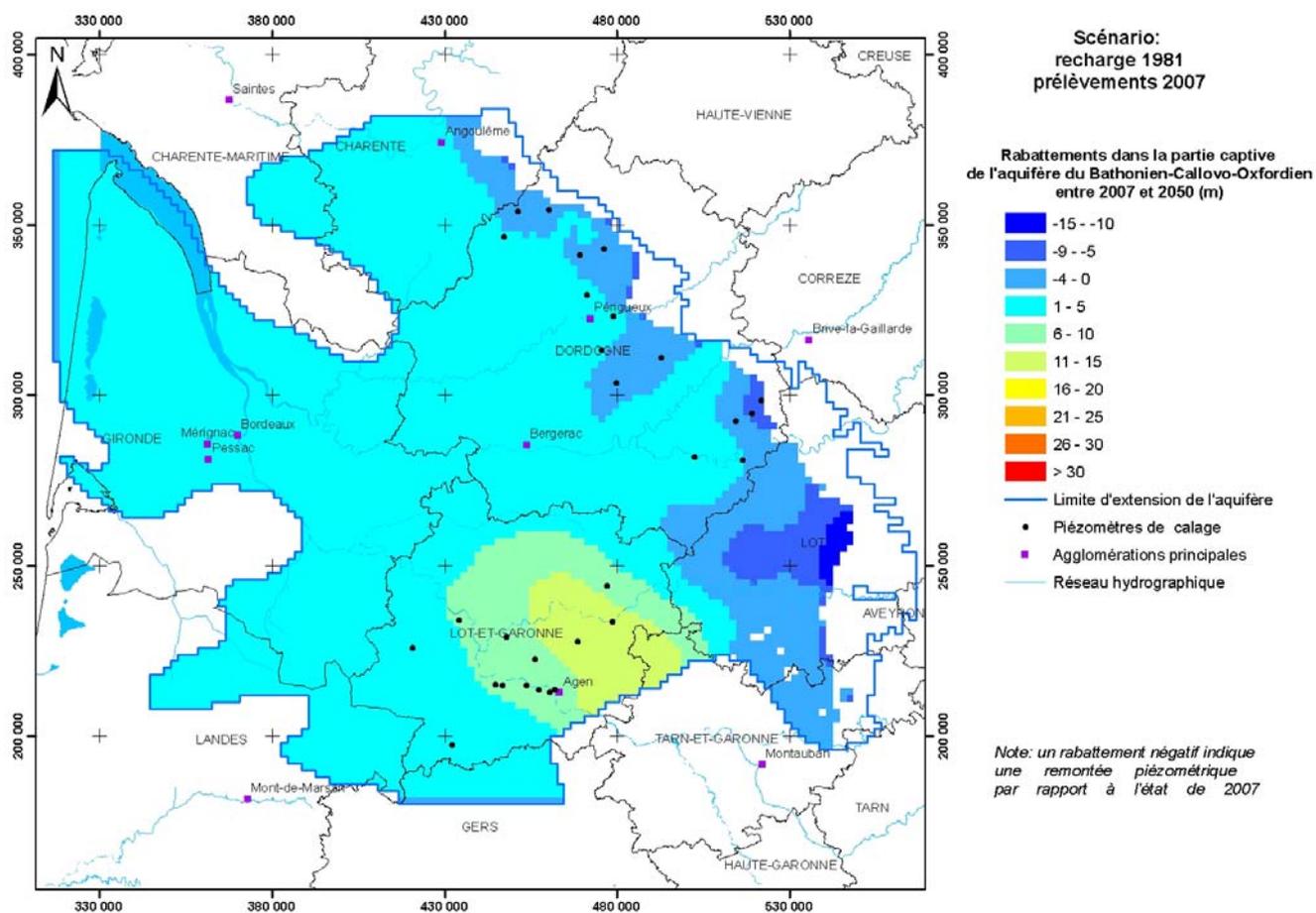
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains

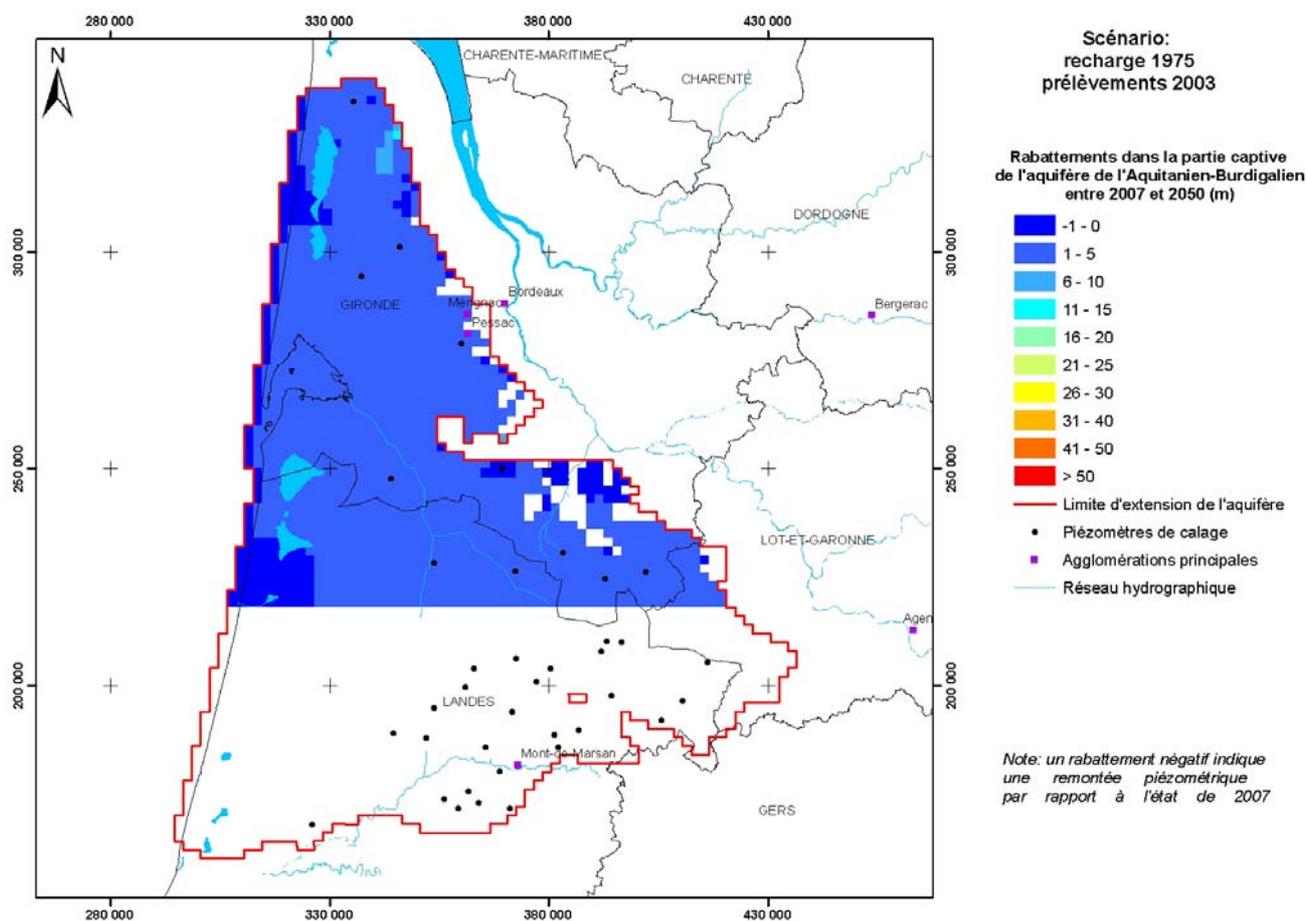
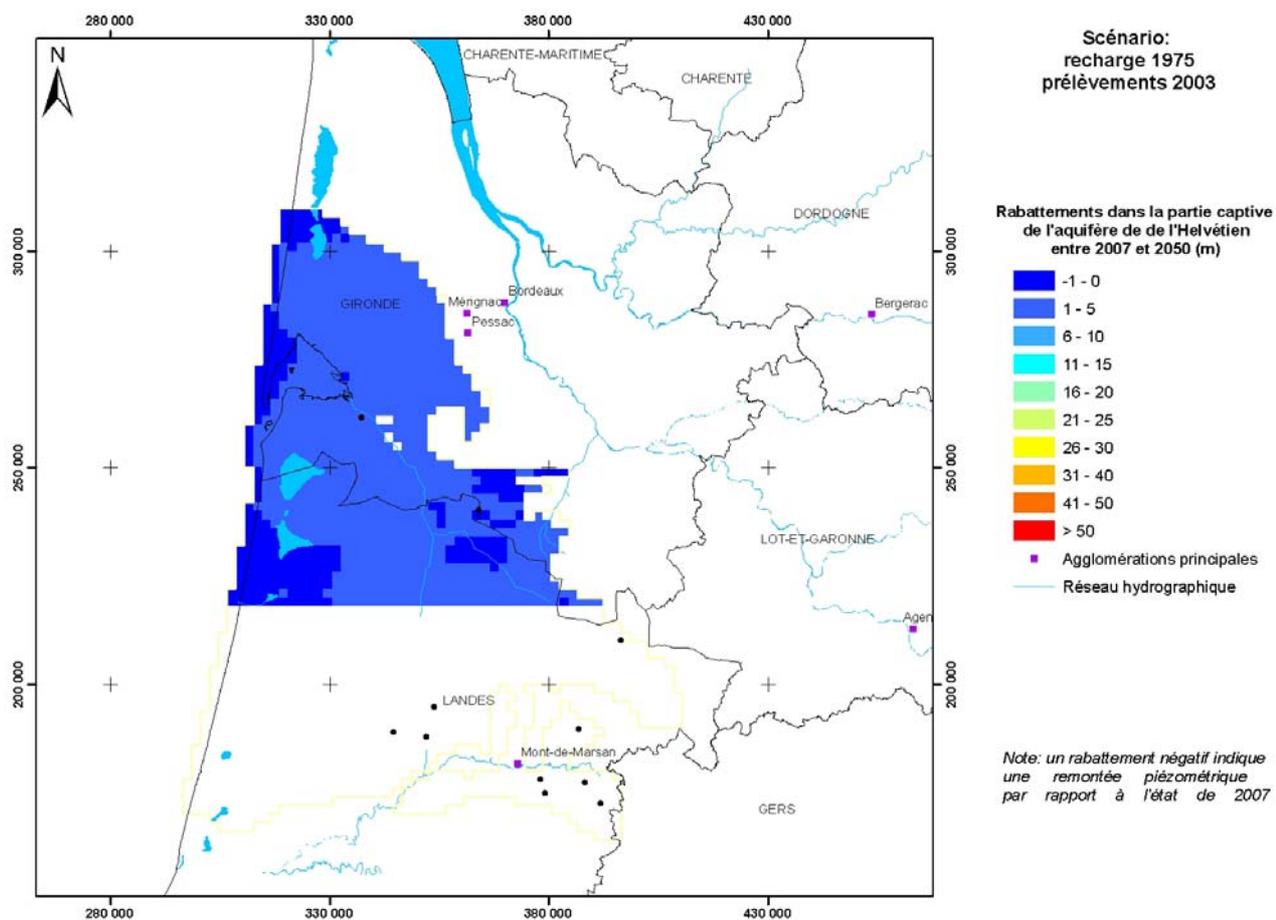


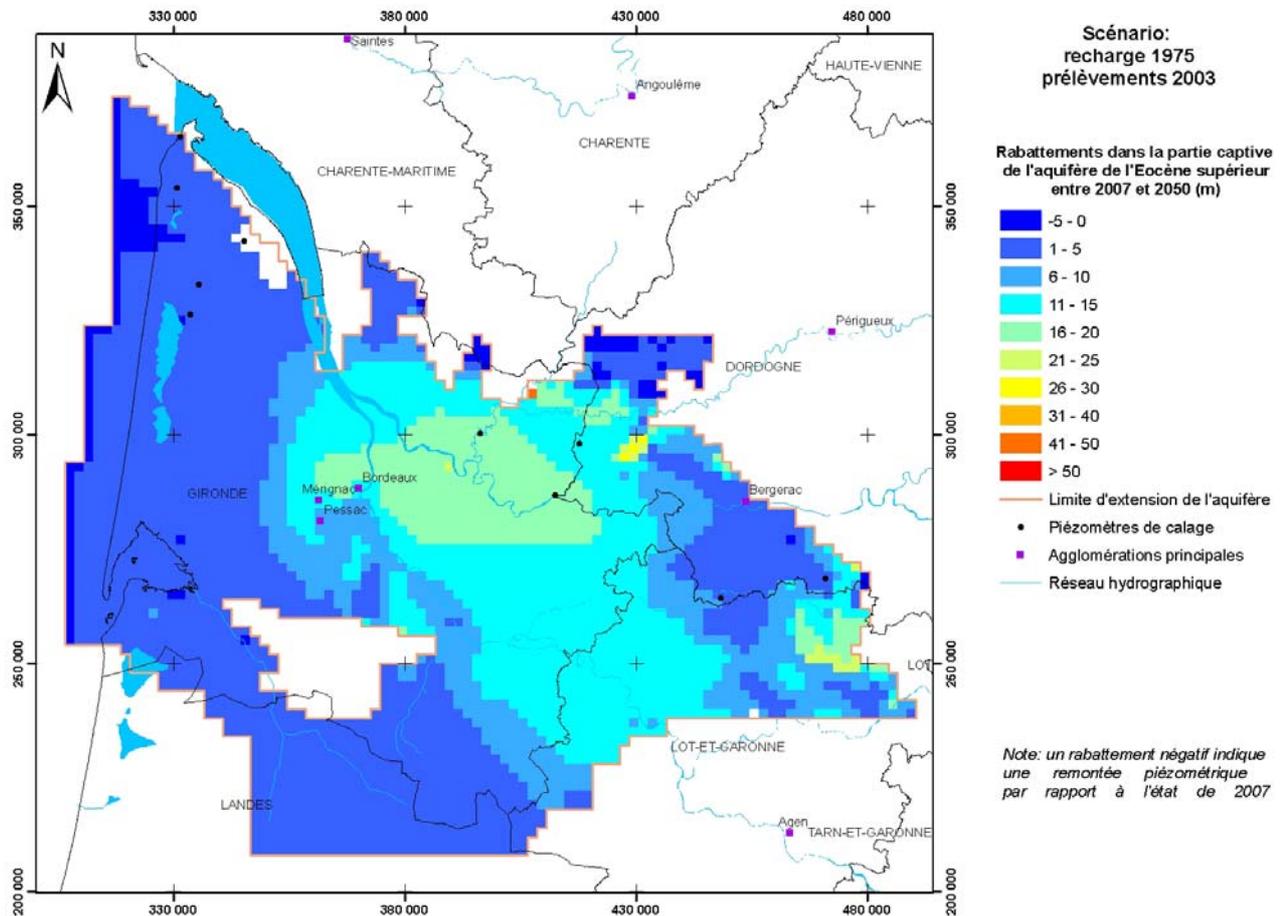
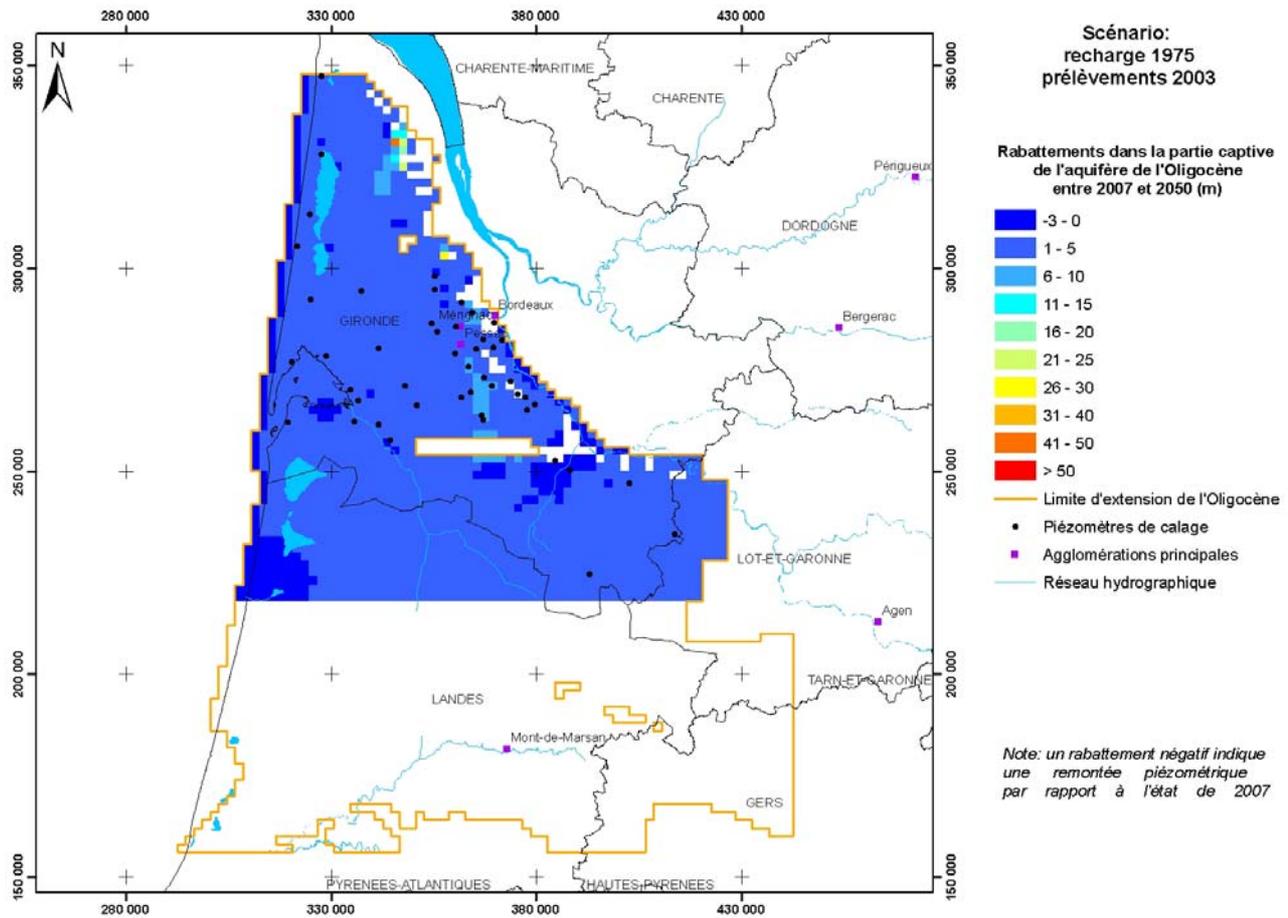
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



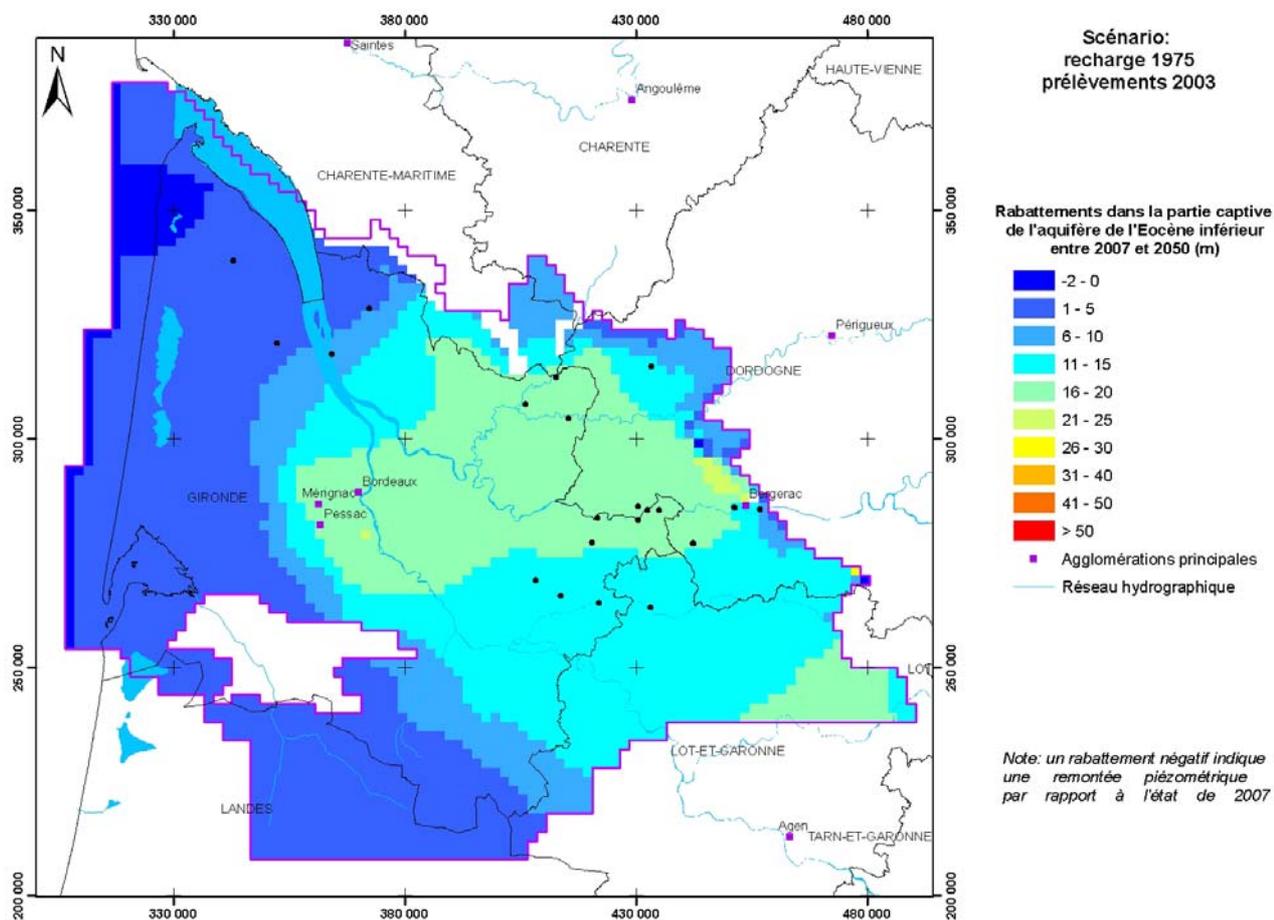
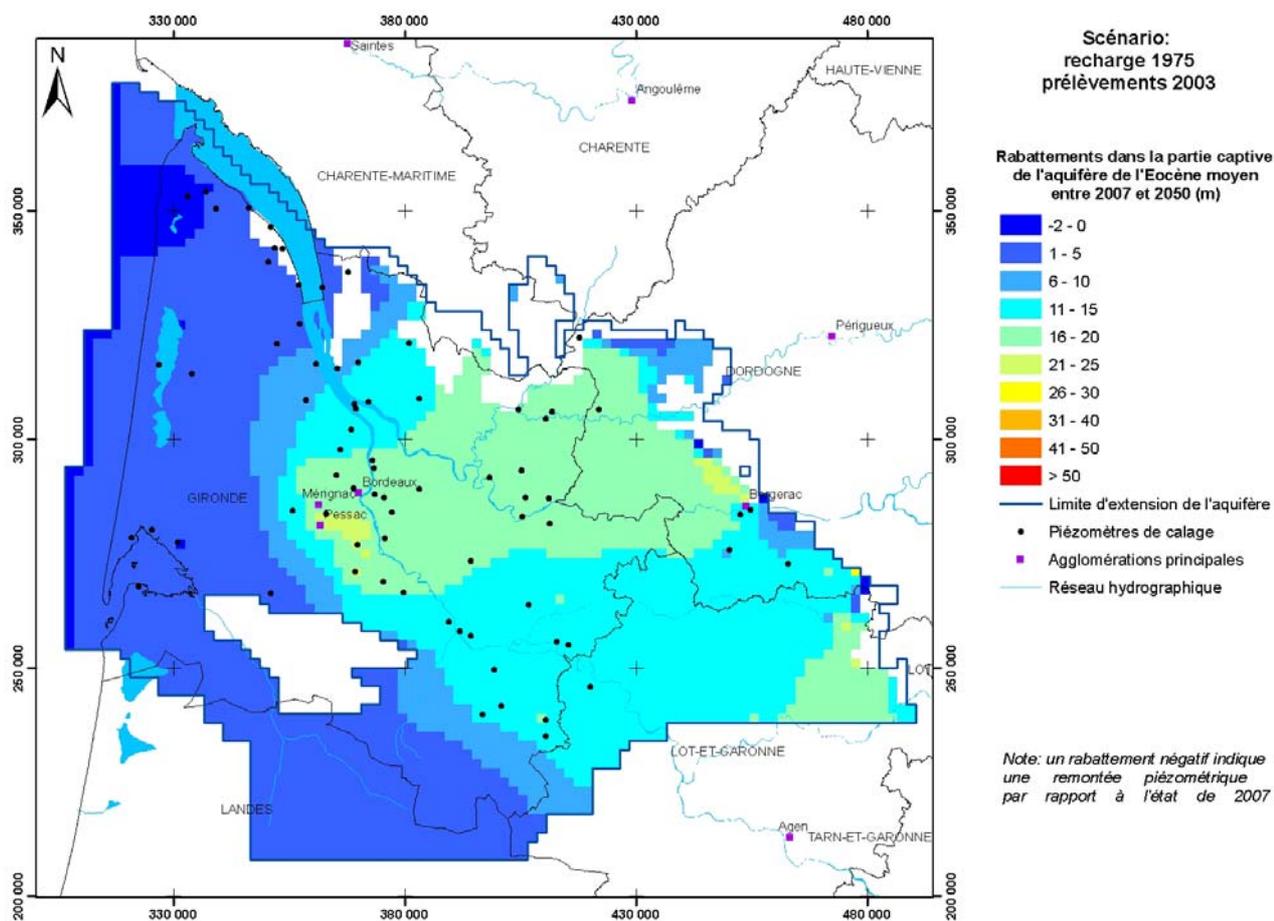
Annexe 9

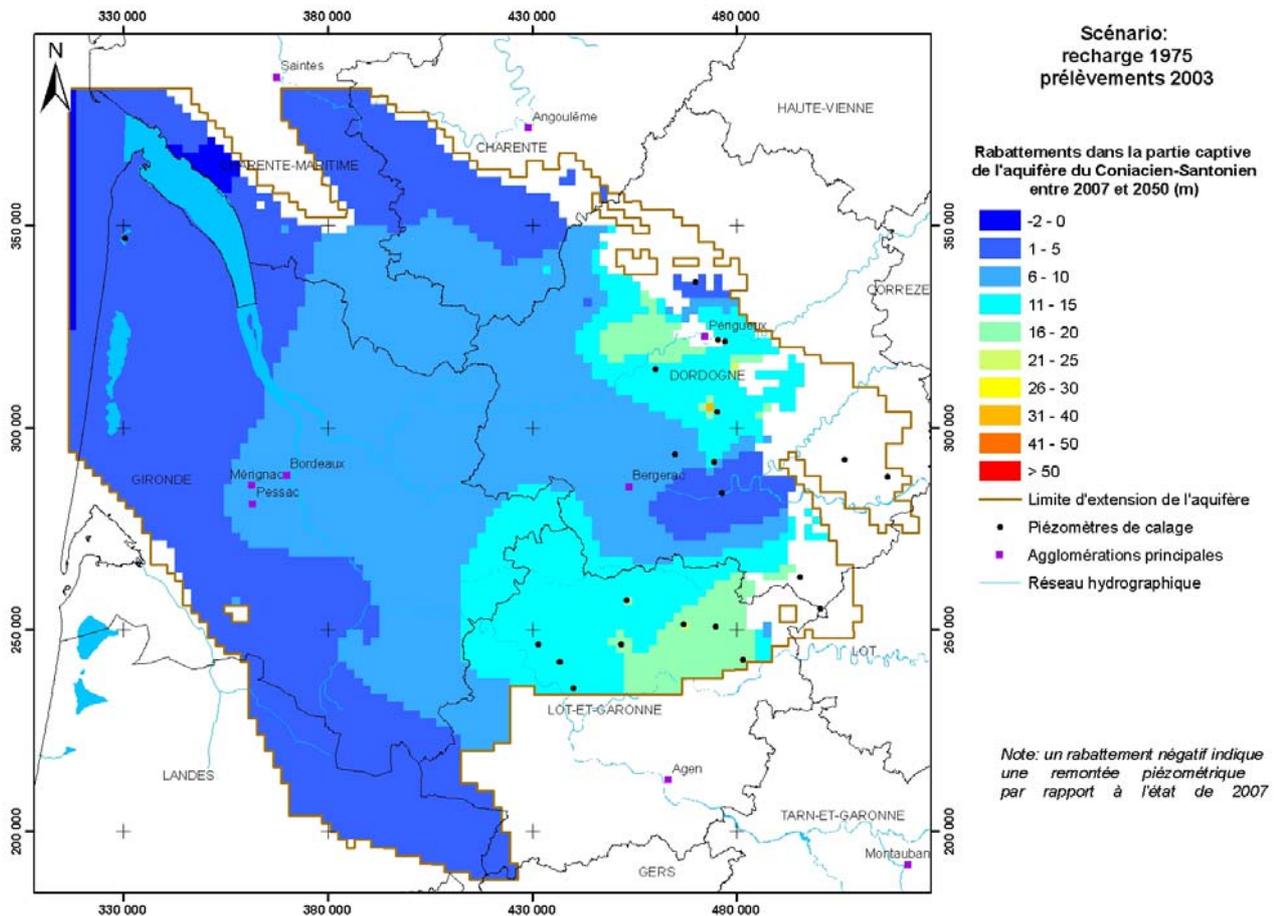
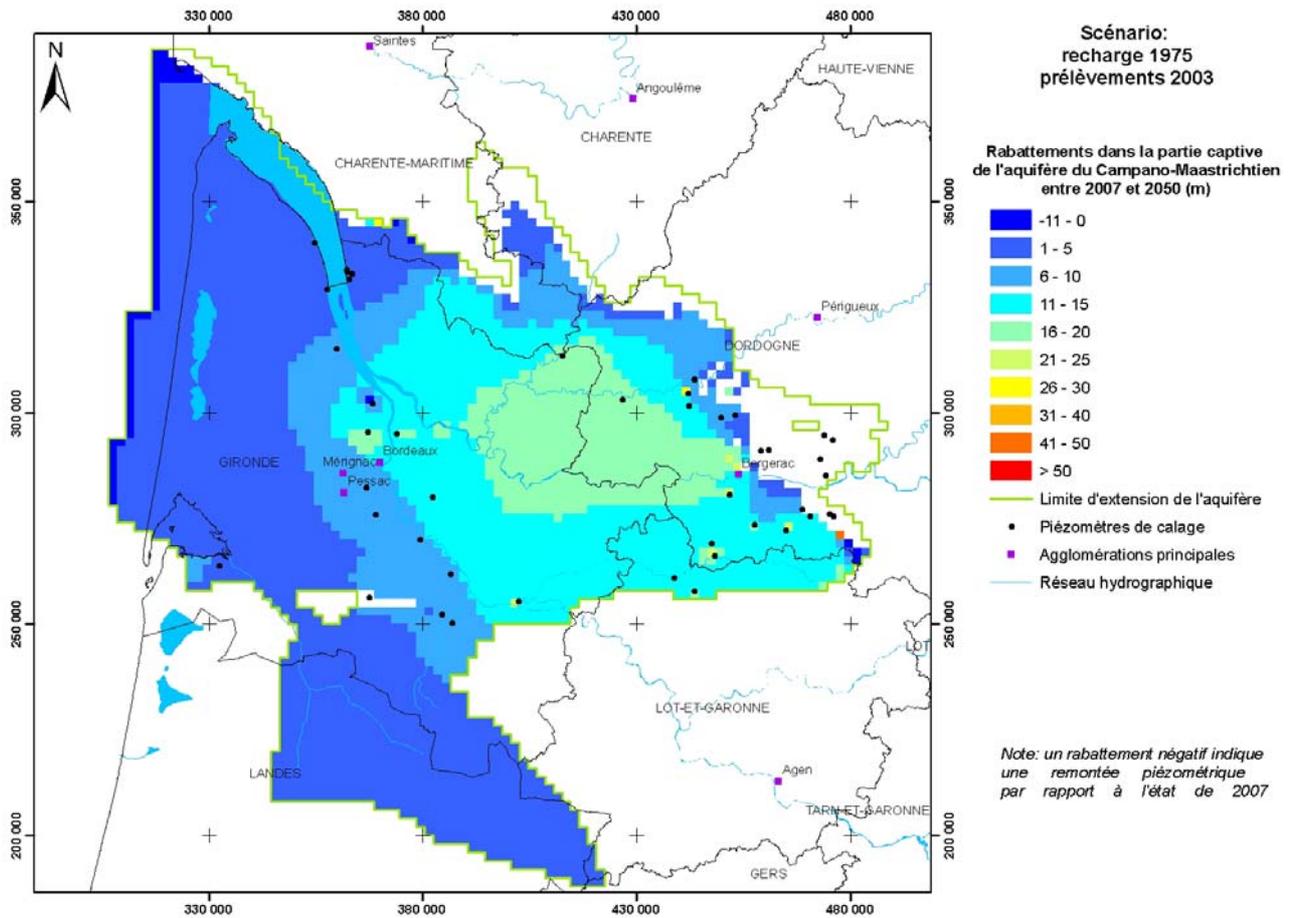
Cartes de rabattements 2007-2050 – Scénario « Recharge 1975 + Prélèvements 2003 »



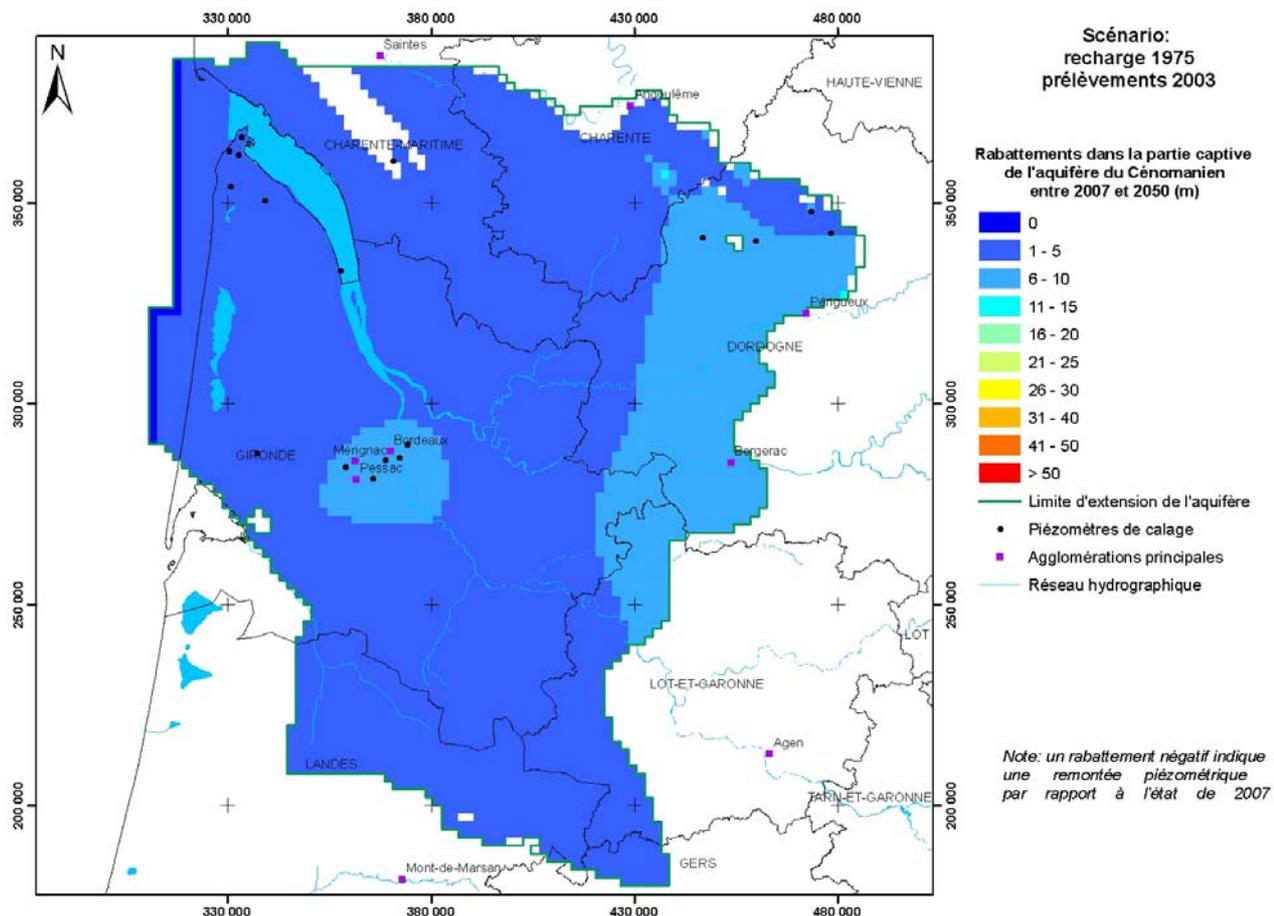
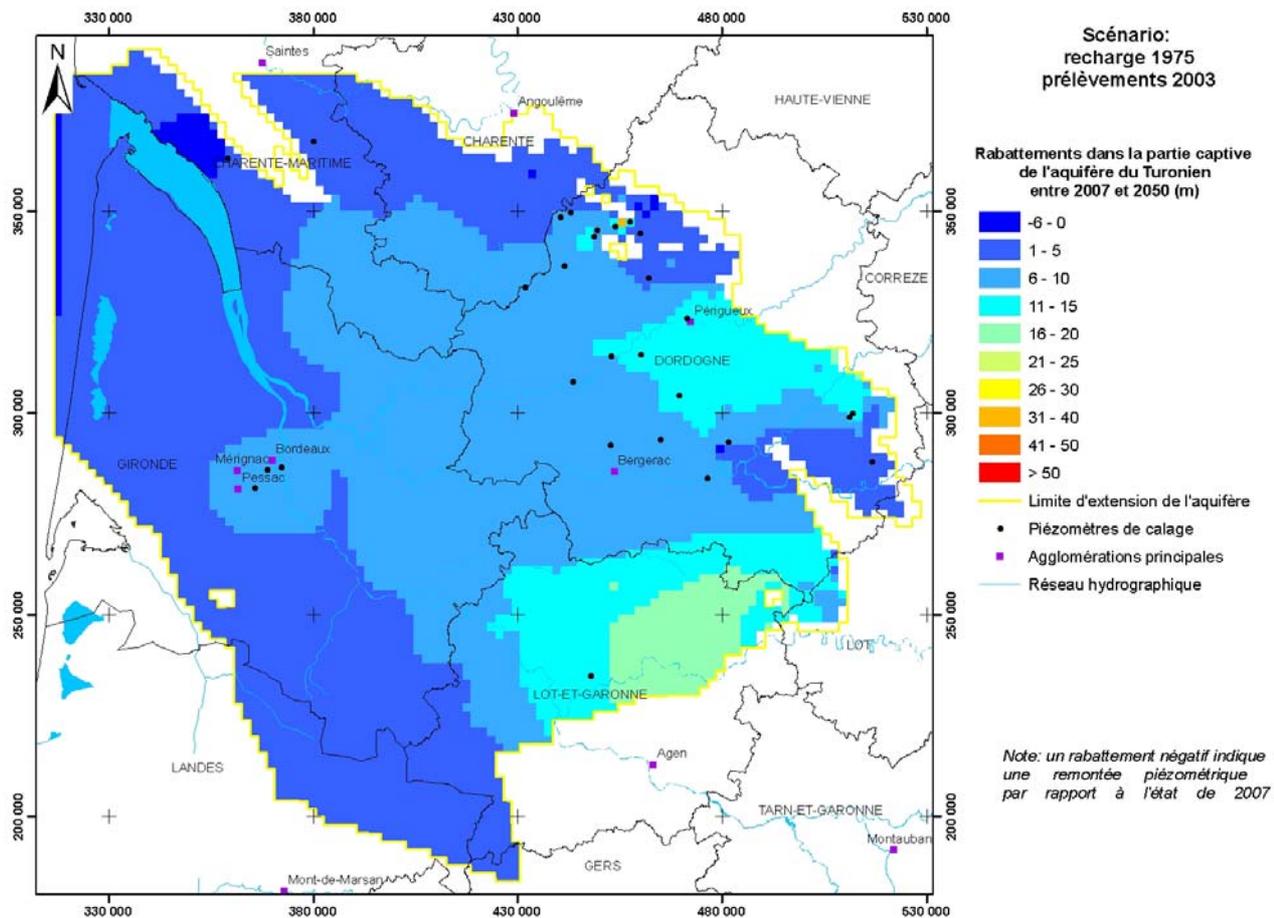


Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains

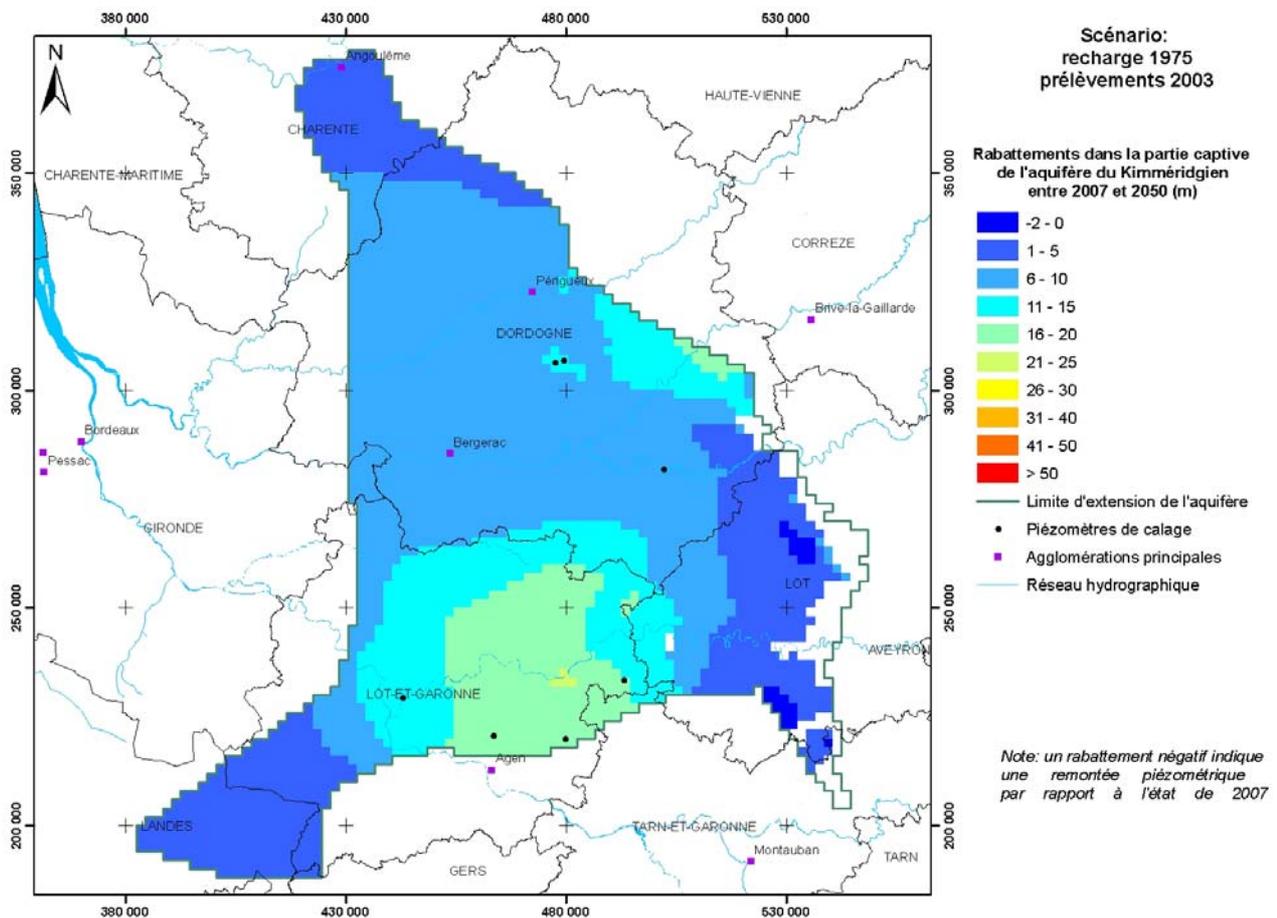
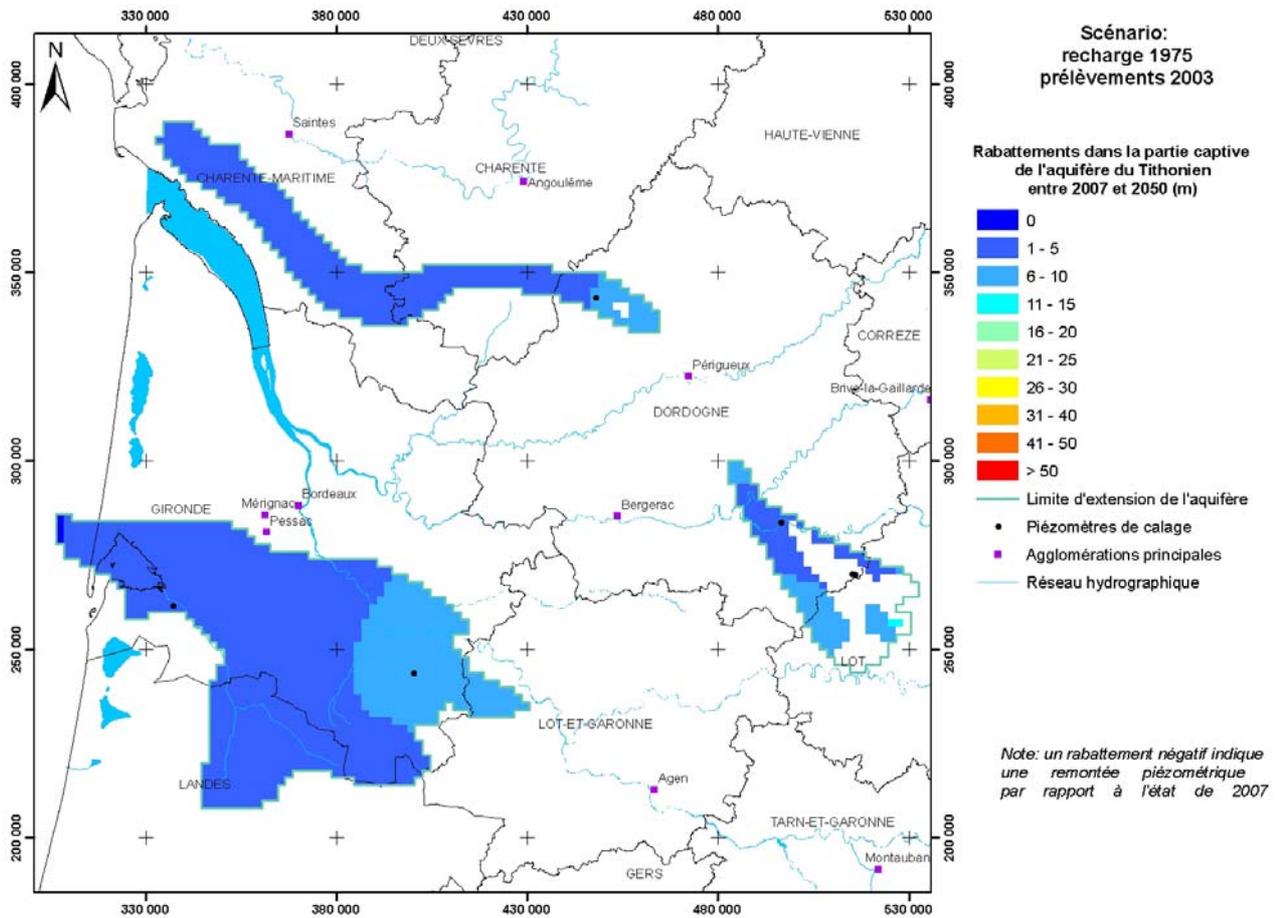




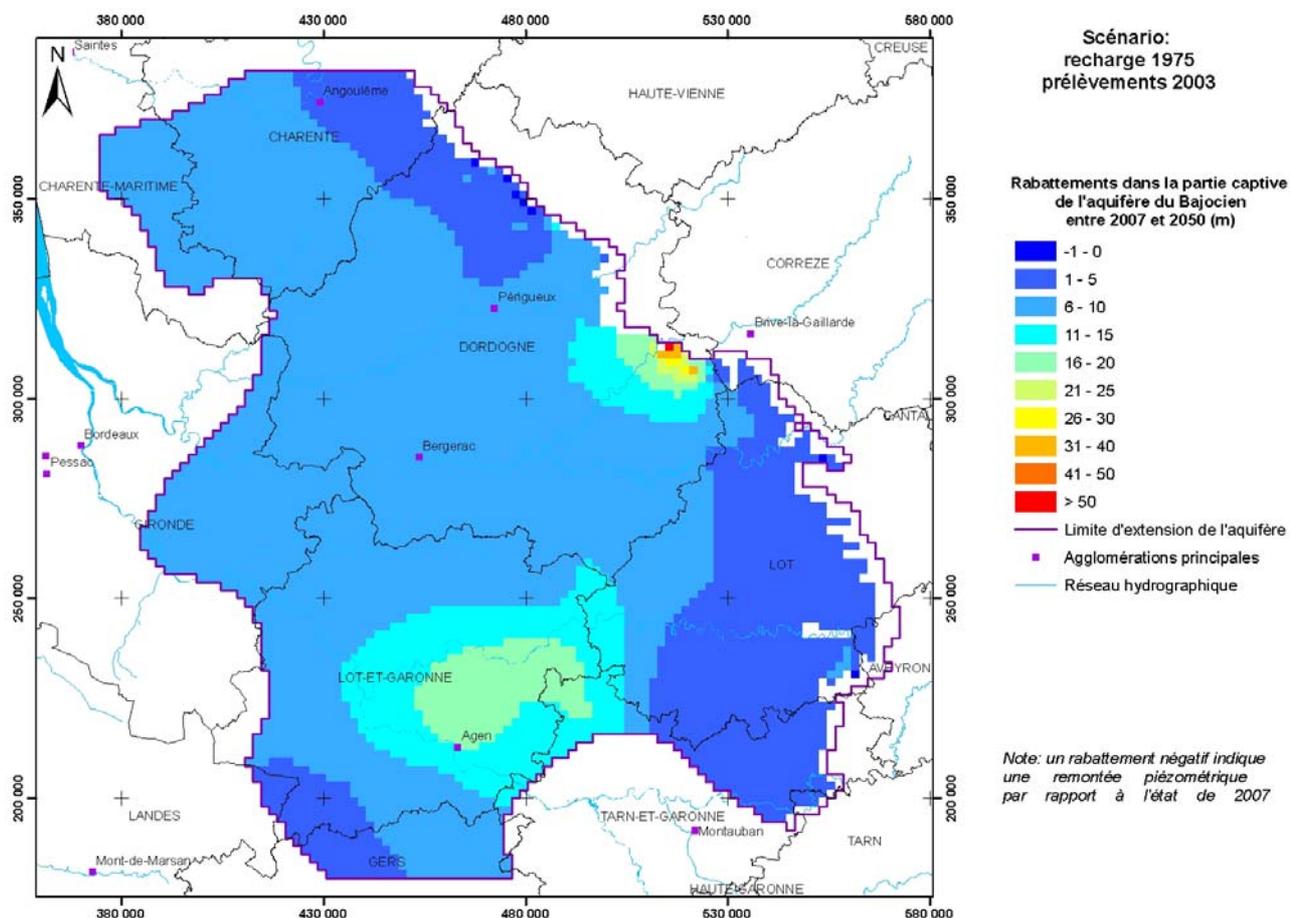
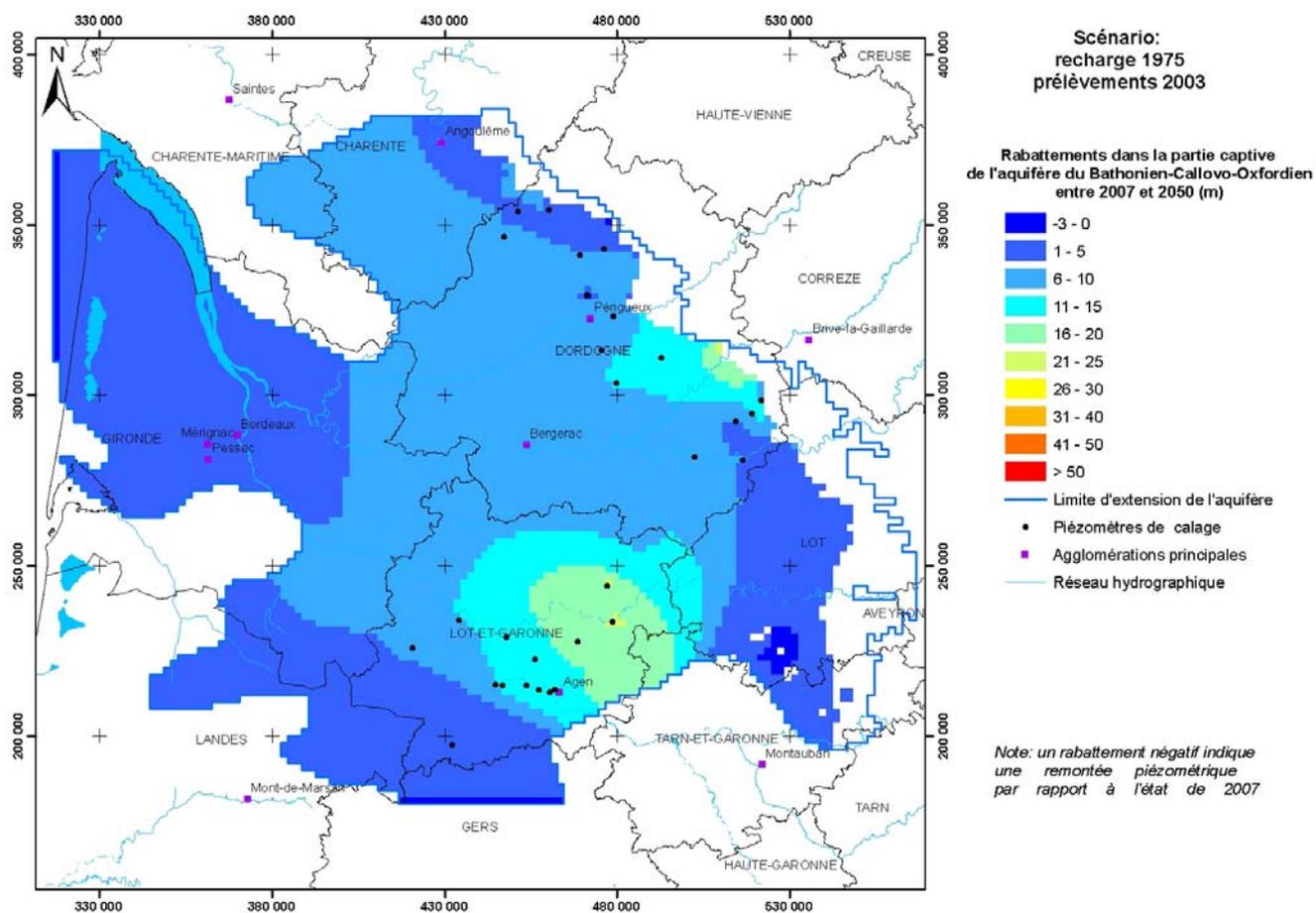
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains

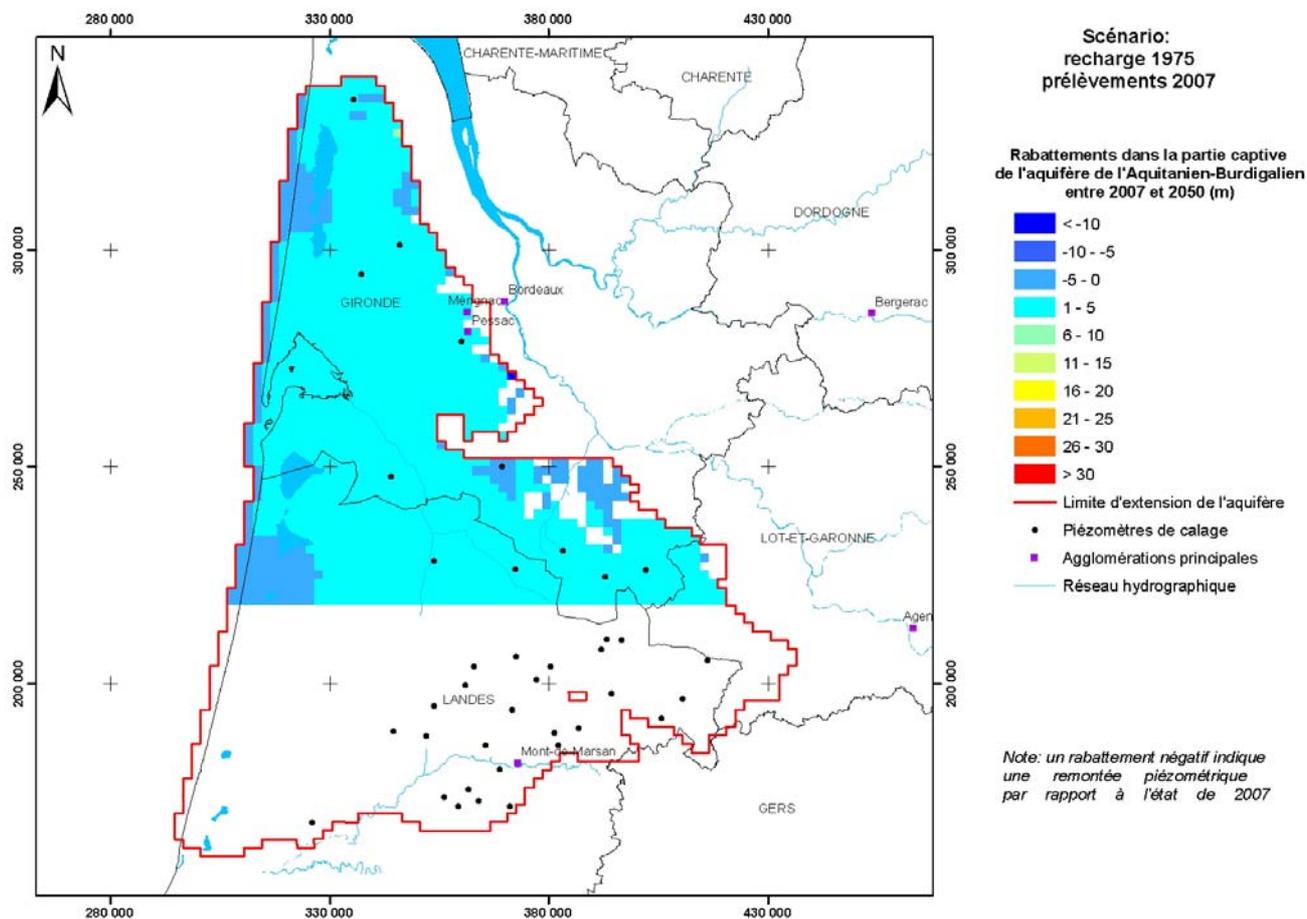
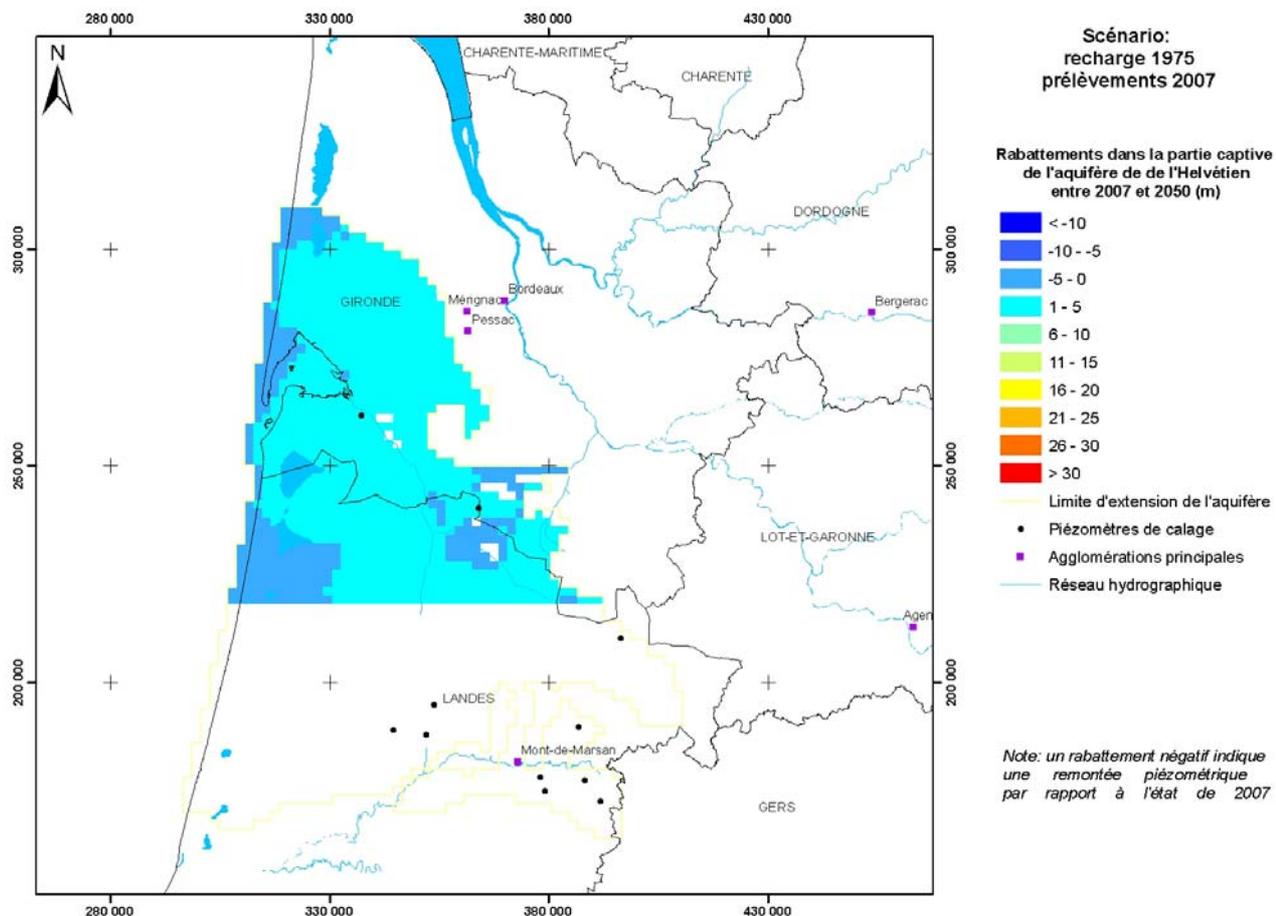


Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains

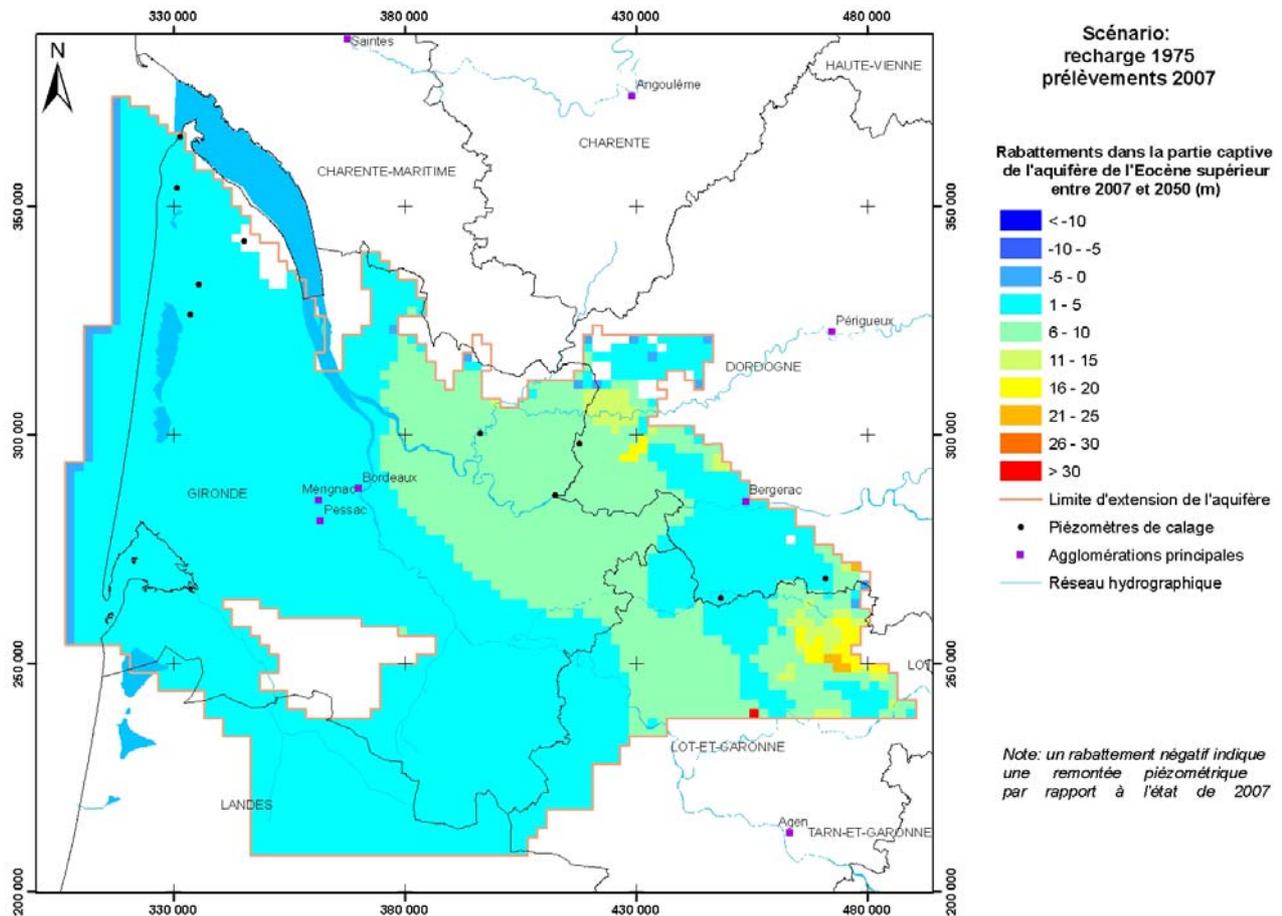
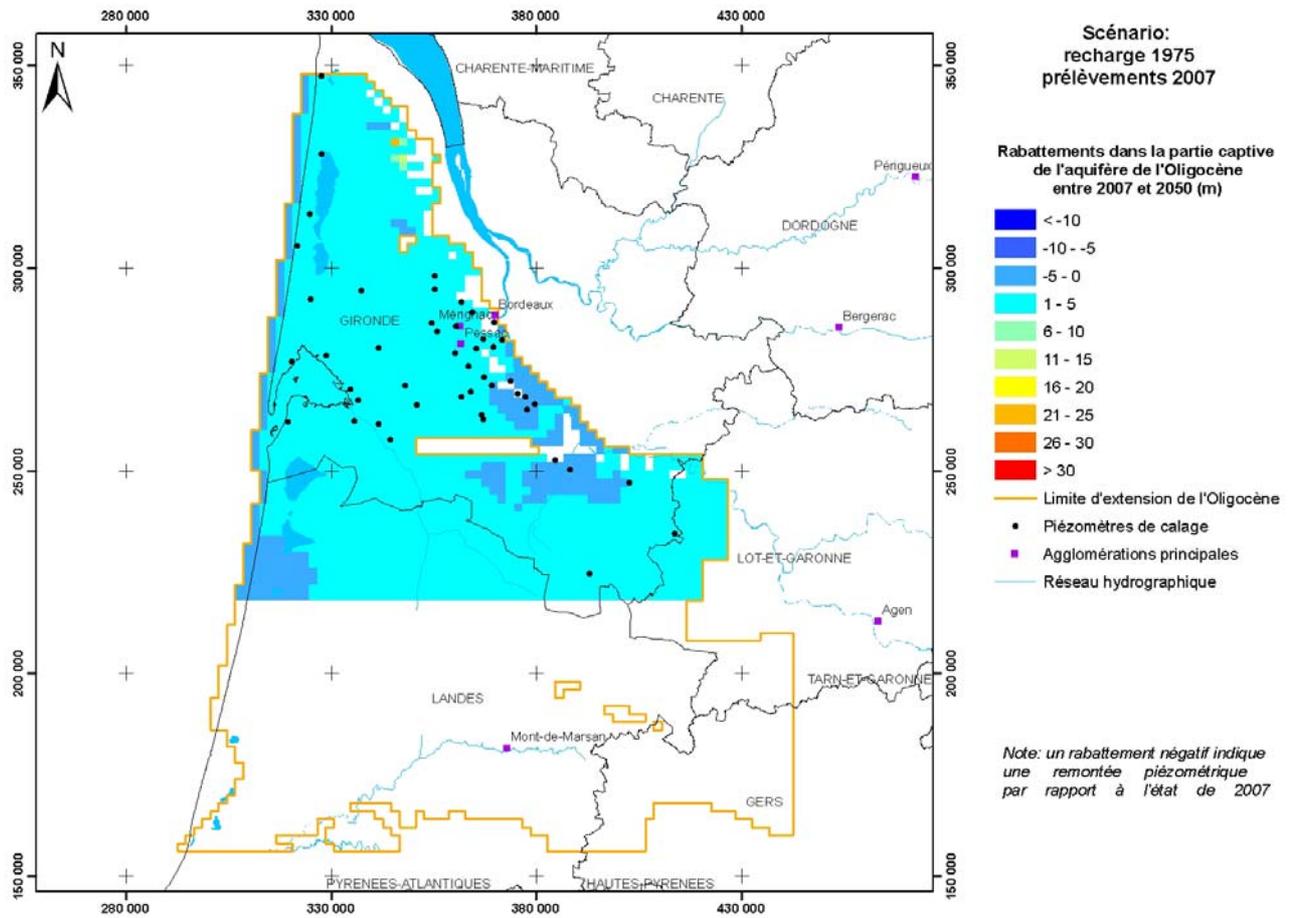


Annexe 10

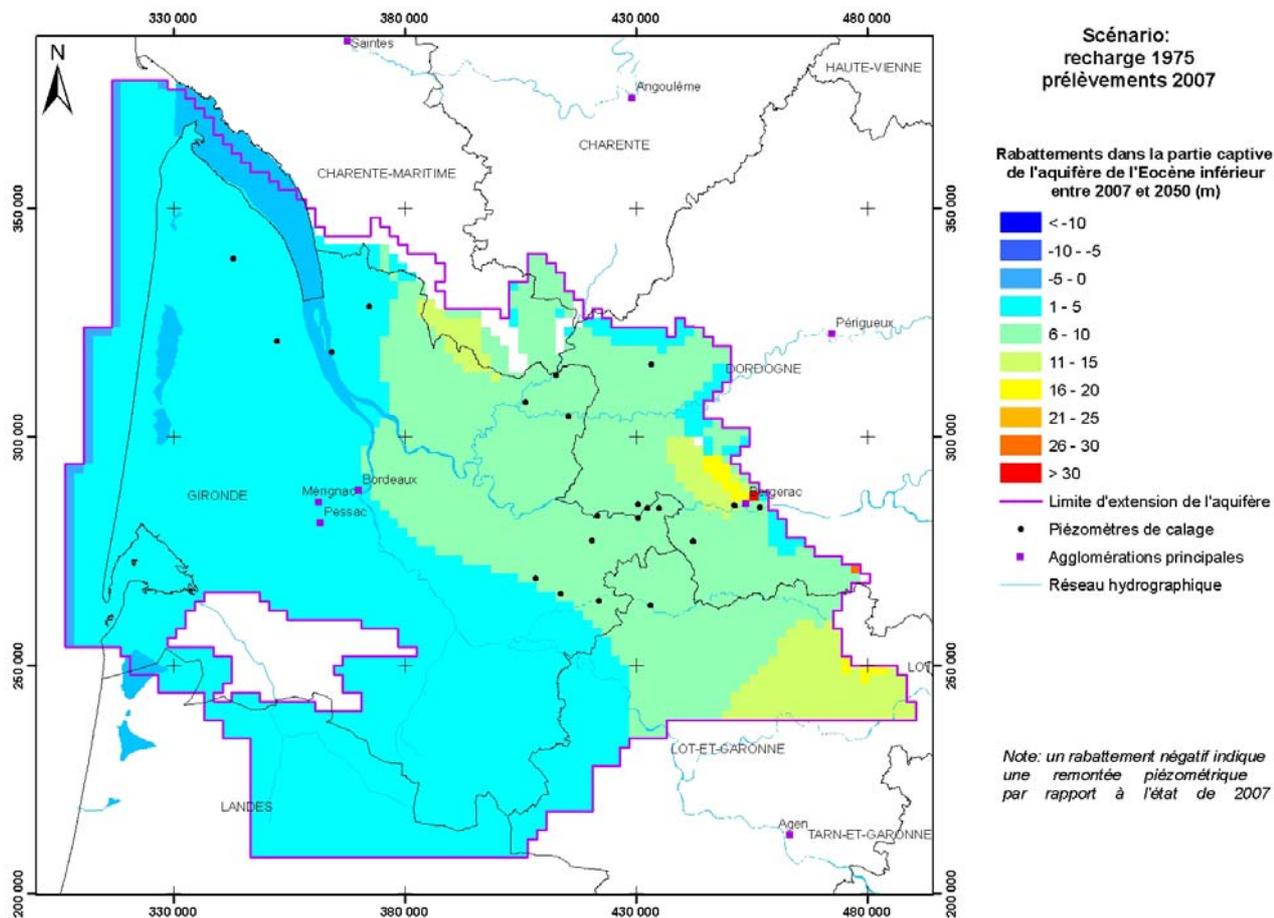
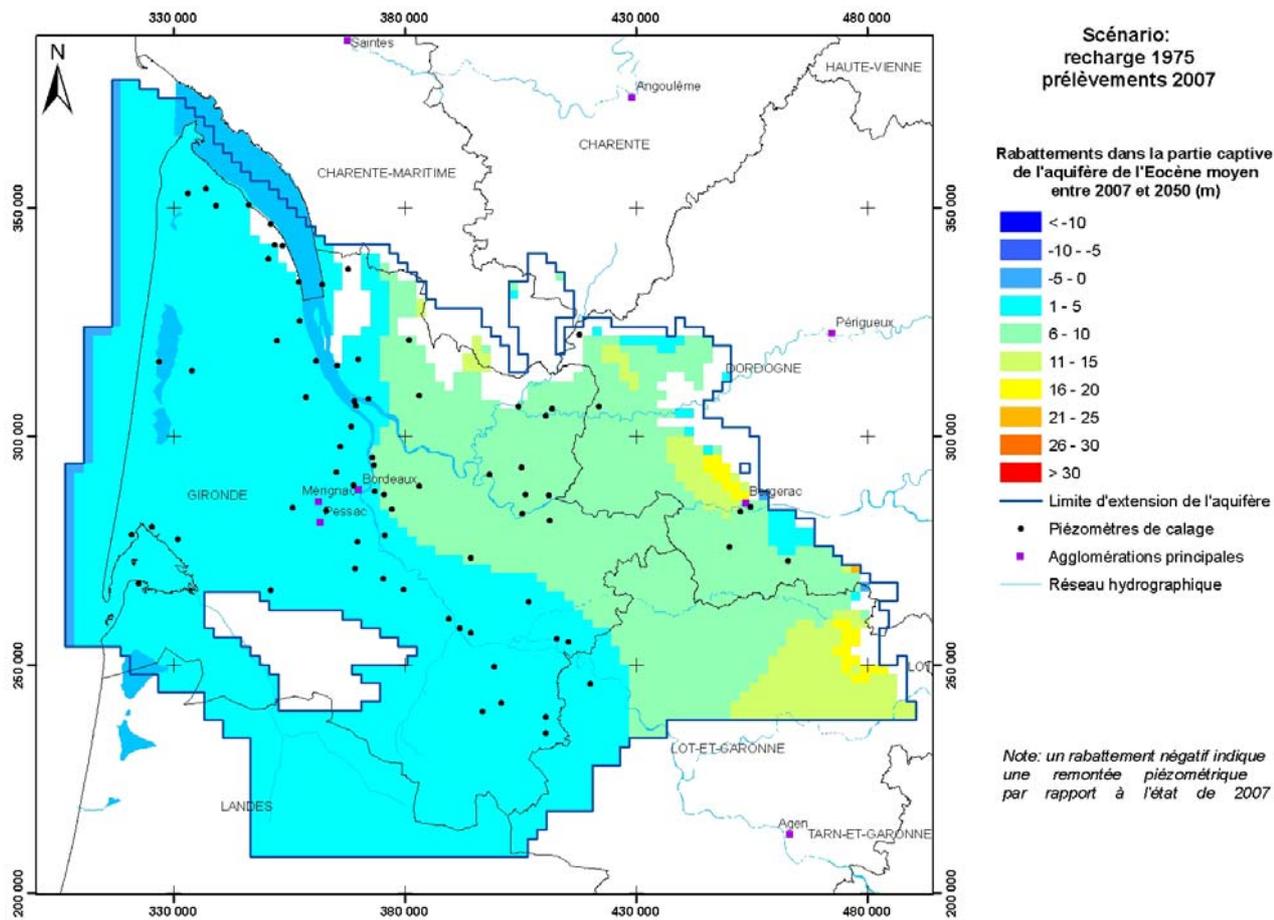
Cartes de rabattements 2007-2050 – Scénario « Recharge 1975 + Prélèvements 2007 »

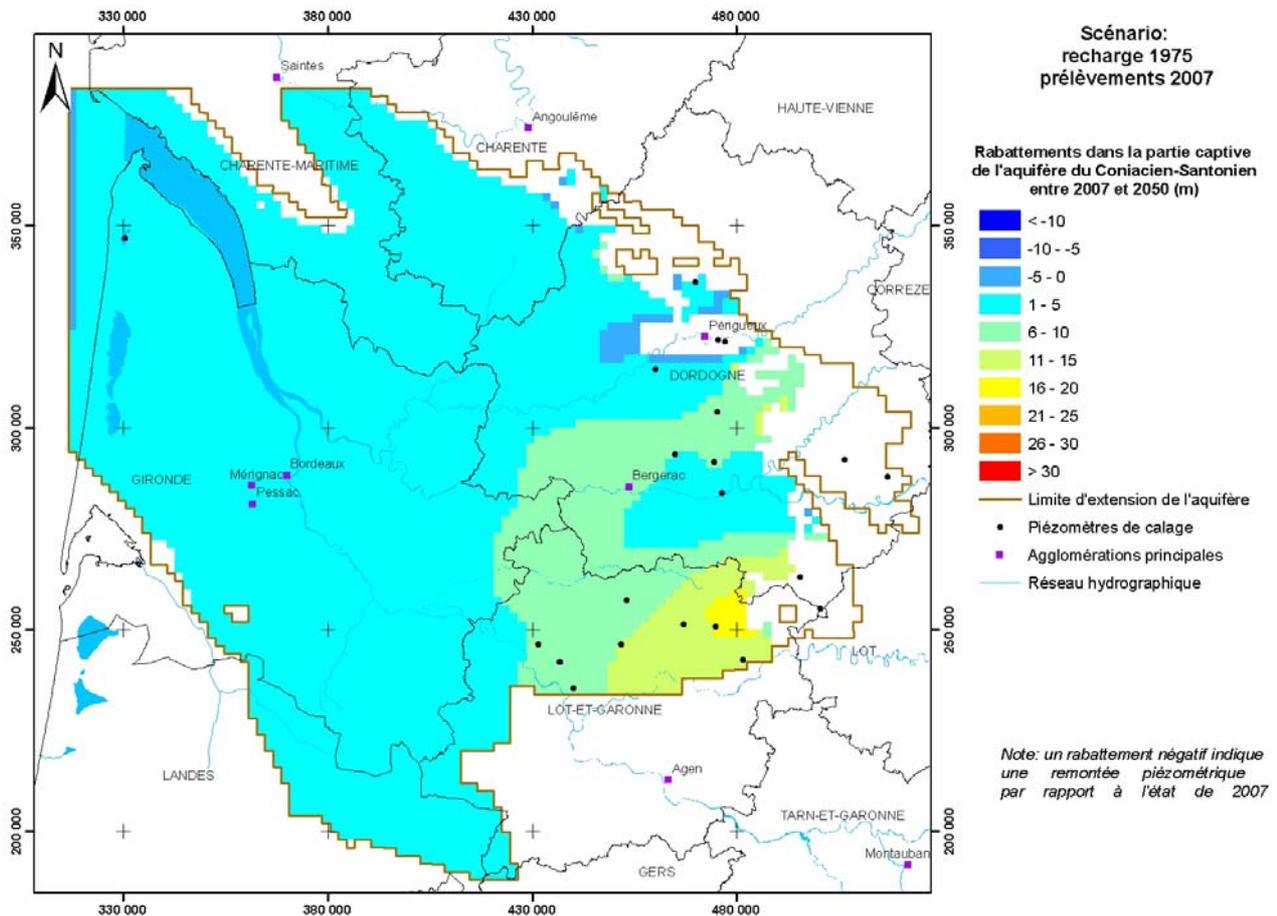
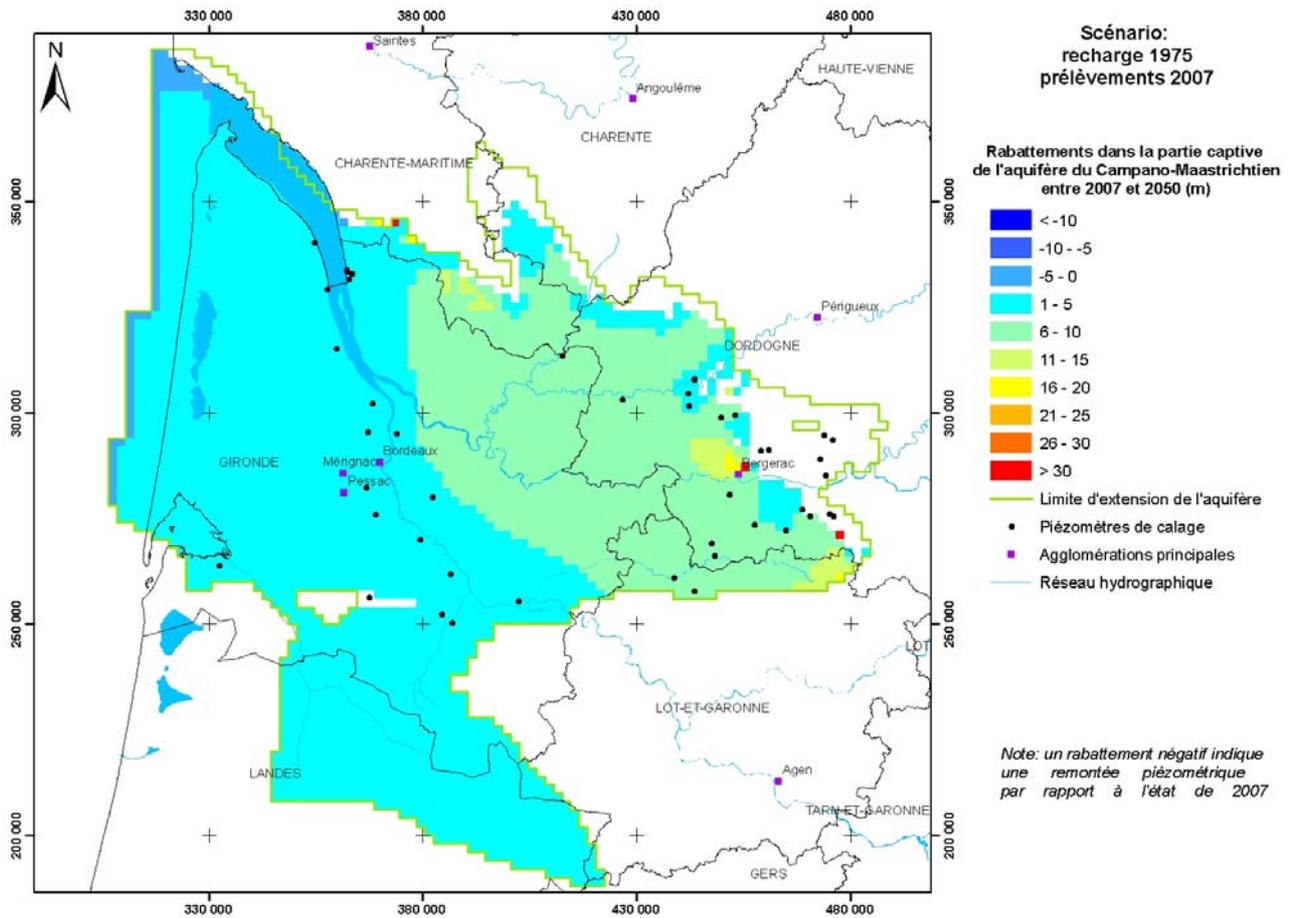


Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains

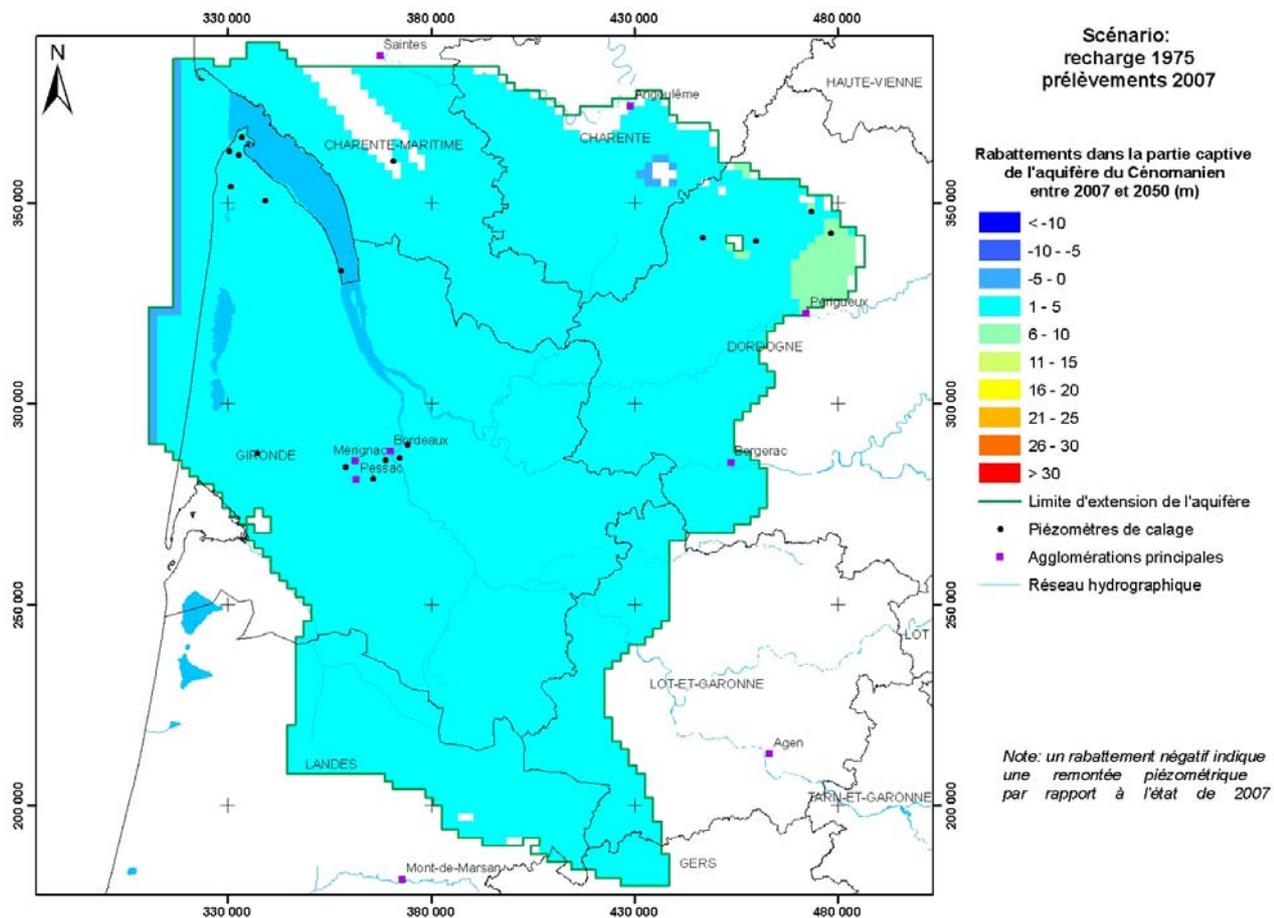
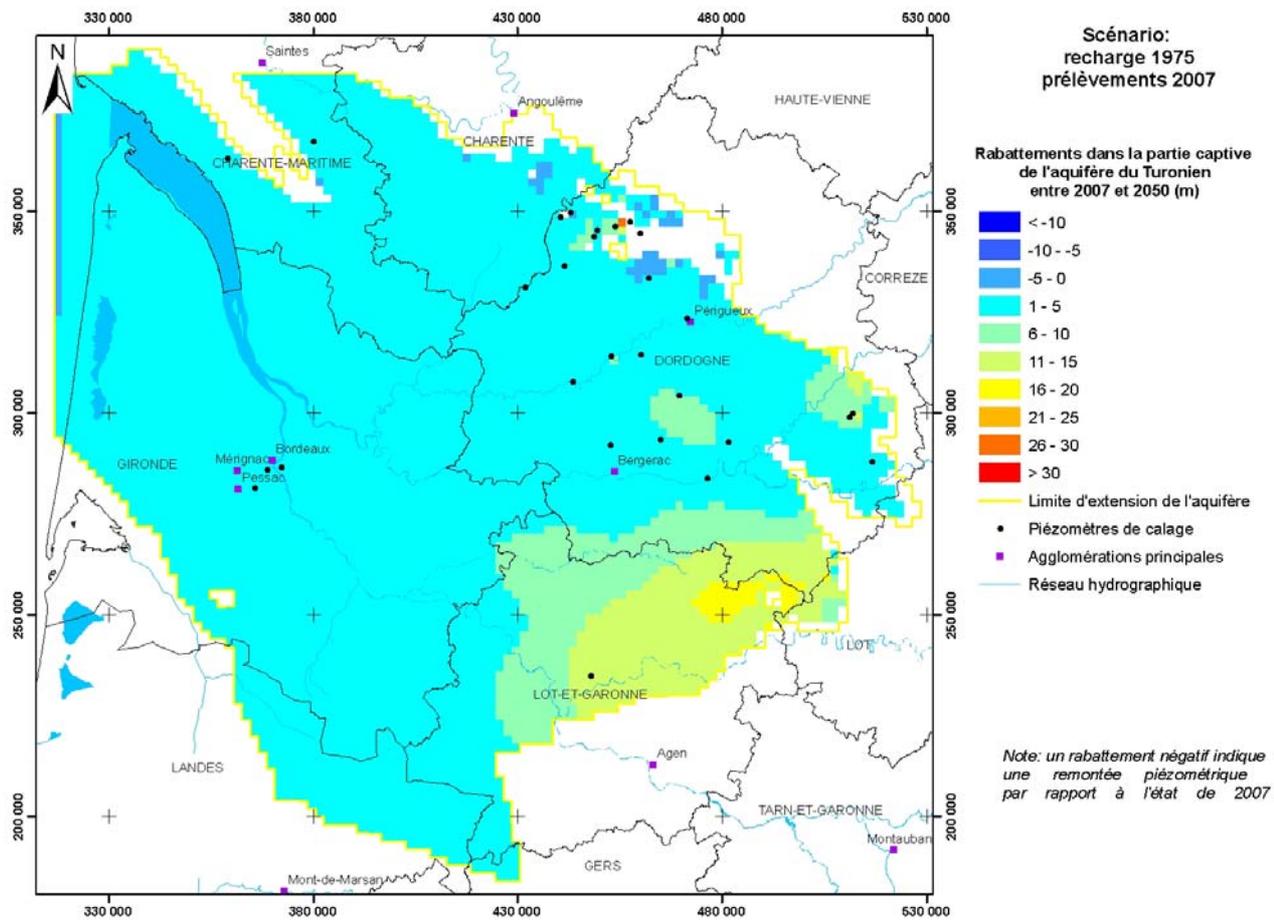


Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains

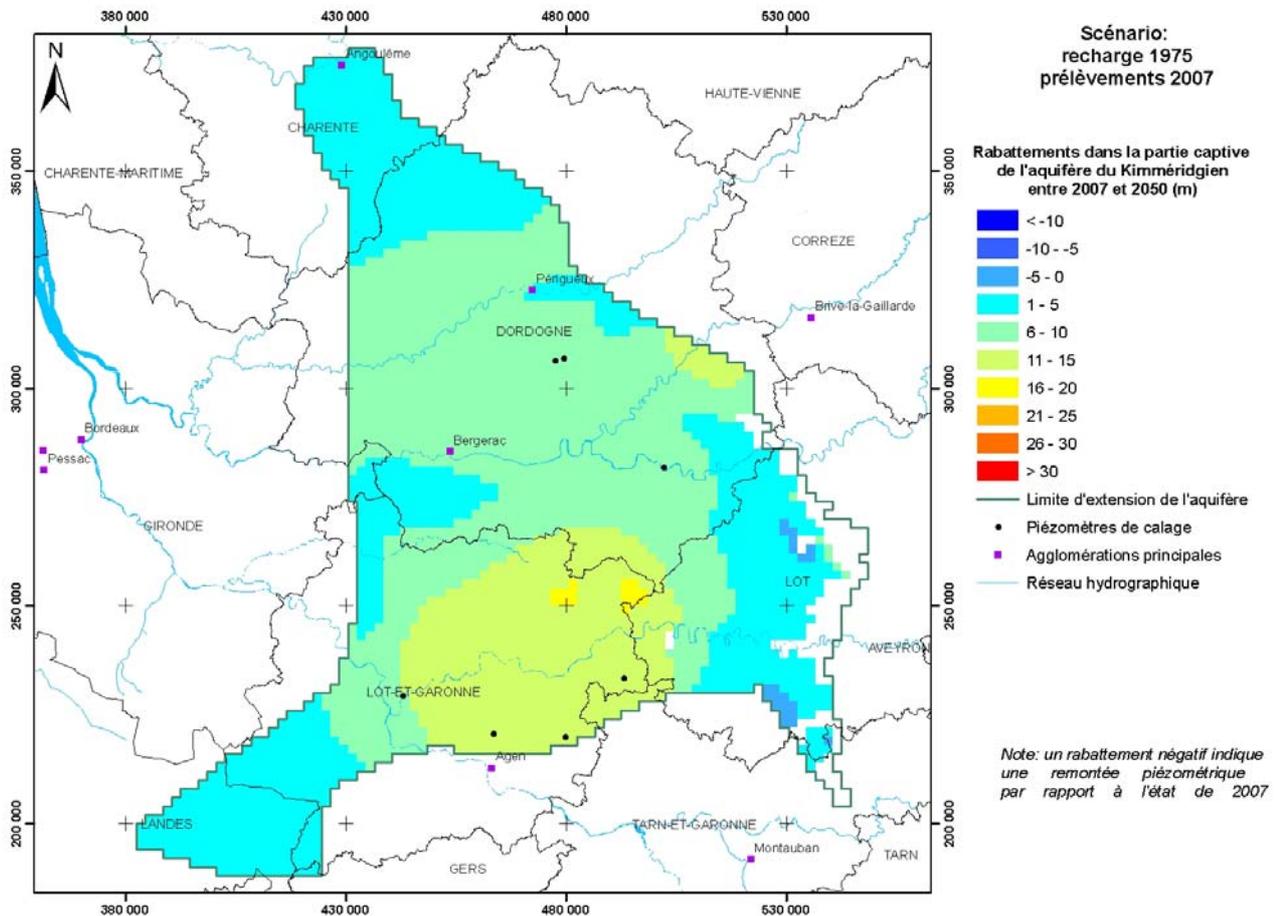
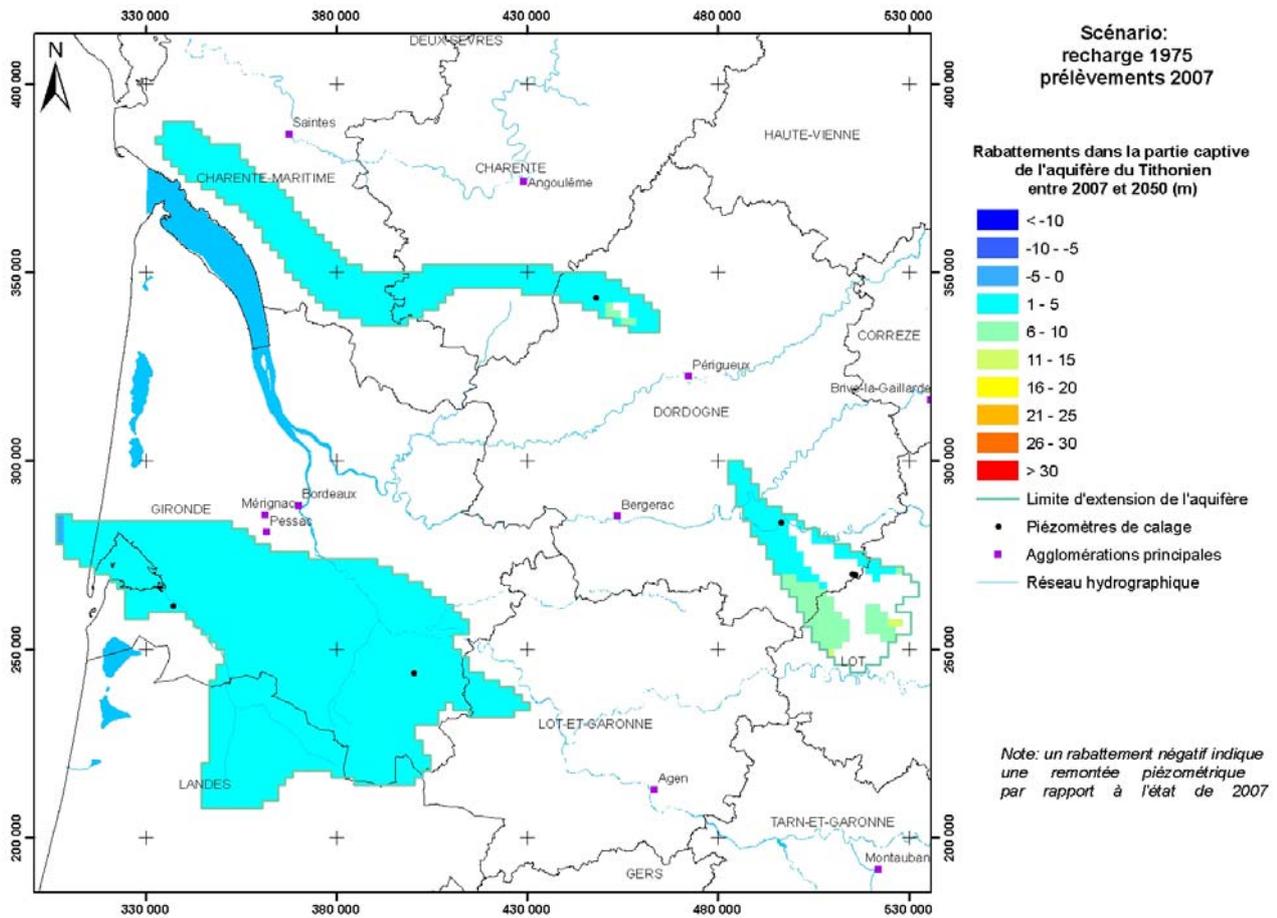




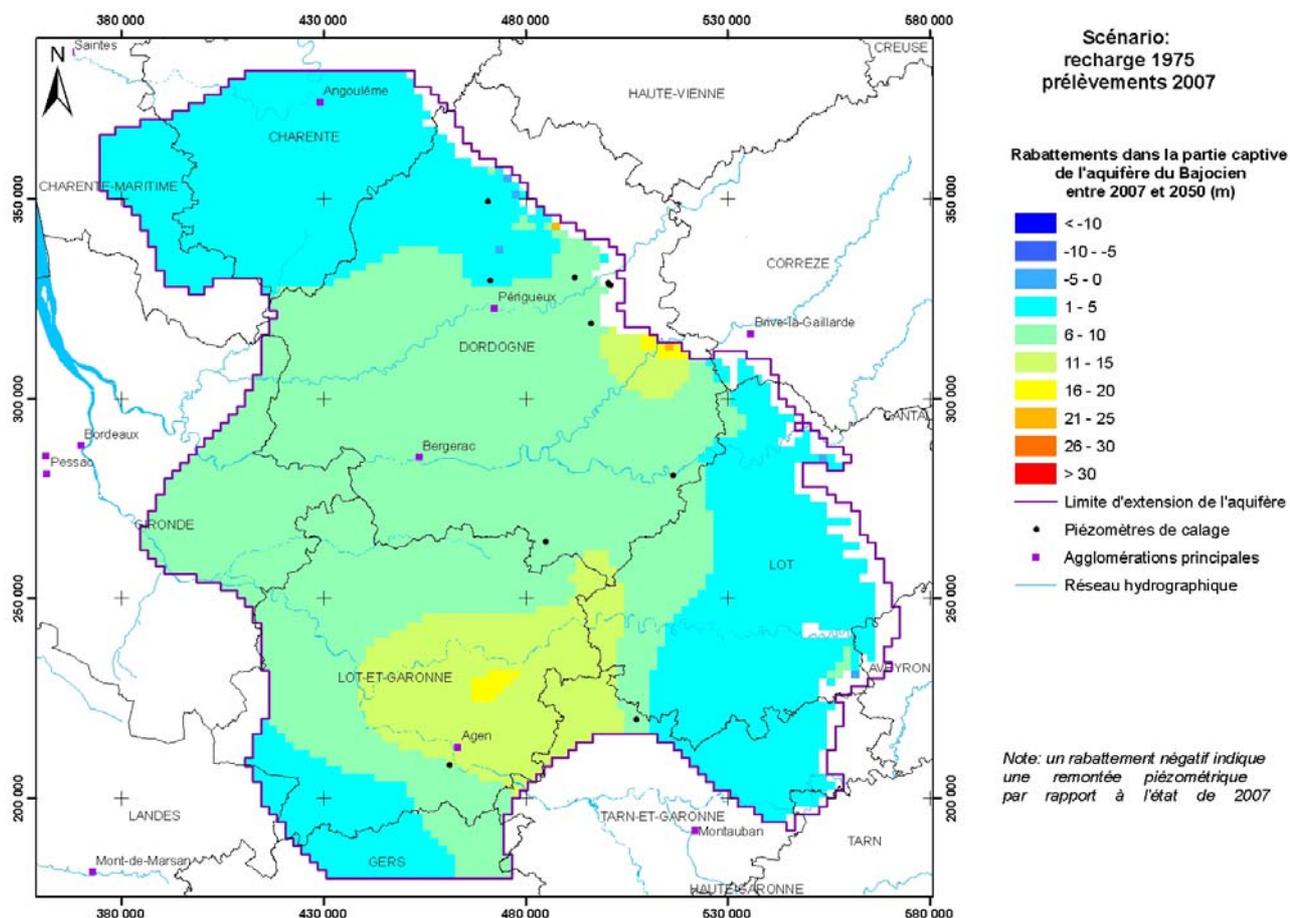
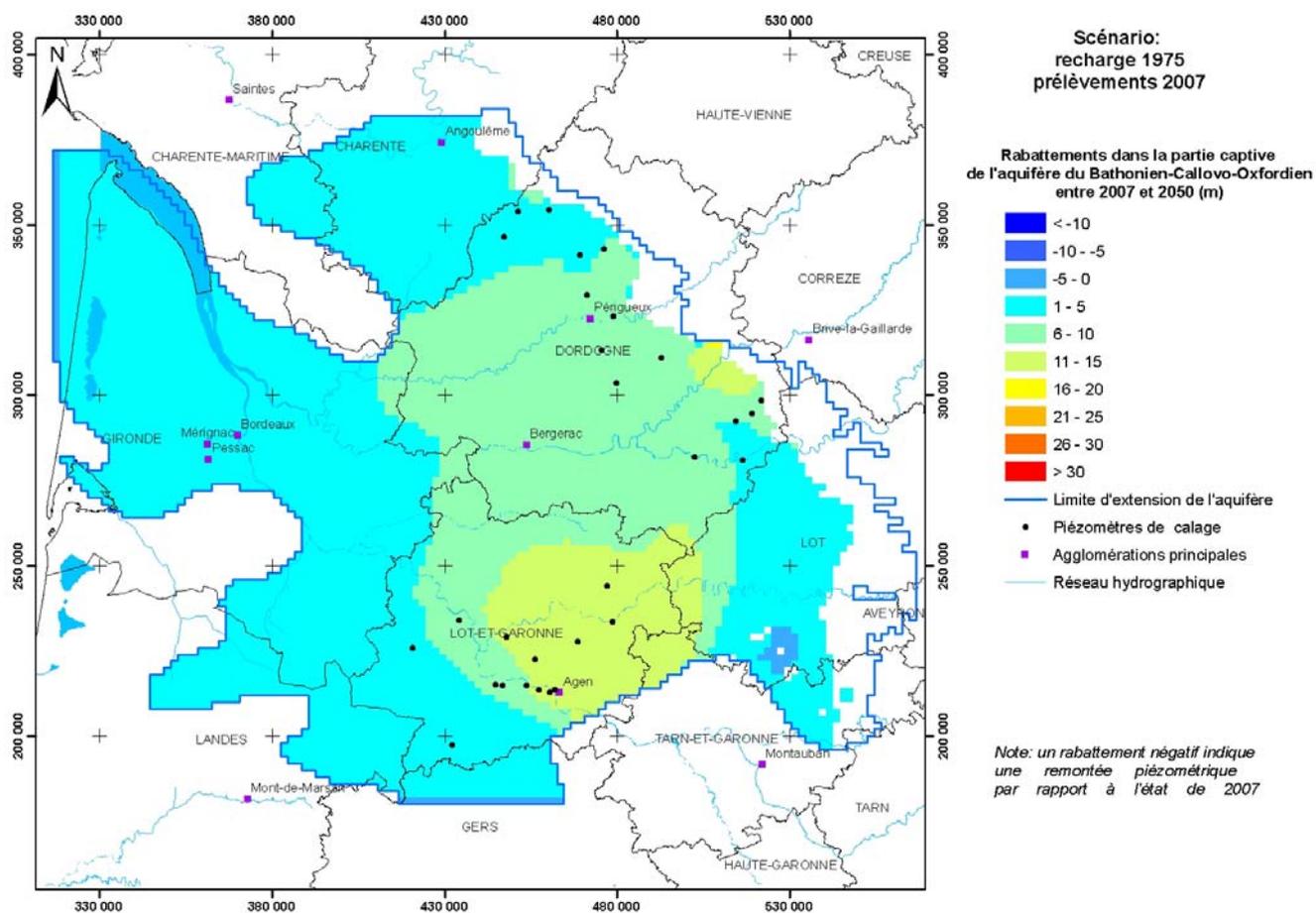
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains

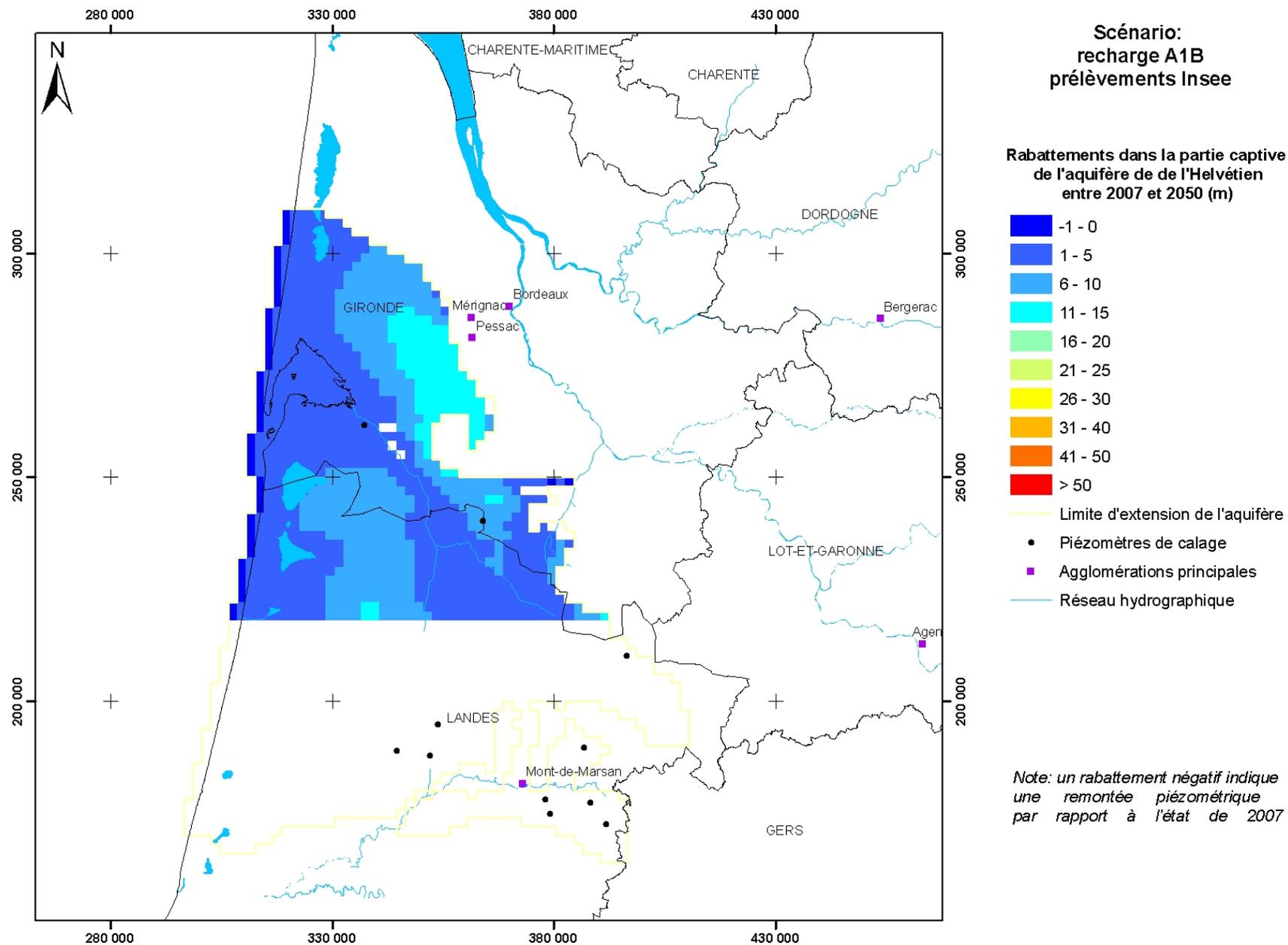


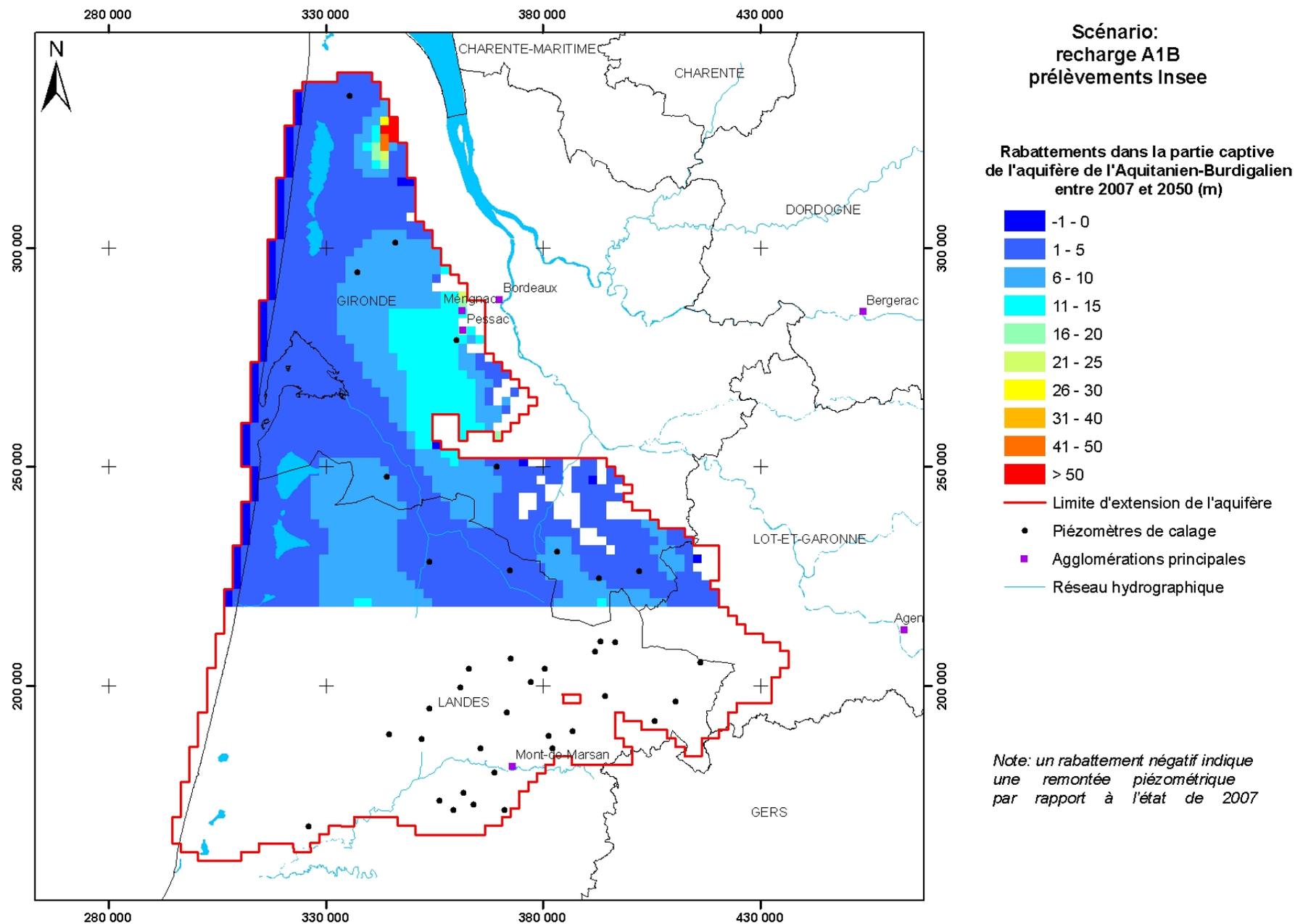
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



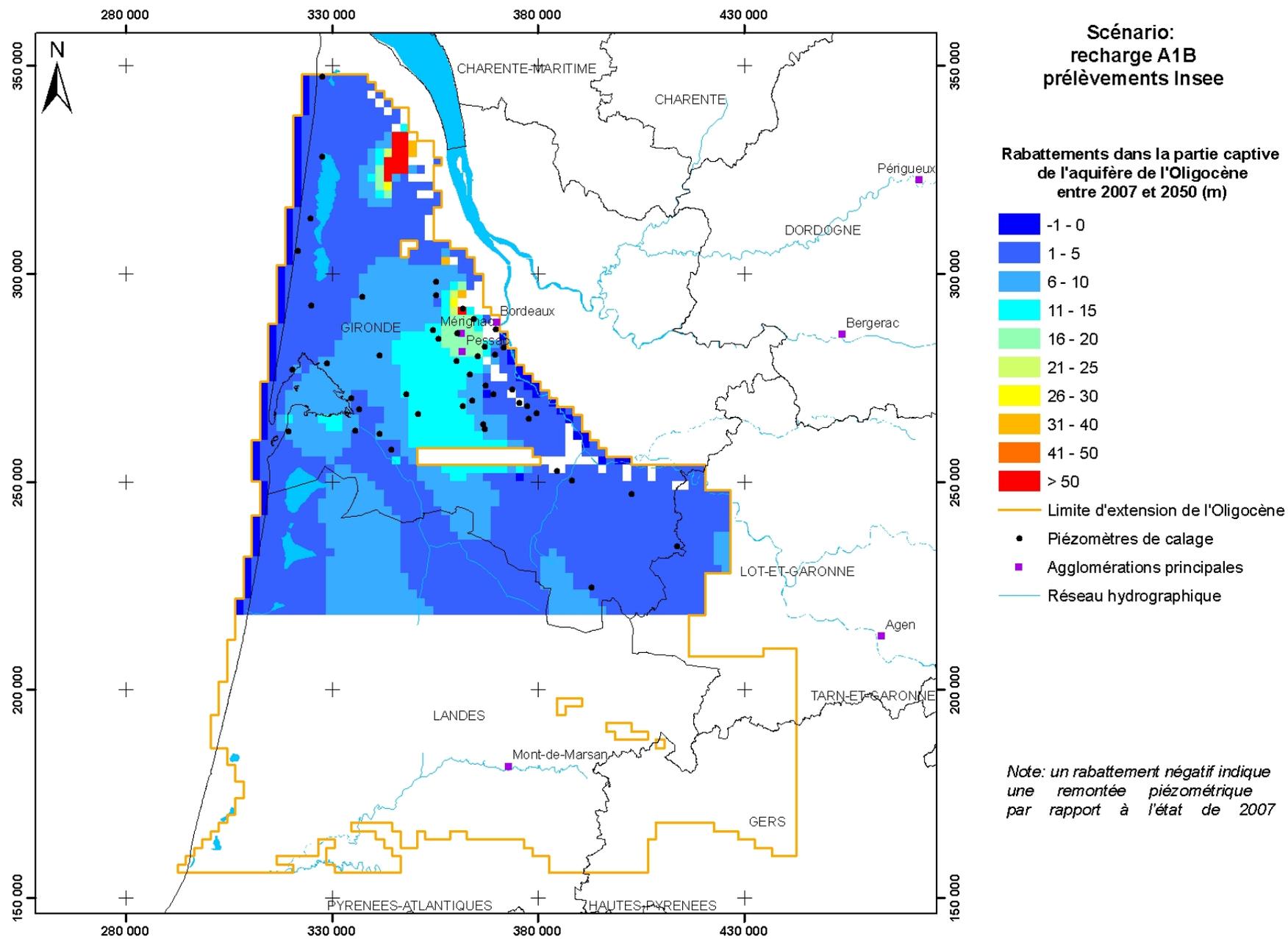
Annexe 11

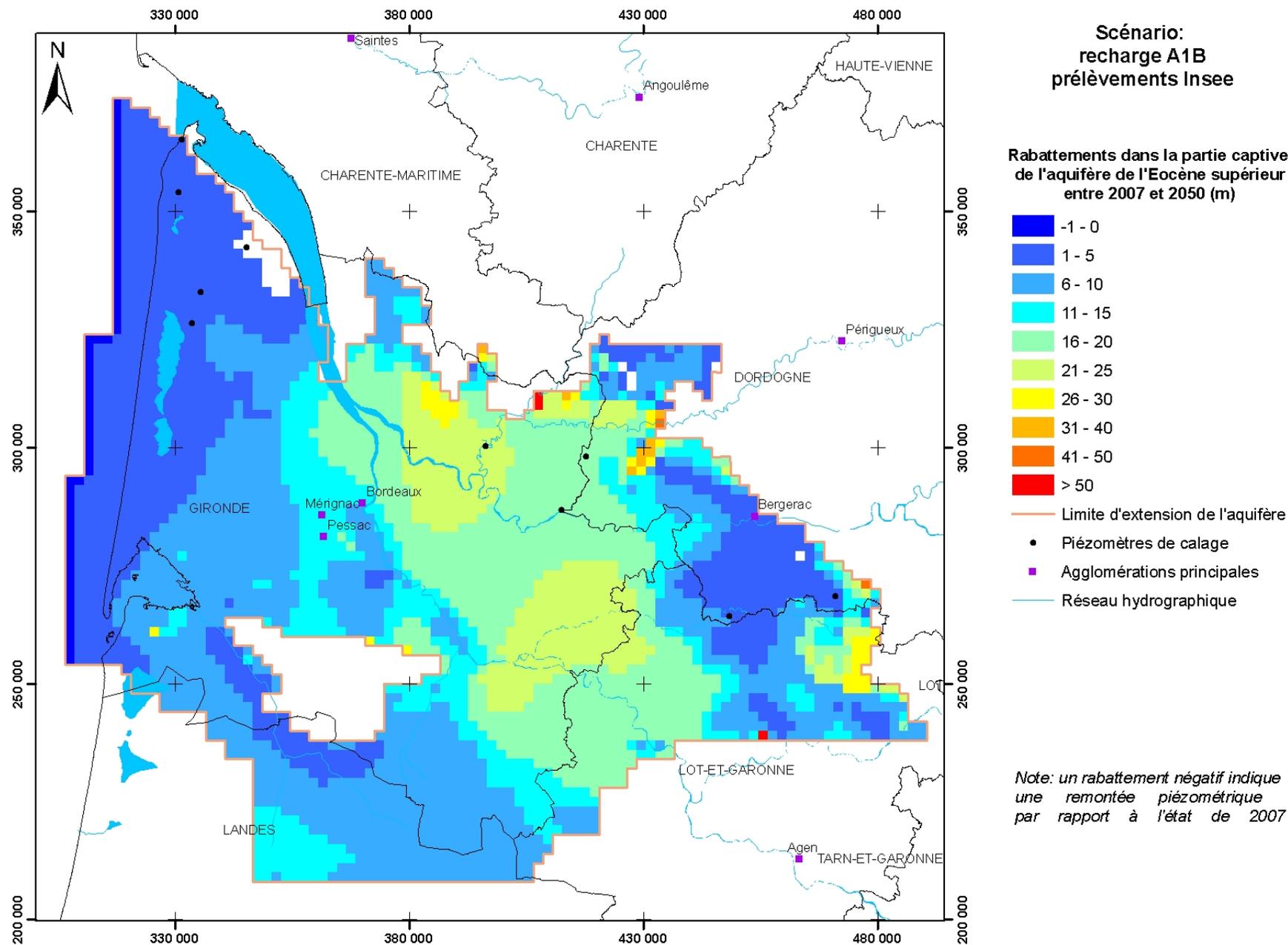
Cartes de rabattements 2007-2050 – Scénario « Recharge A1B + Prélèvements INSEE »

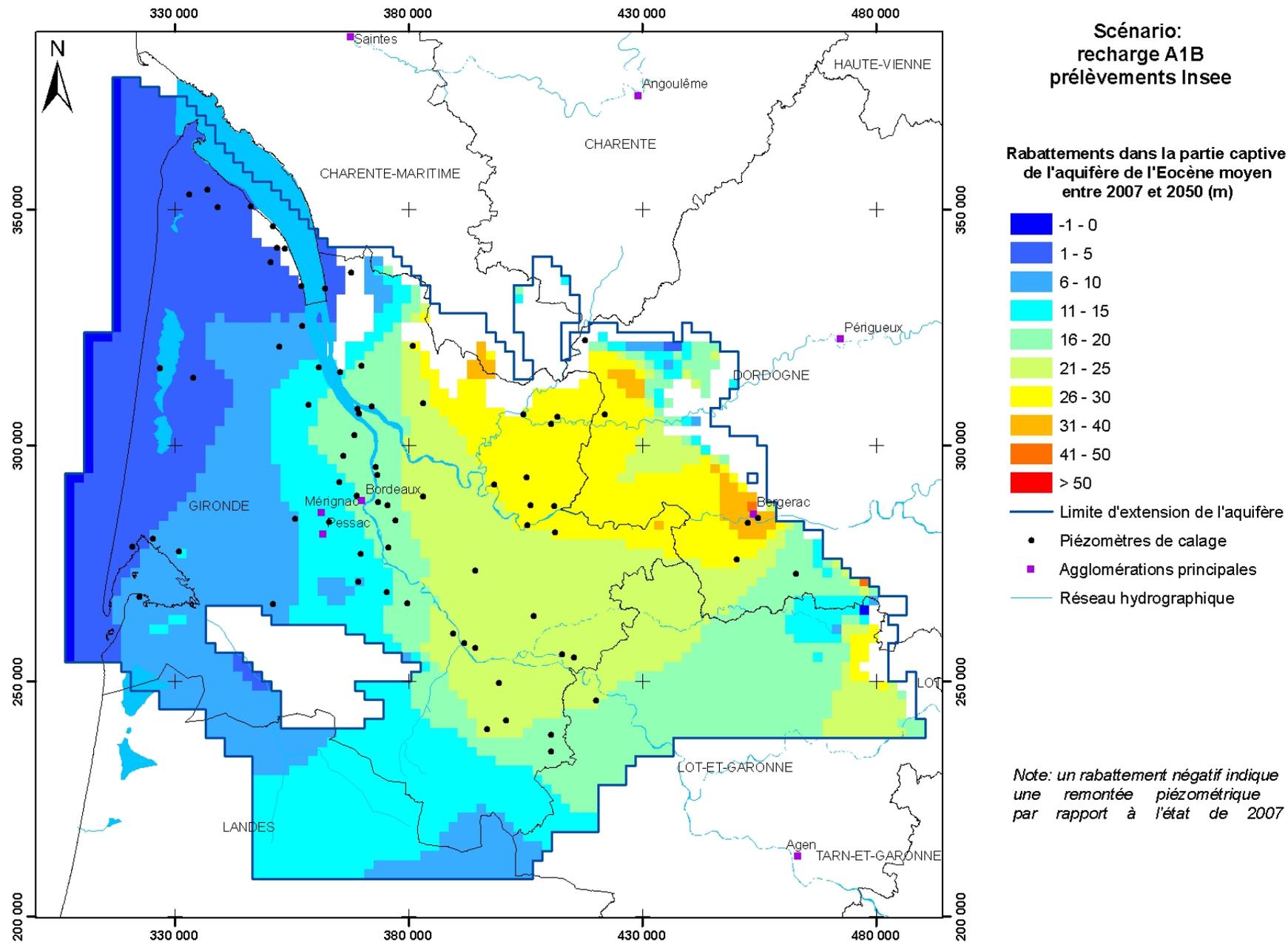


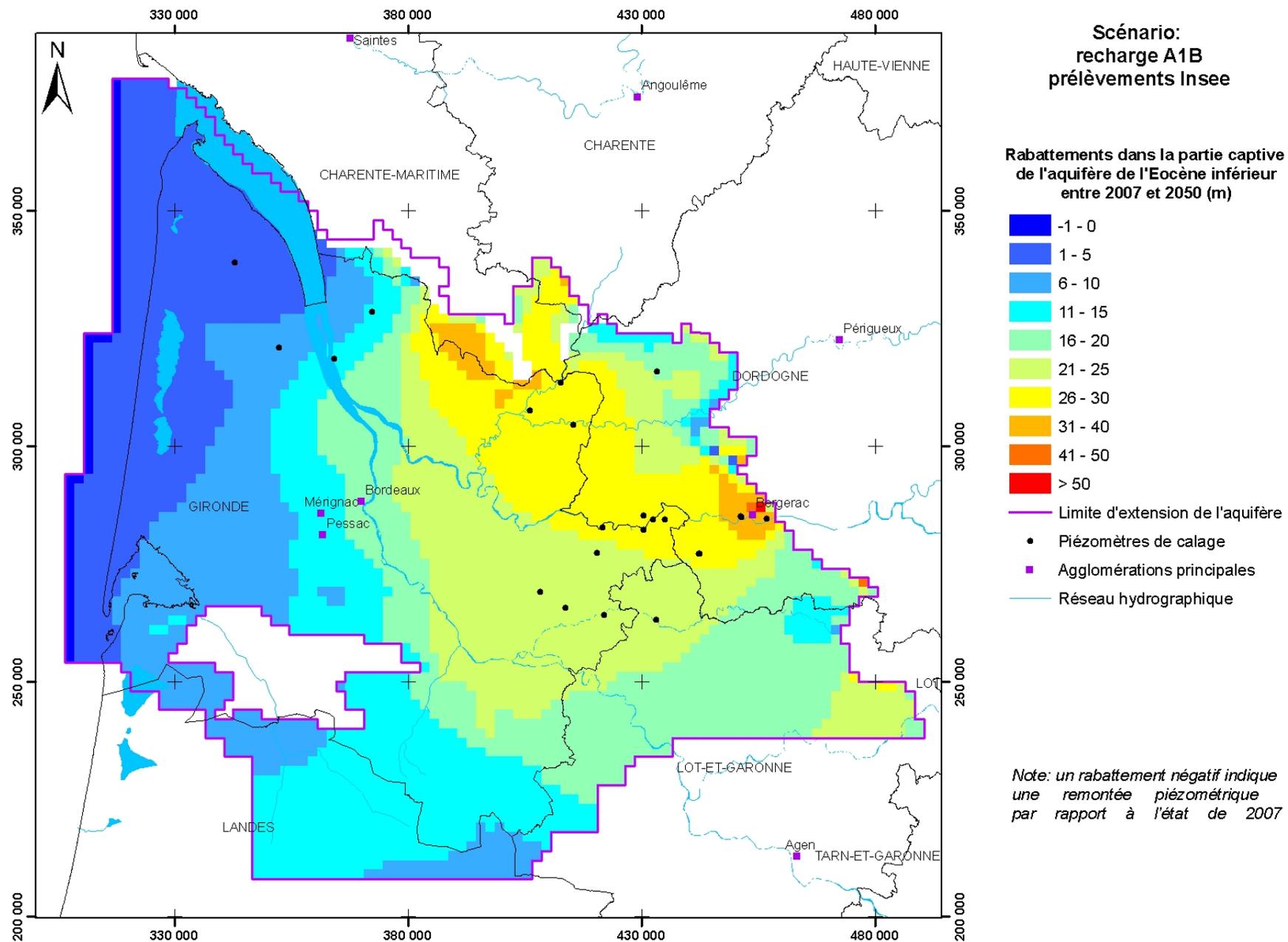


Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains

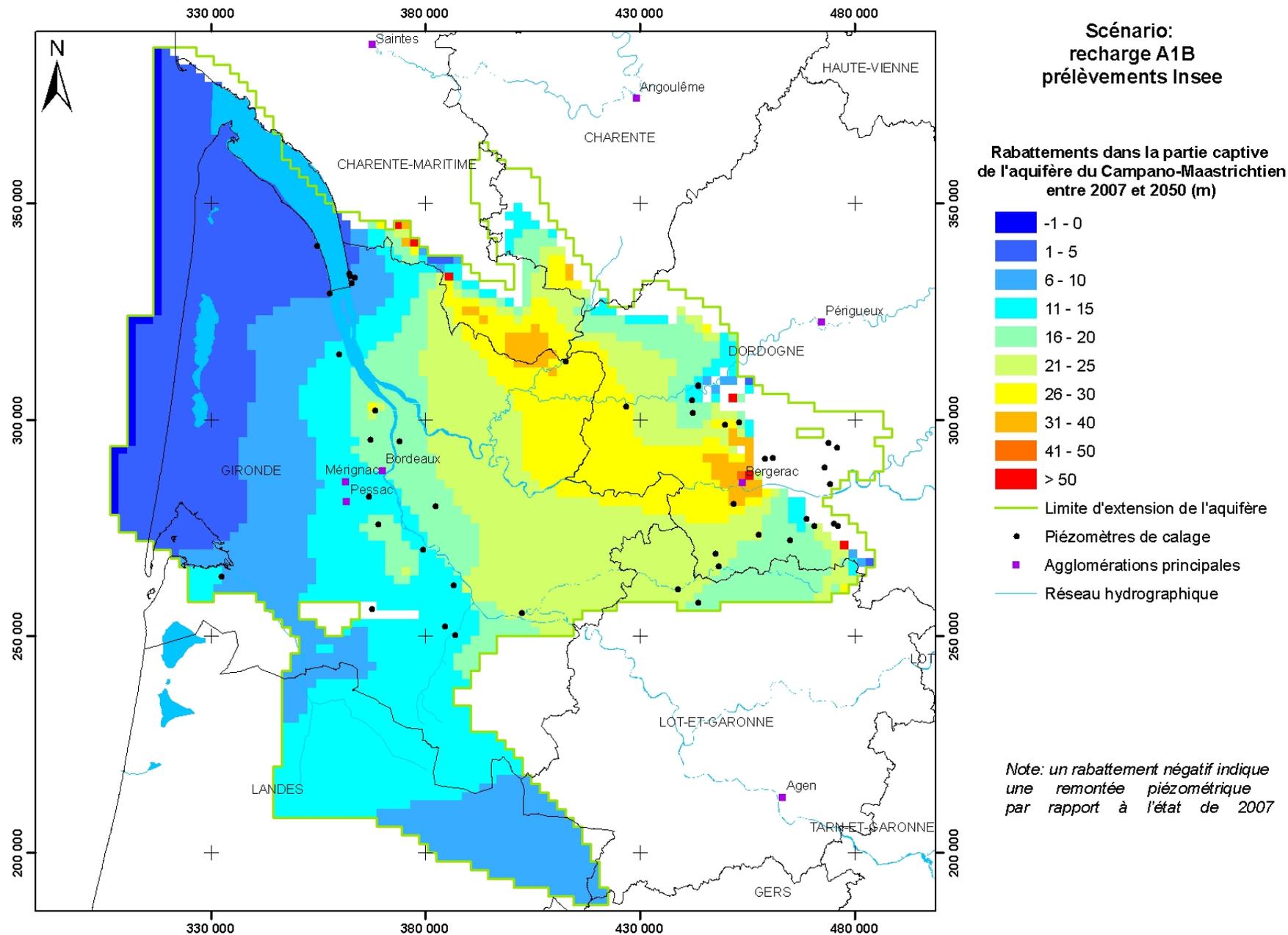


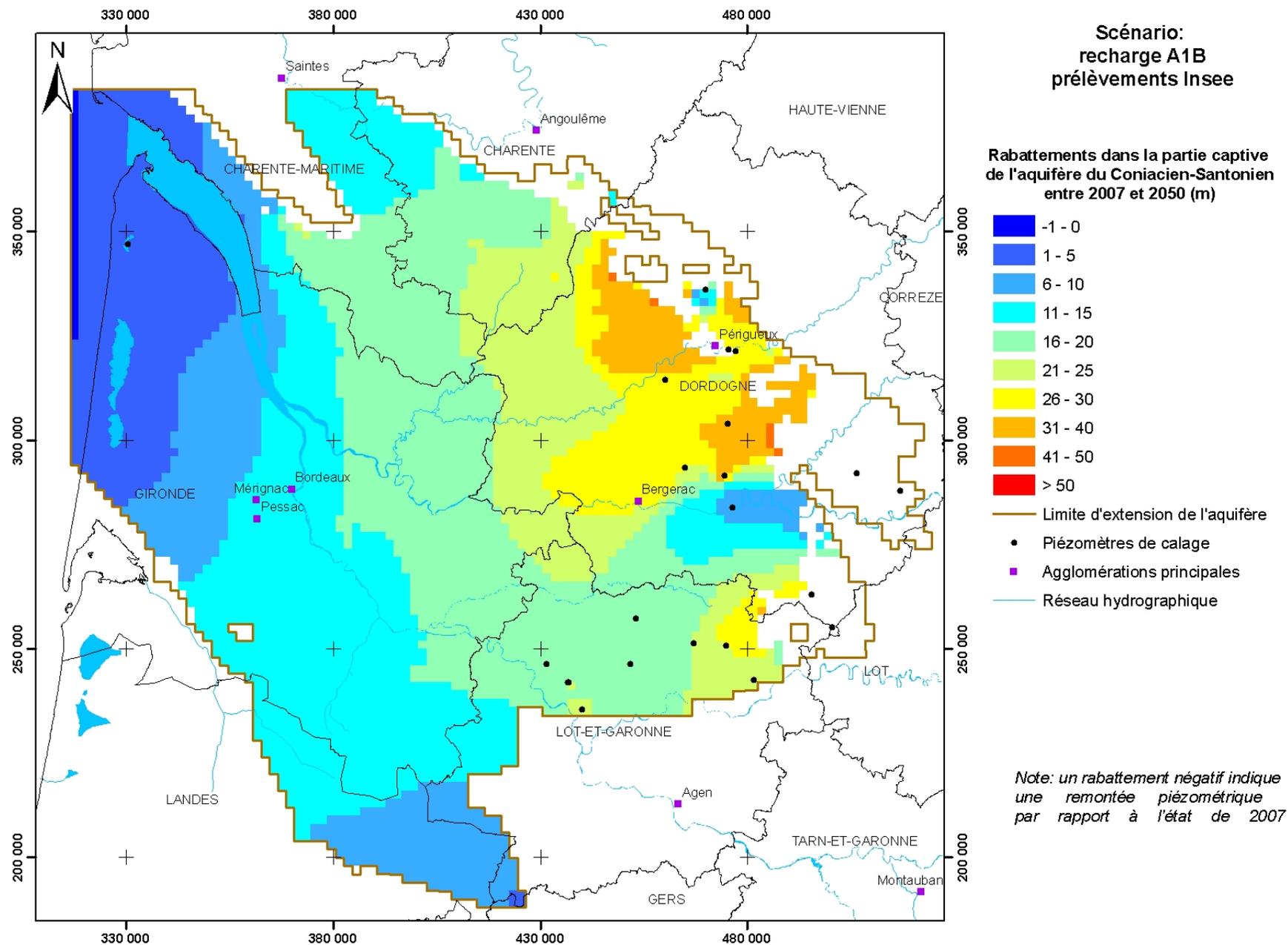




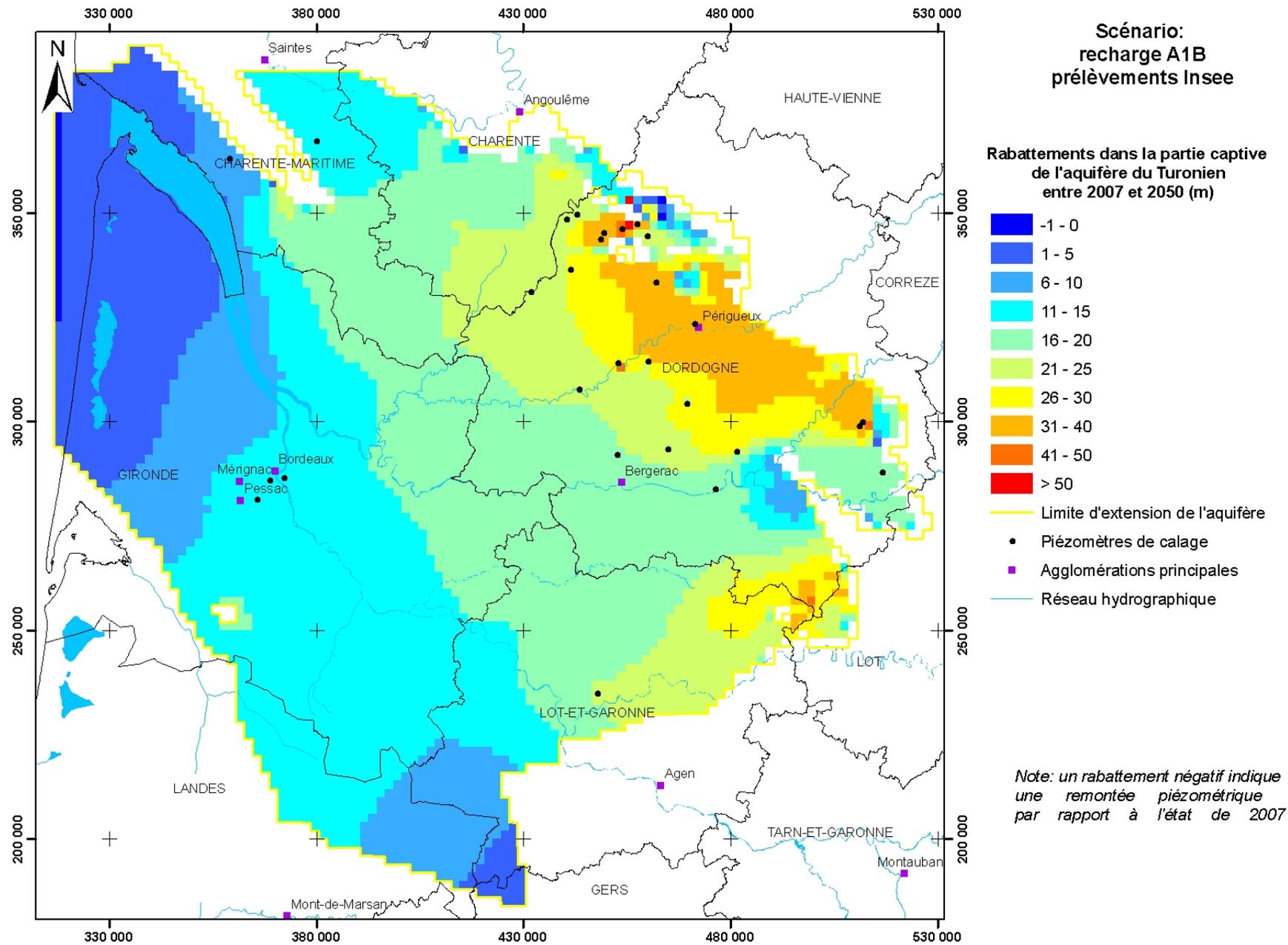


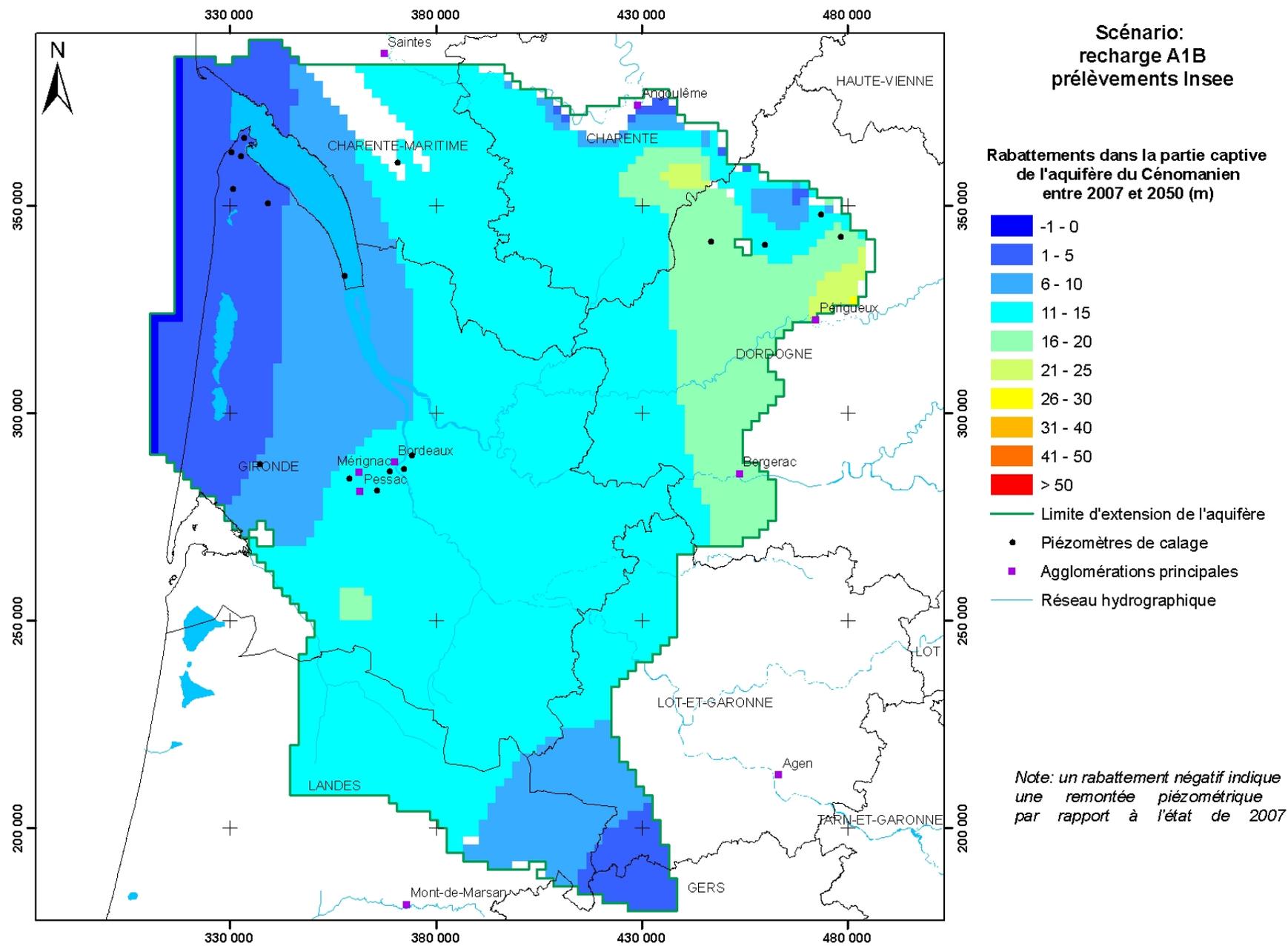
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



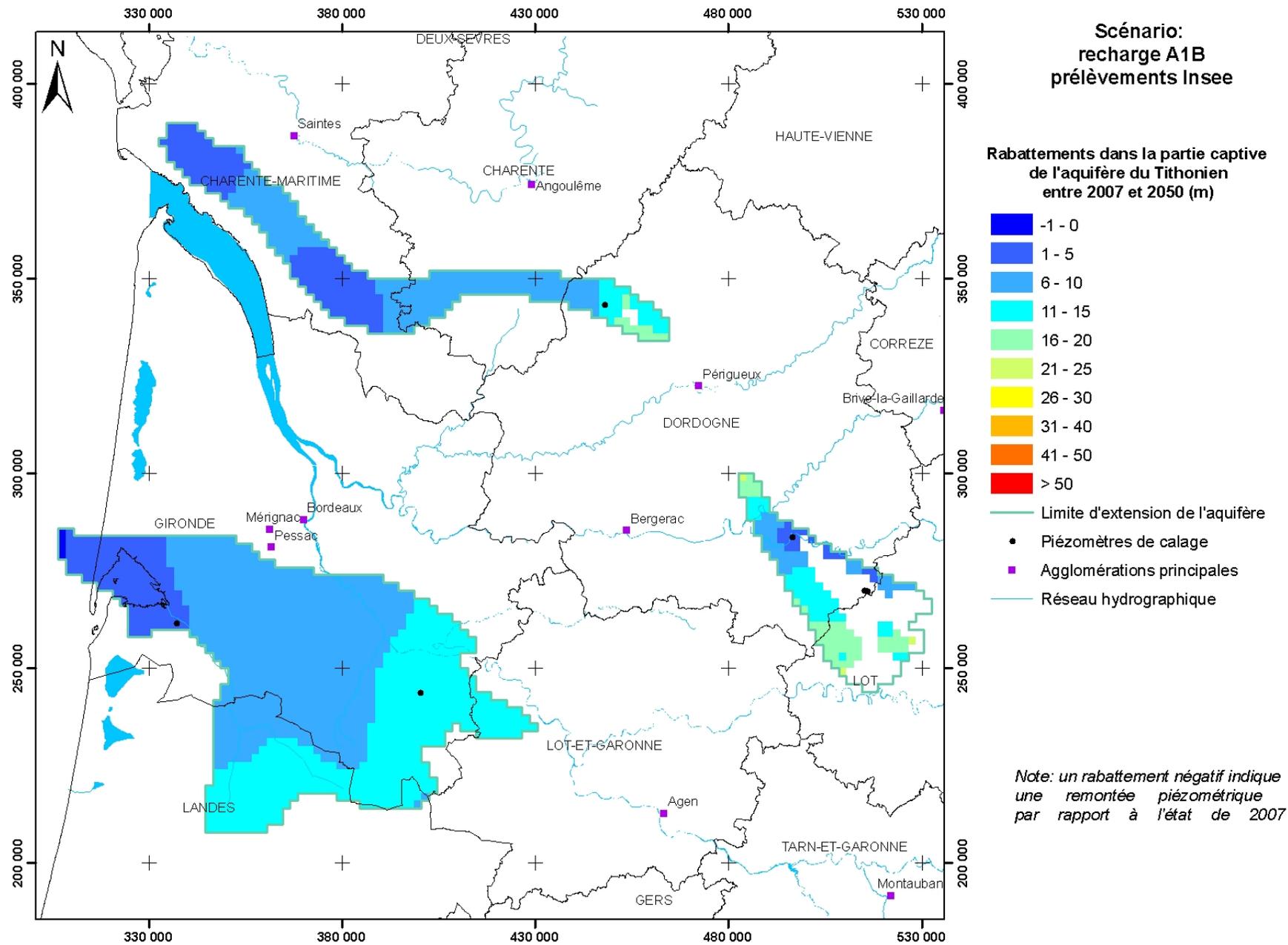


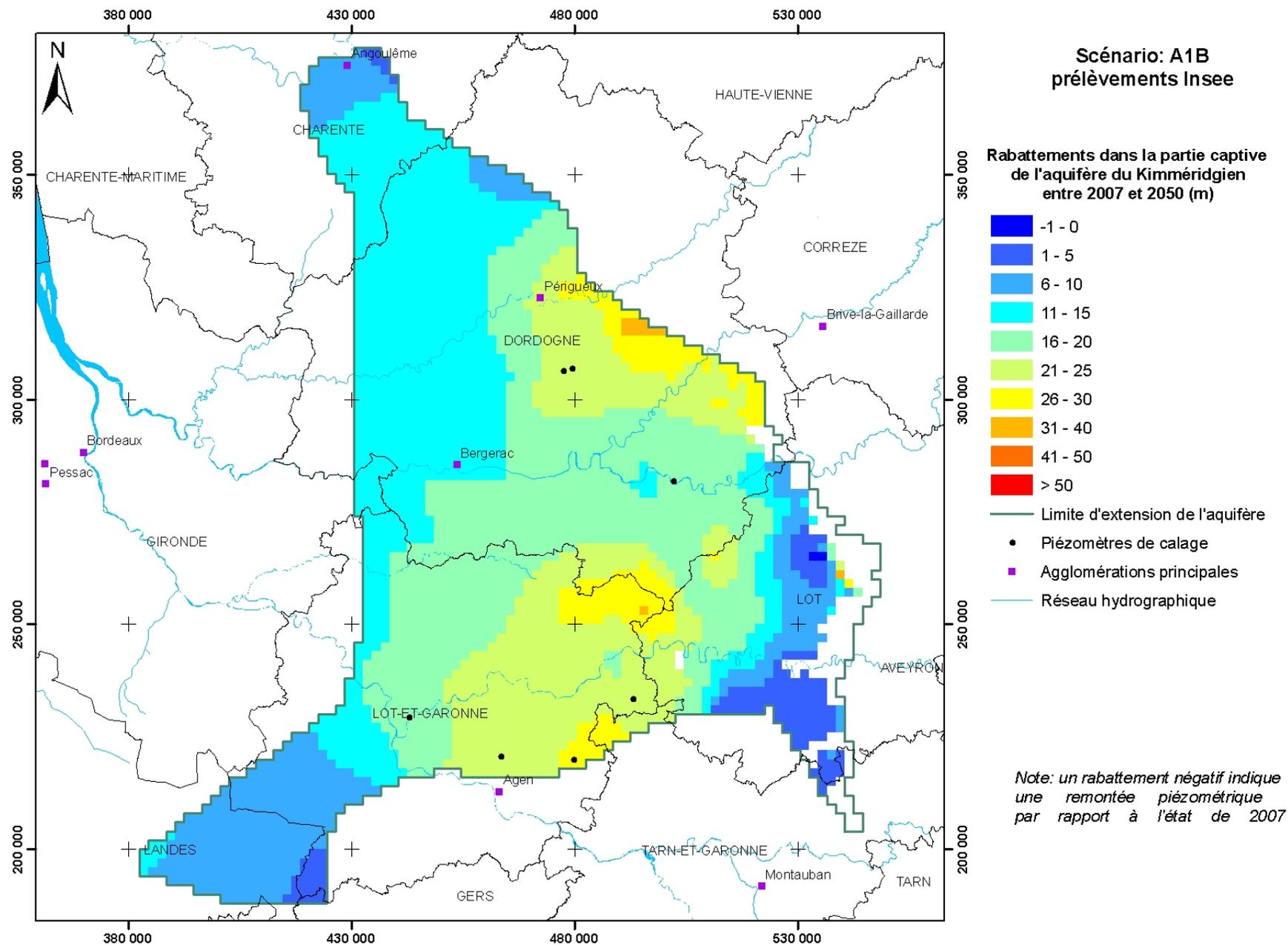
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



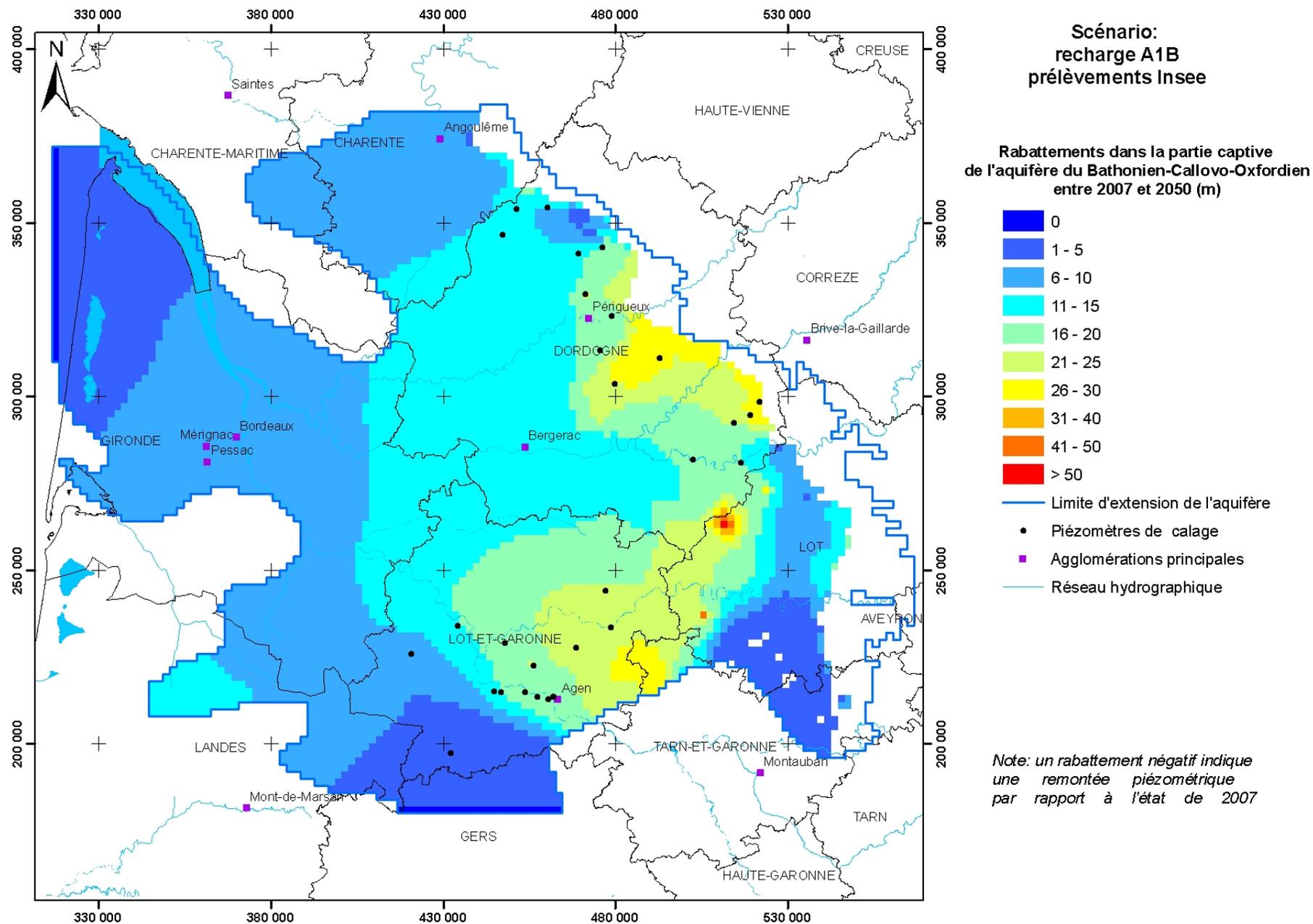


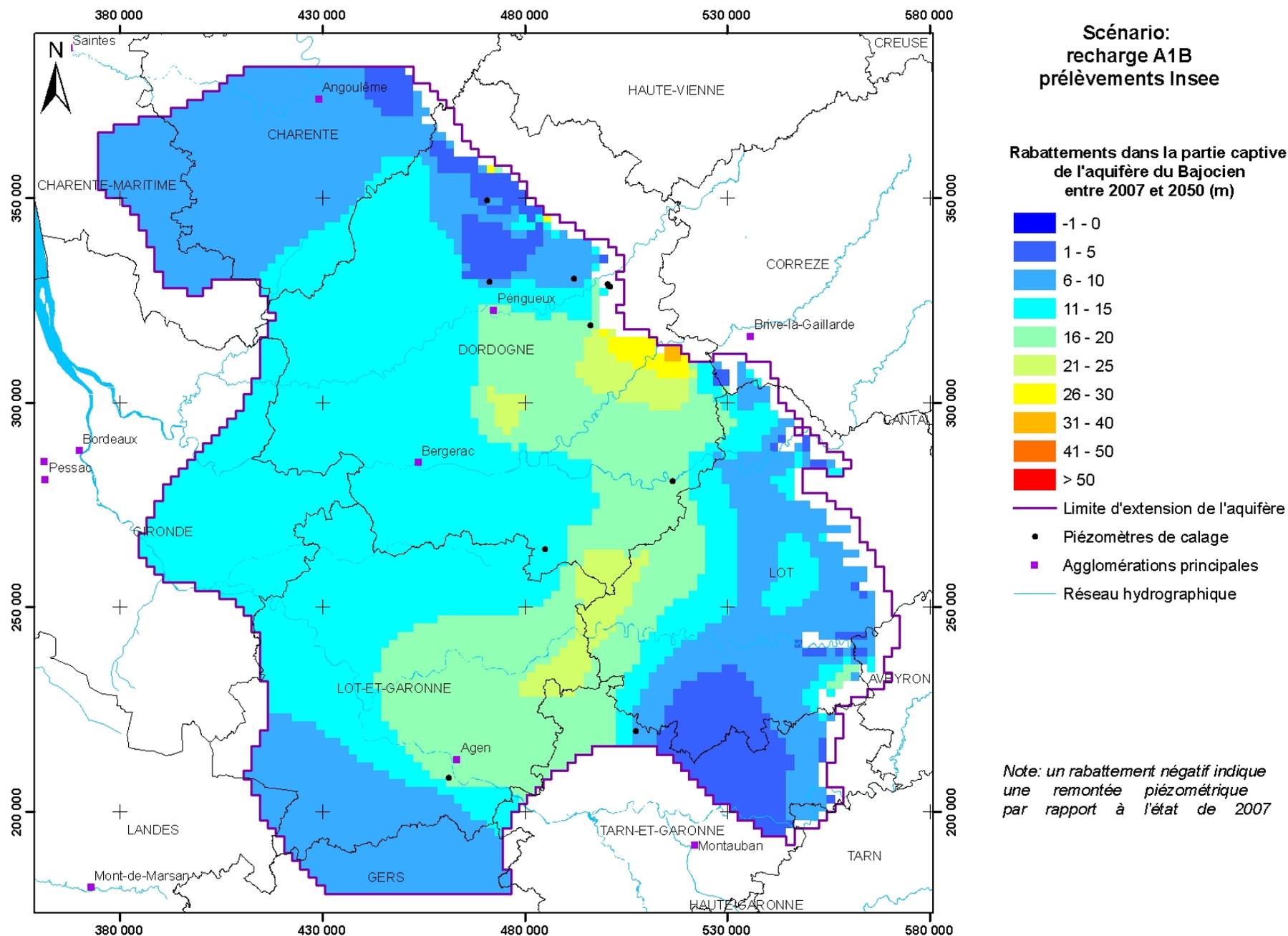
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains





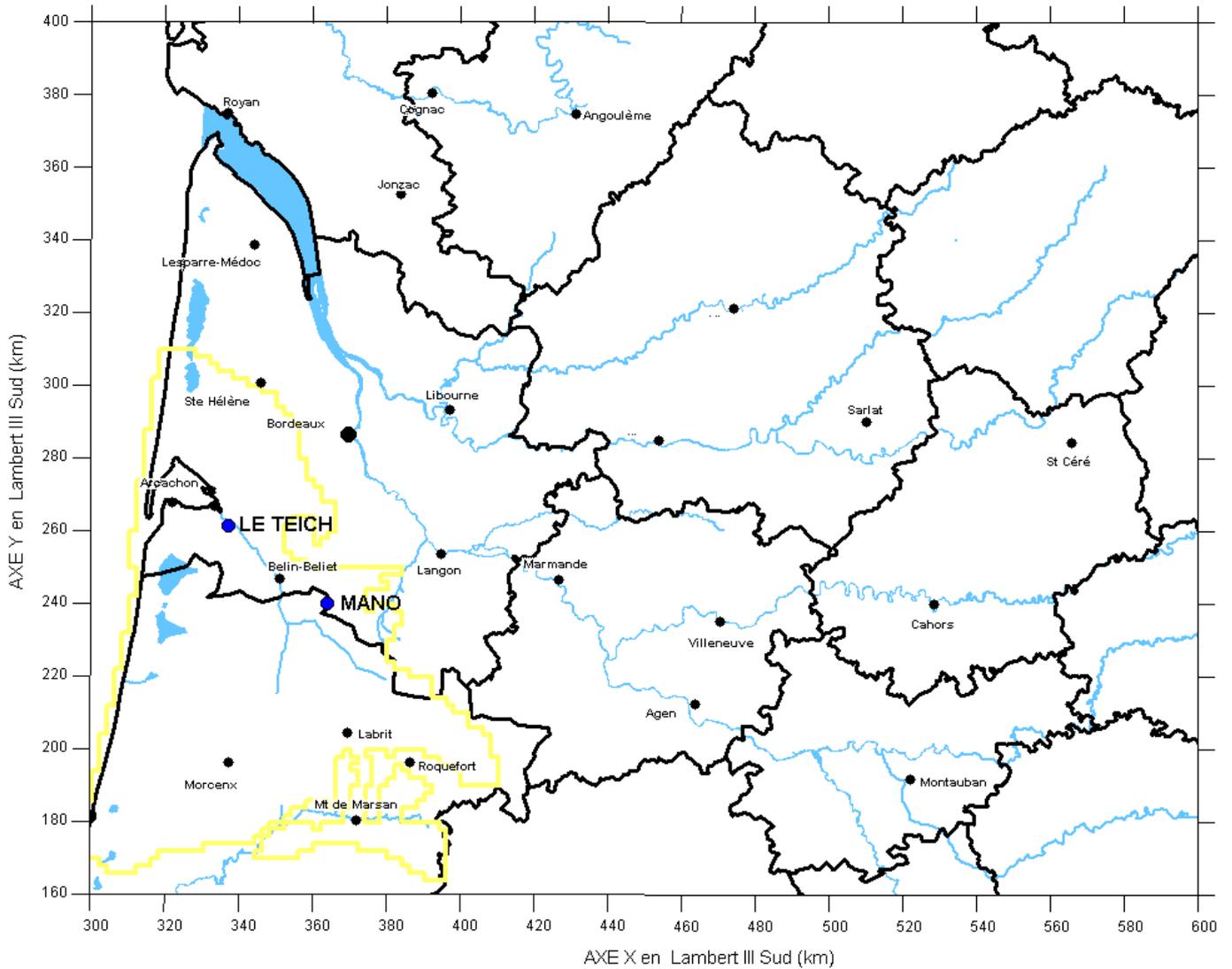
Contribution à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds nord-aquitains



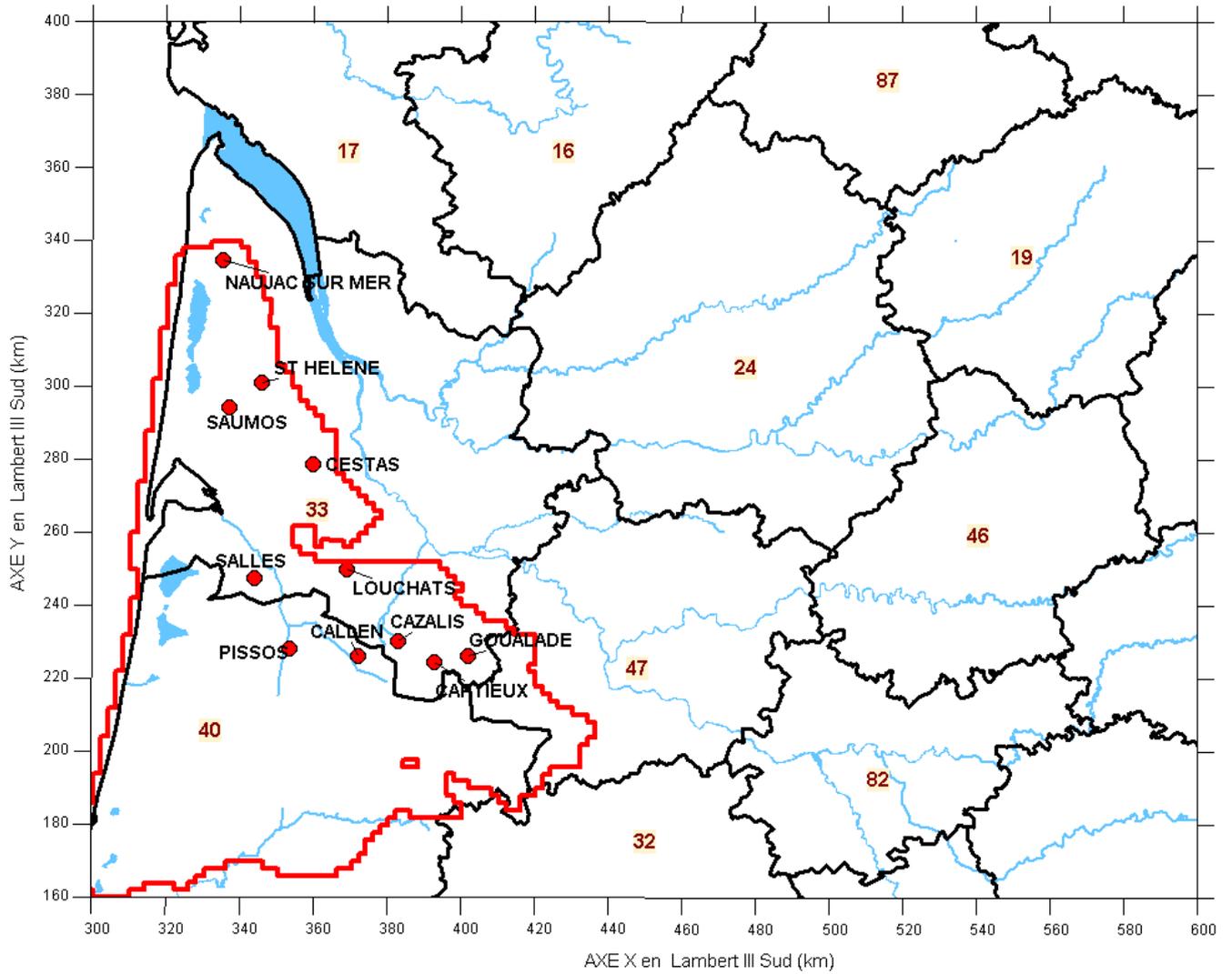


Annexe 12

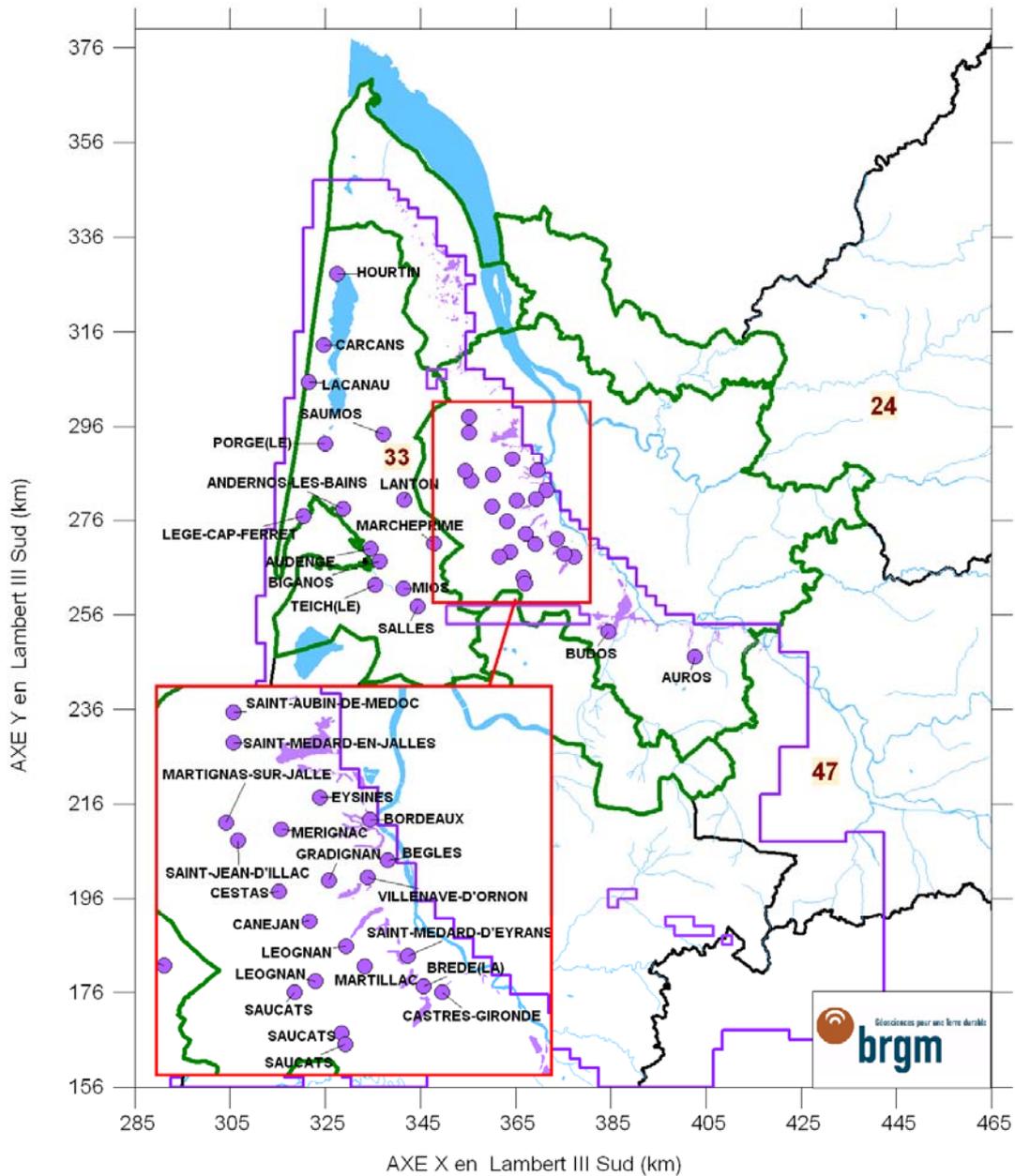
Cartes de localisation des chroniques piézométriques utilisées pour le calage du MONA



Carte de localisation des chroniques de calage de l'Helvétien (MNA-HELV)

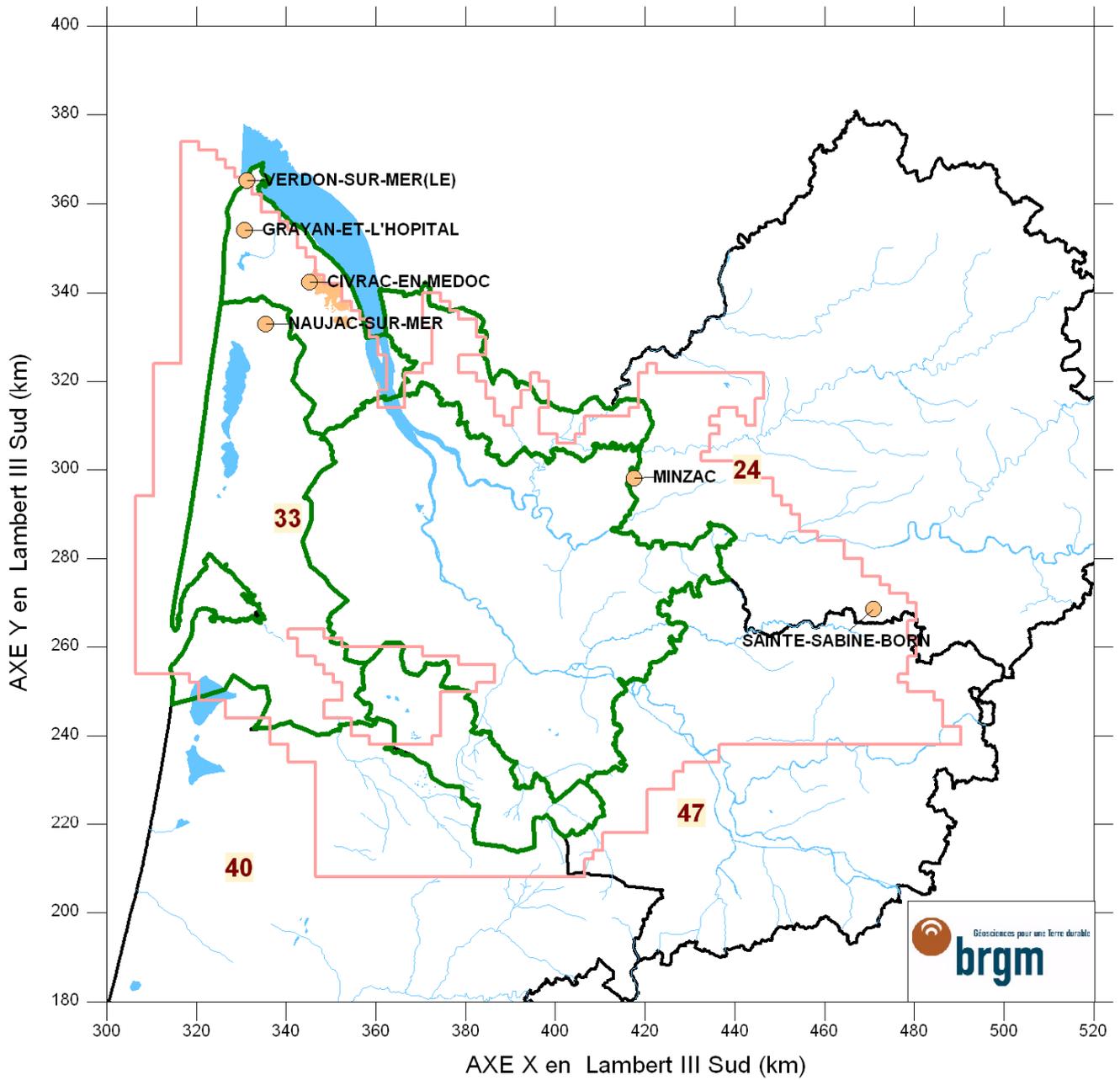


Carte de localisation des chroniques de calage de l'Aquitainien-Burdigalien (MNA-AQUI)



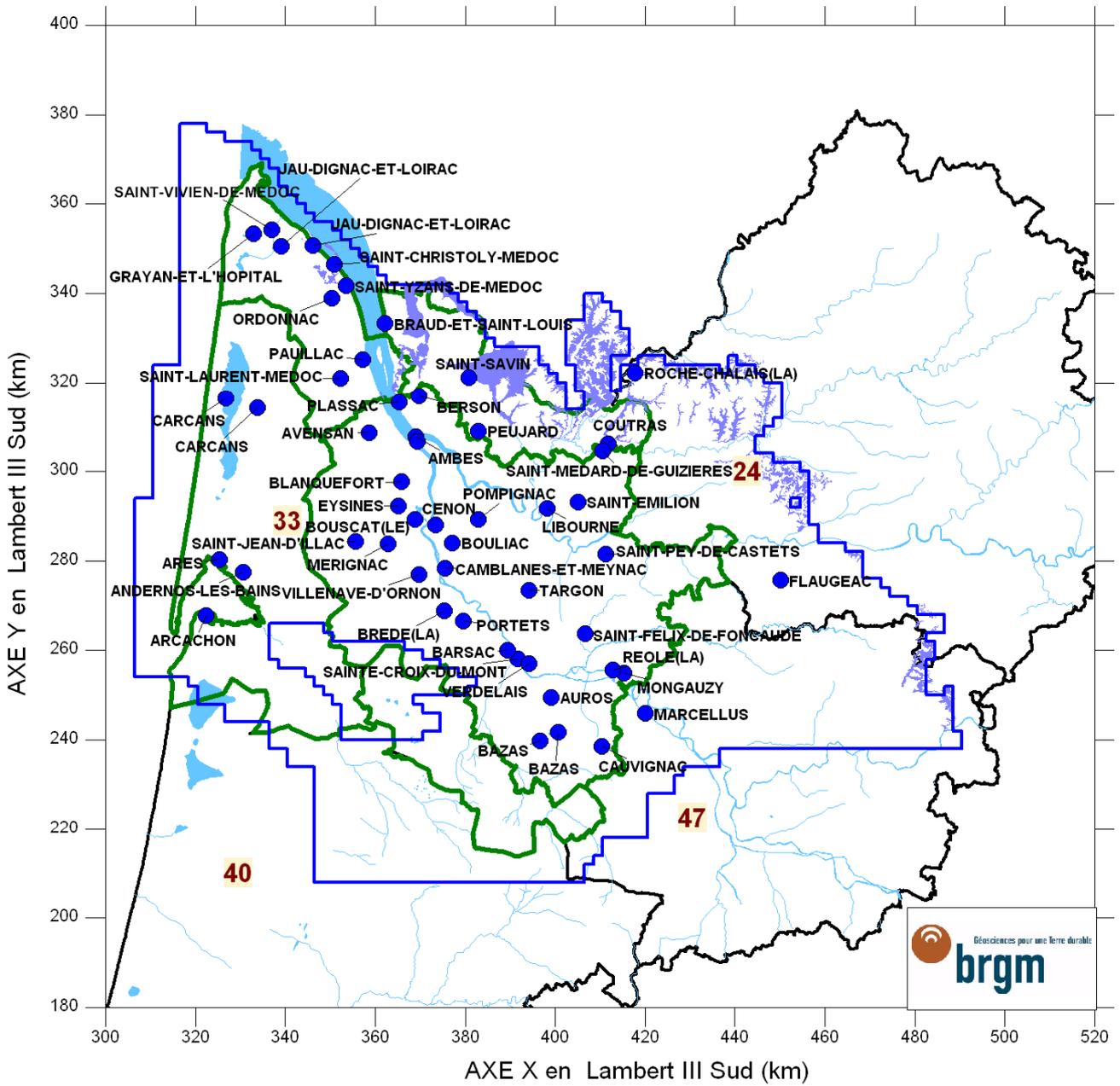
Unités de gestion (UG) du SAGE Nappes Profondes de Gironde

Carte de localisation des chroniques de calage de l'Oligocène (MNA-OLIGNP)



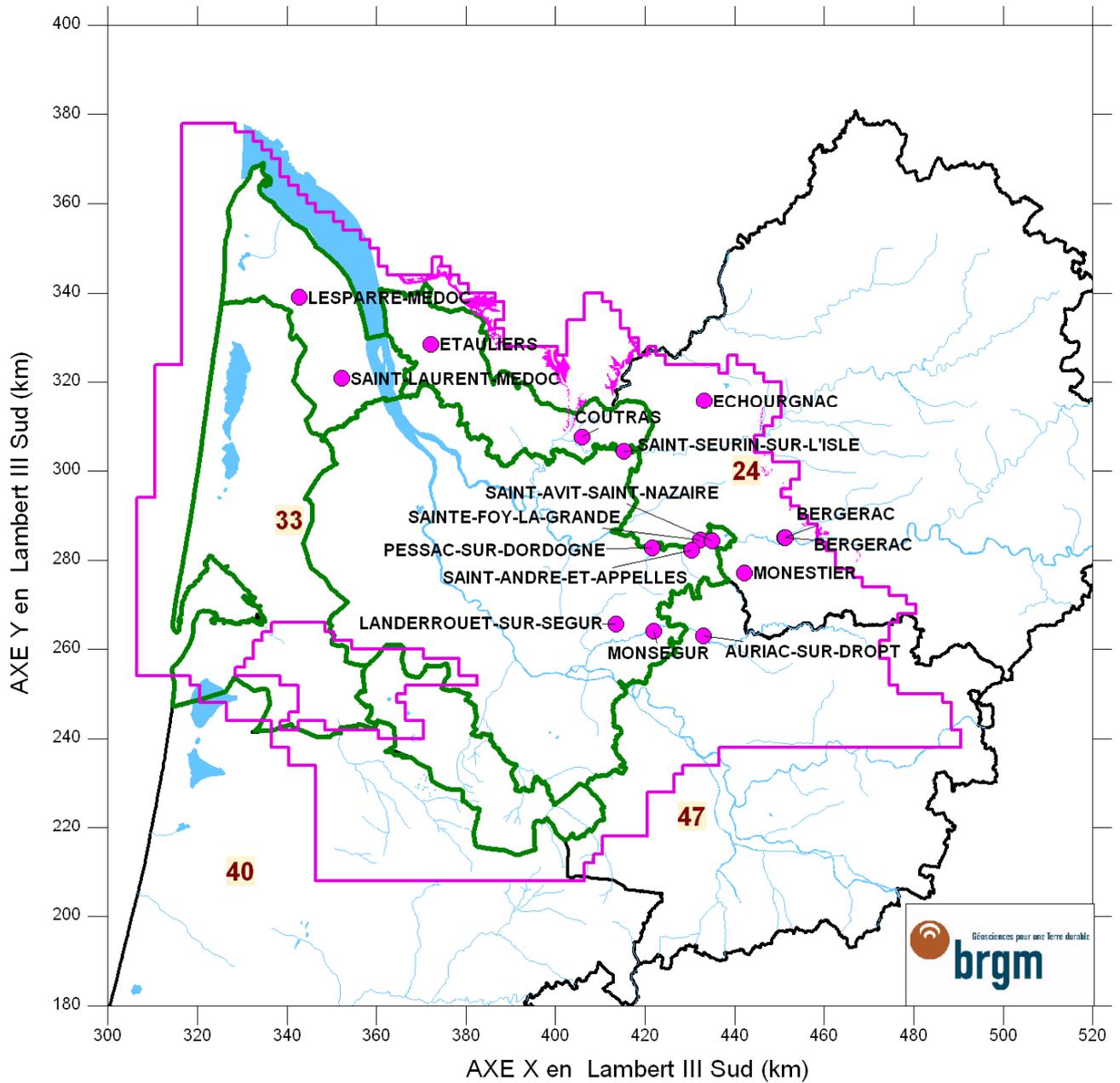
Unités de gestion (UG) du SAGE Nappes Profondes de Gironde

Carte de localisation des chroniques de calage de l'Eocène supérieur (MNA-EOCS)



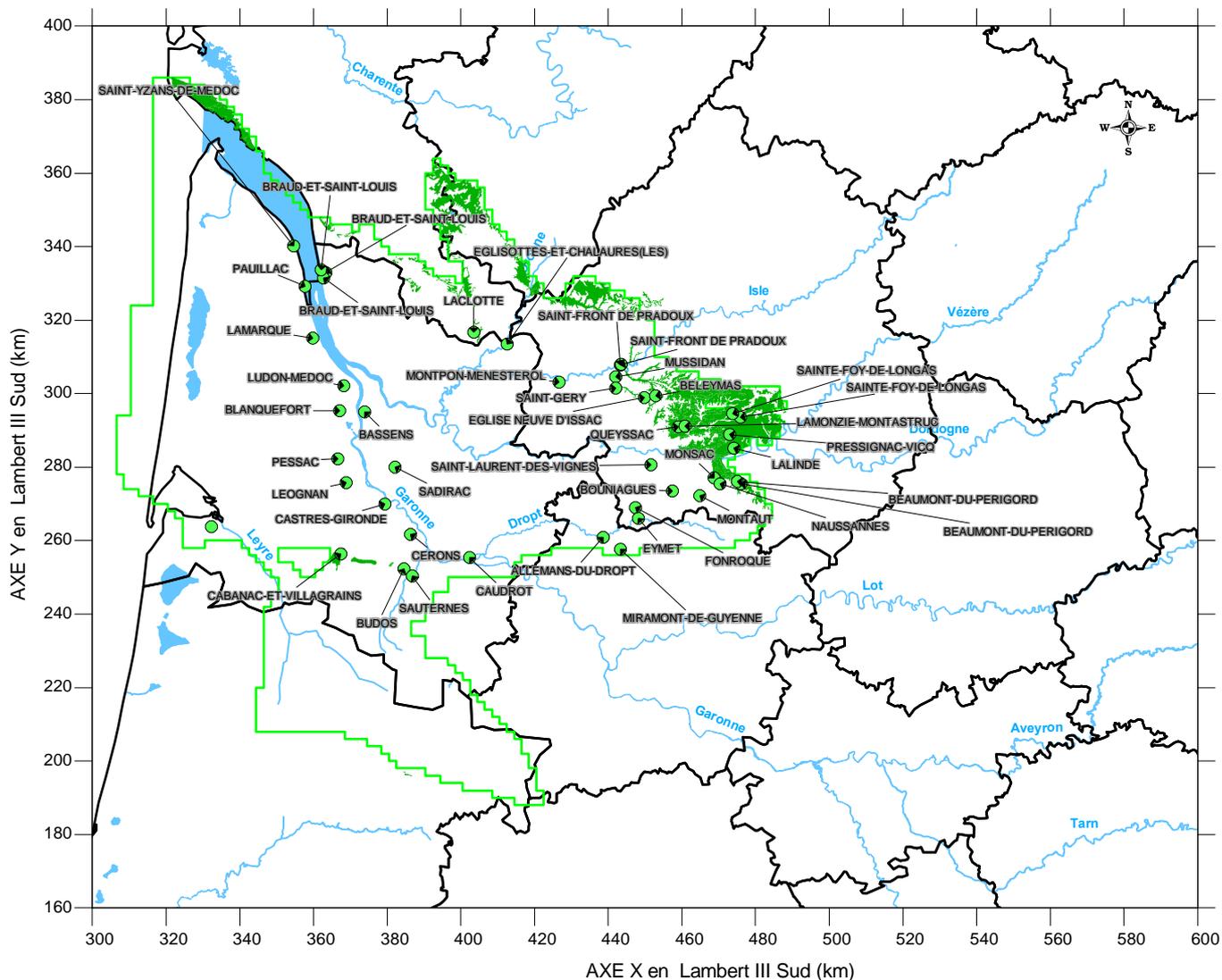
Unités de gestion (UG) du SAGE Nappes Profondes de Gironde

Carte de localisation des chroniques de calage de l'Eocène moyen (MNA-EOCM)



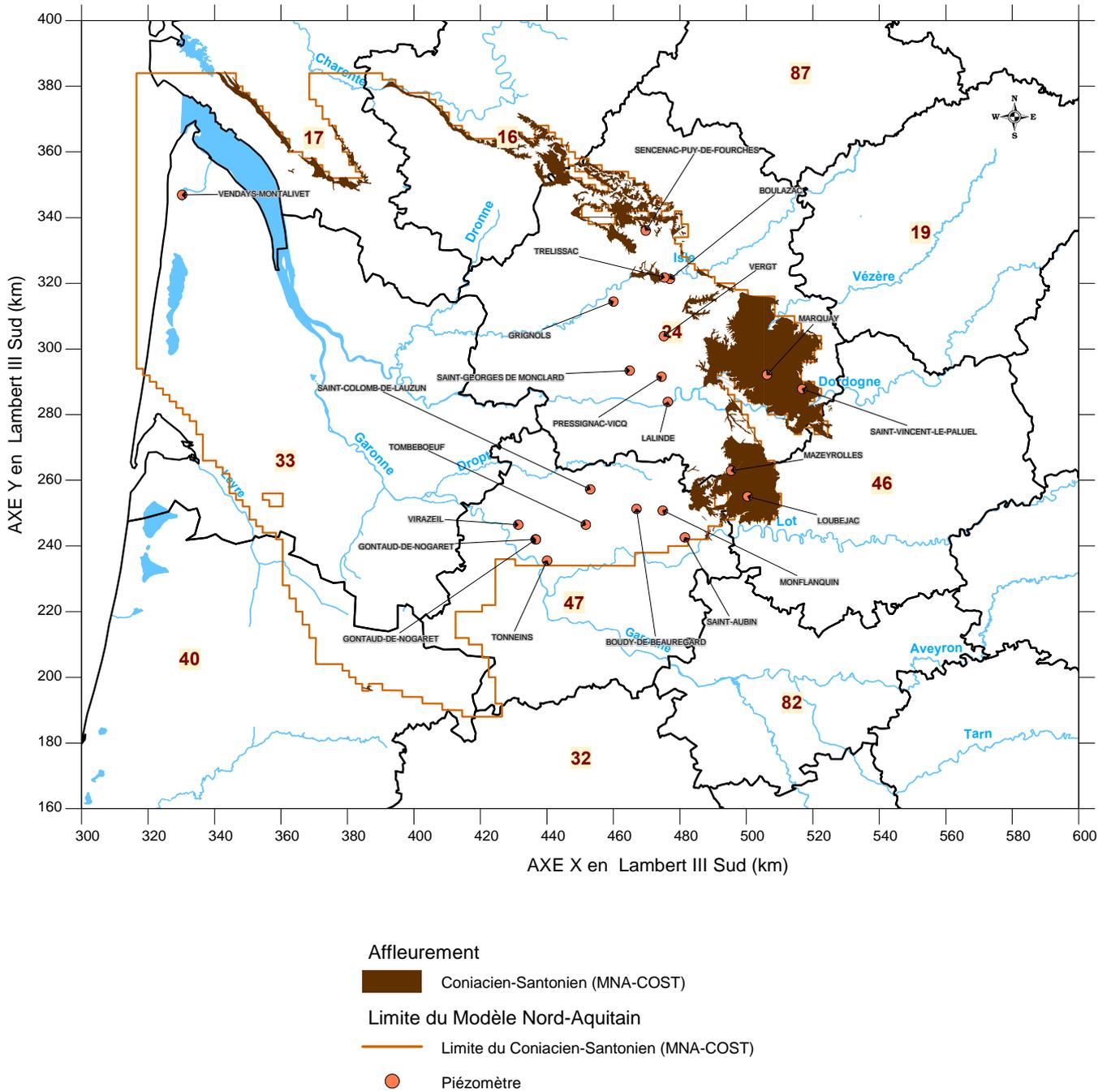
Unités de gestion (UG) du SAGE Nappes Profondes de Gironde

Carte de localisation des chroniques de calage de l'Eocène inférieur (MNA-EOCI)

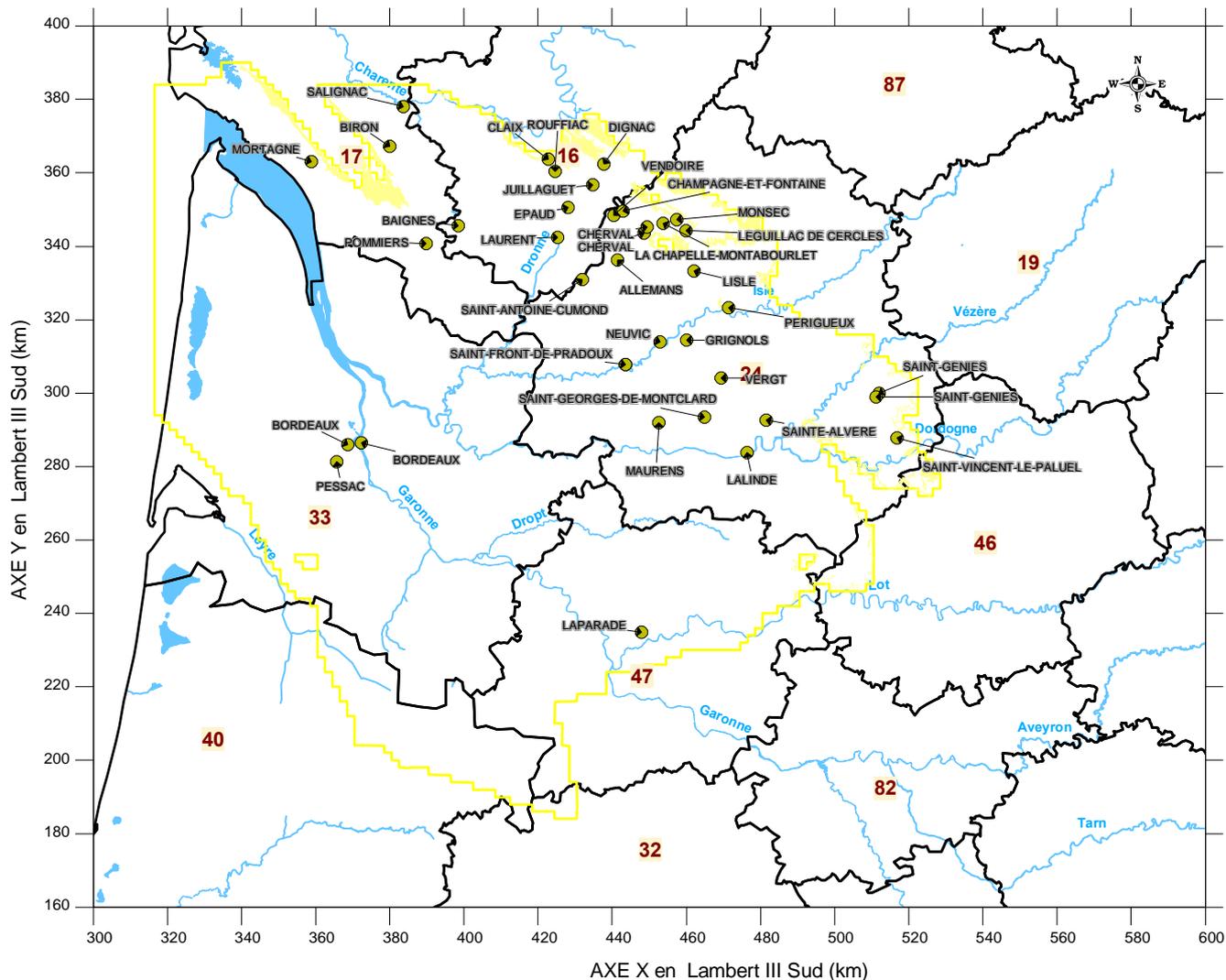


- Affleurement
- Campanien (MNA-CAMP)
- Limite du Modèle Nord-Aquitain
- Limite du Campanien (MNA-CAMP)

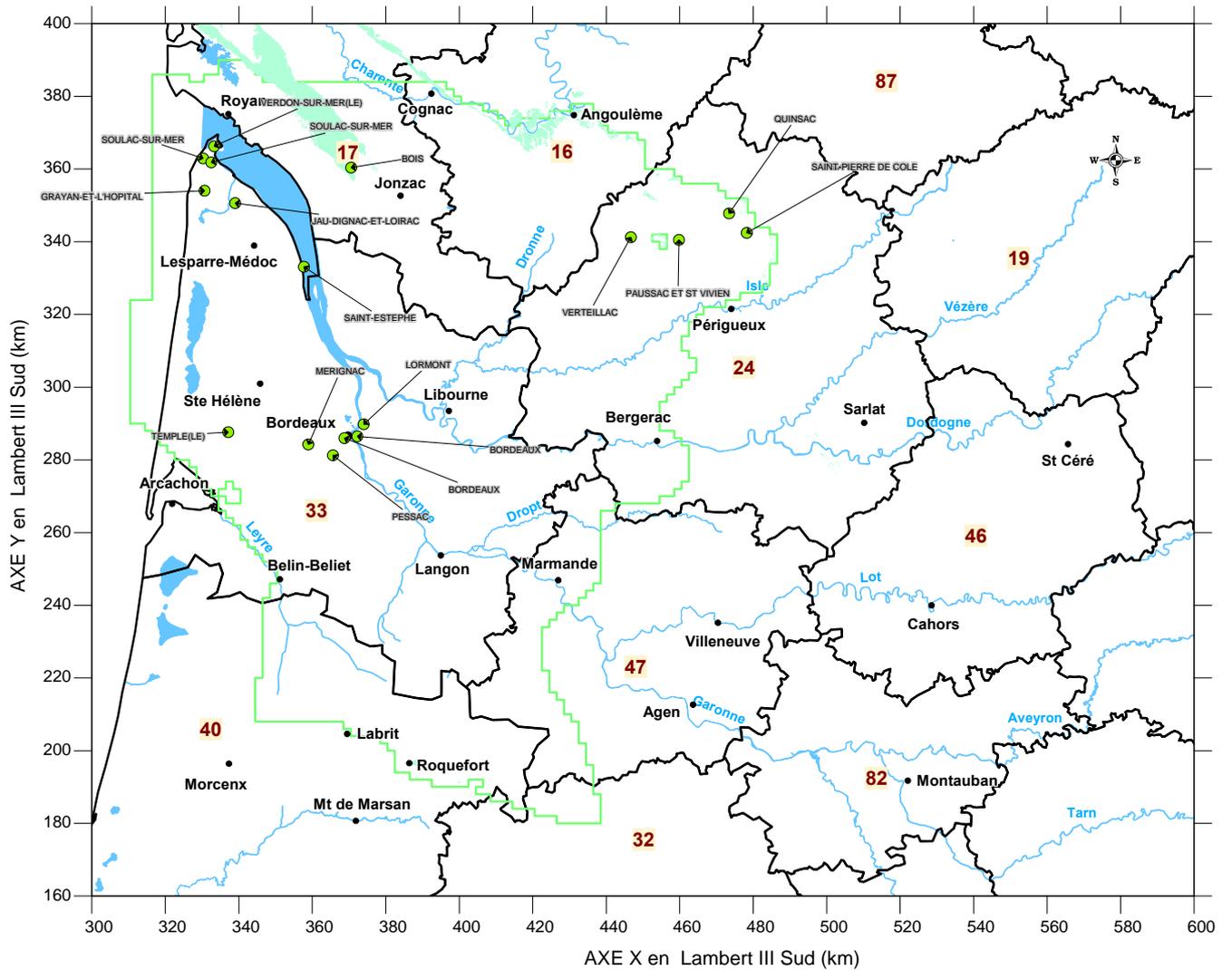
Carte de localisation des chroniques de calage du Campano-Maastrichtien (MNA-CAMP)



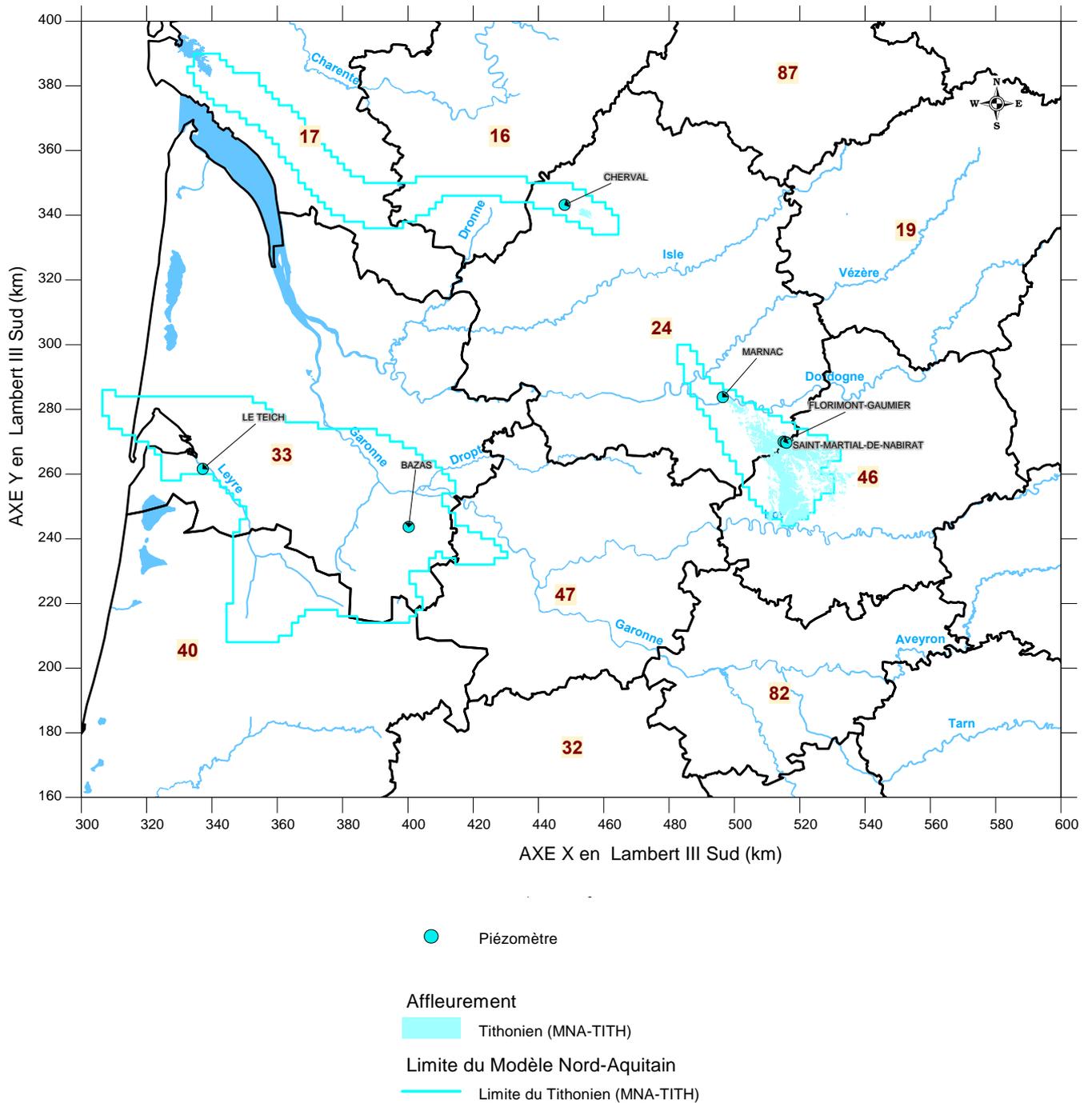
Carte de localisation des chroniques de calage du Coniacien-Santonien (MNA-COST)



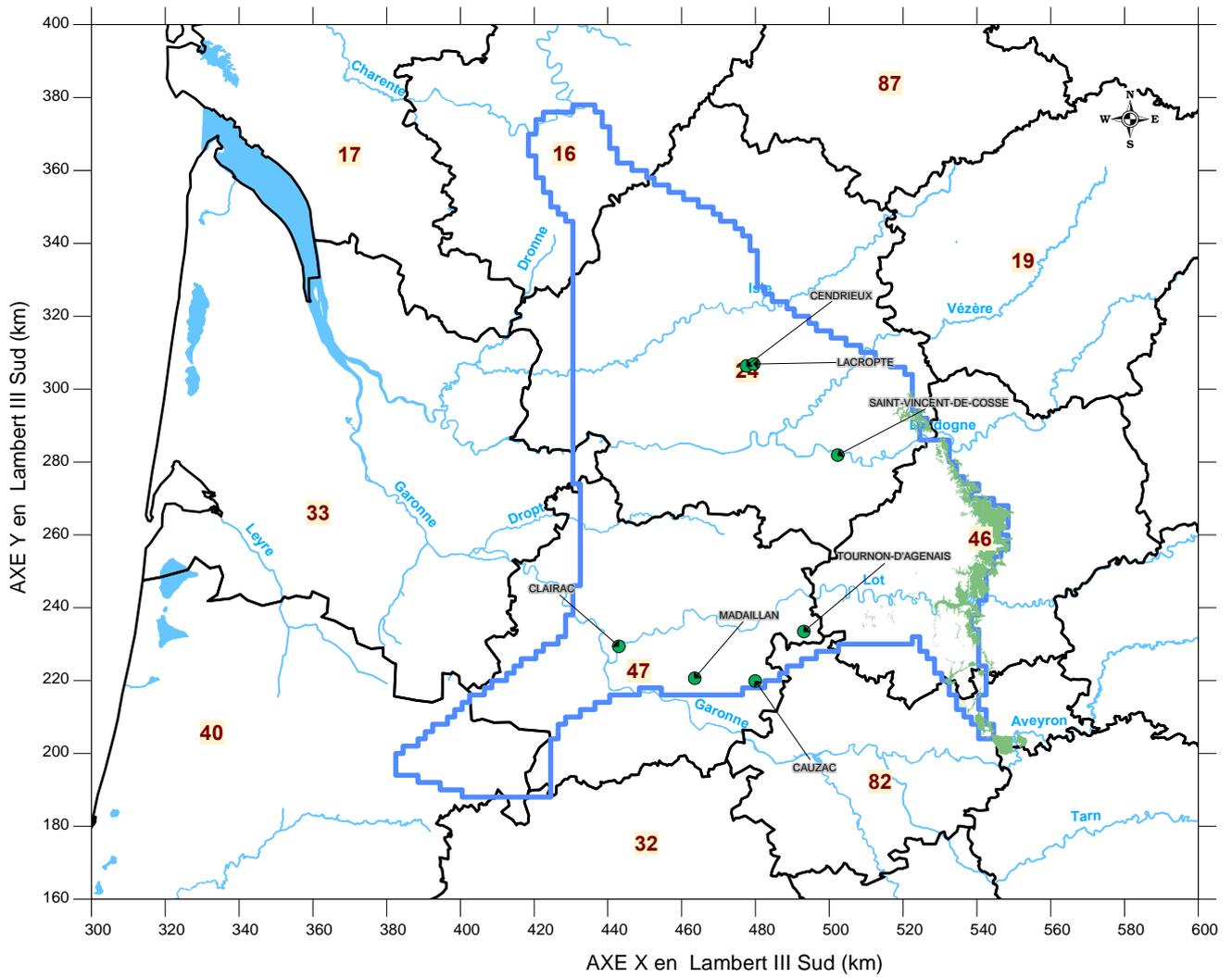
Carte de localisation des chroniques de calage du Turonien (MNA-TURO)



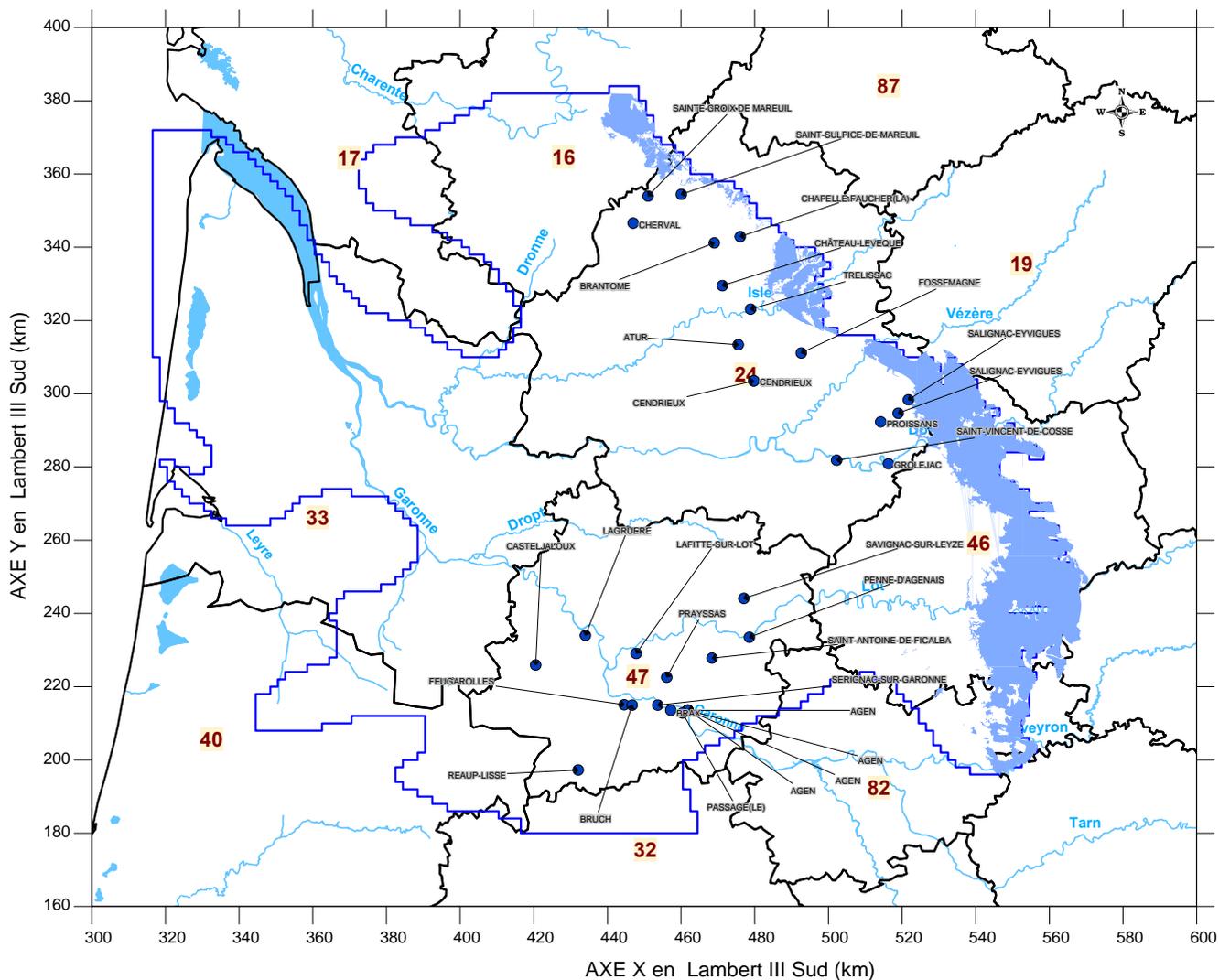
Carte de localisation des chroniques de calage du Cénomanien (MNA-CENO)



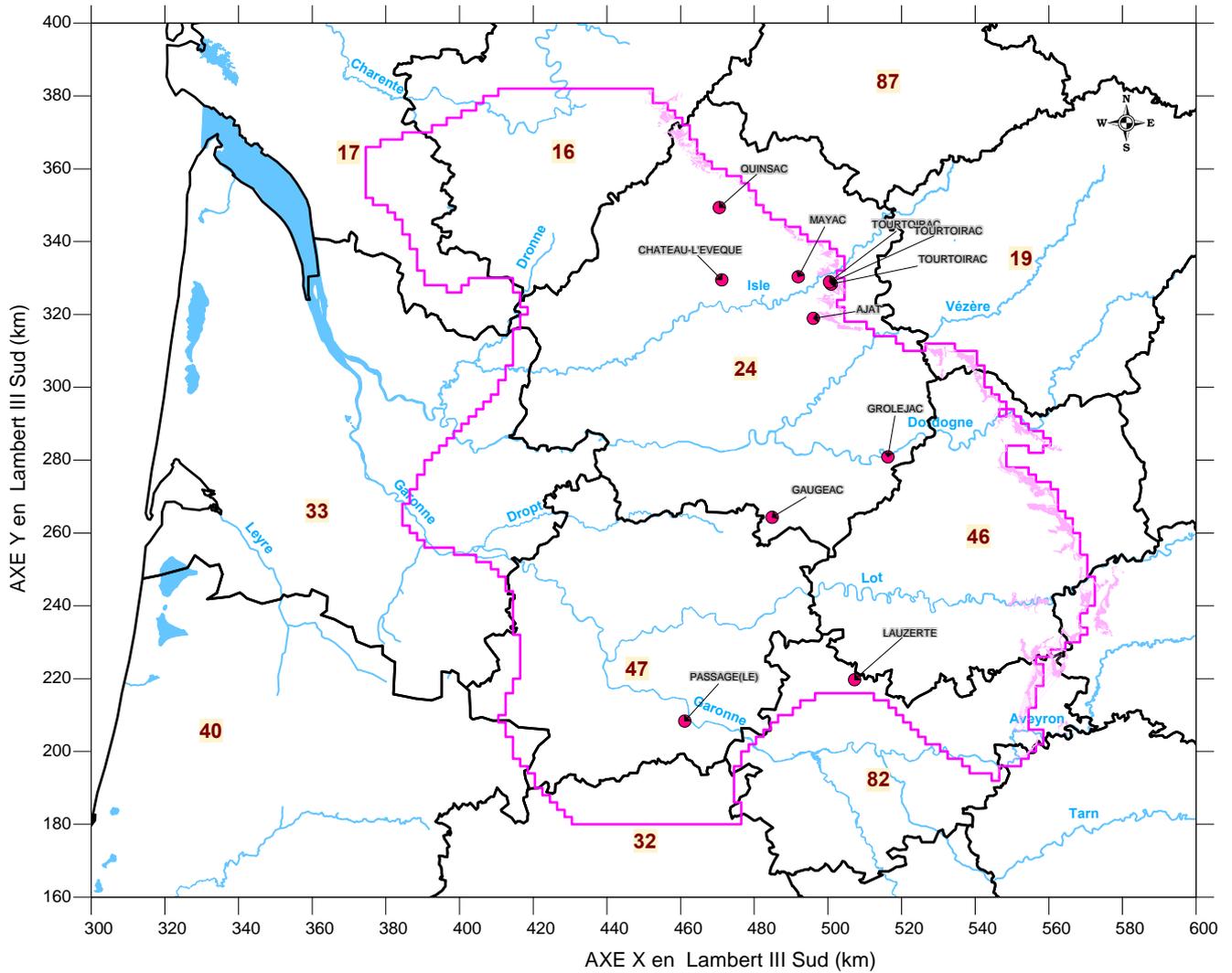
Carte de localisation des chroniques de calage du Tithonien (MNA-TITH)



Carte de localisation des chroniques de calage du Kimméridgien (MNA-KIMM)



Carte de localisation des chroniques de calage du Bathonien-Callovo-Oxfordien (MNA-BACX)



Affleurement

Bajocien (MNA-BAJO)

Limite du Modèle Nord-Aquitain

Limite du Bajocien (MNA-BAJO)

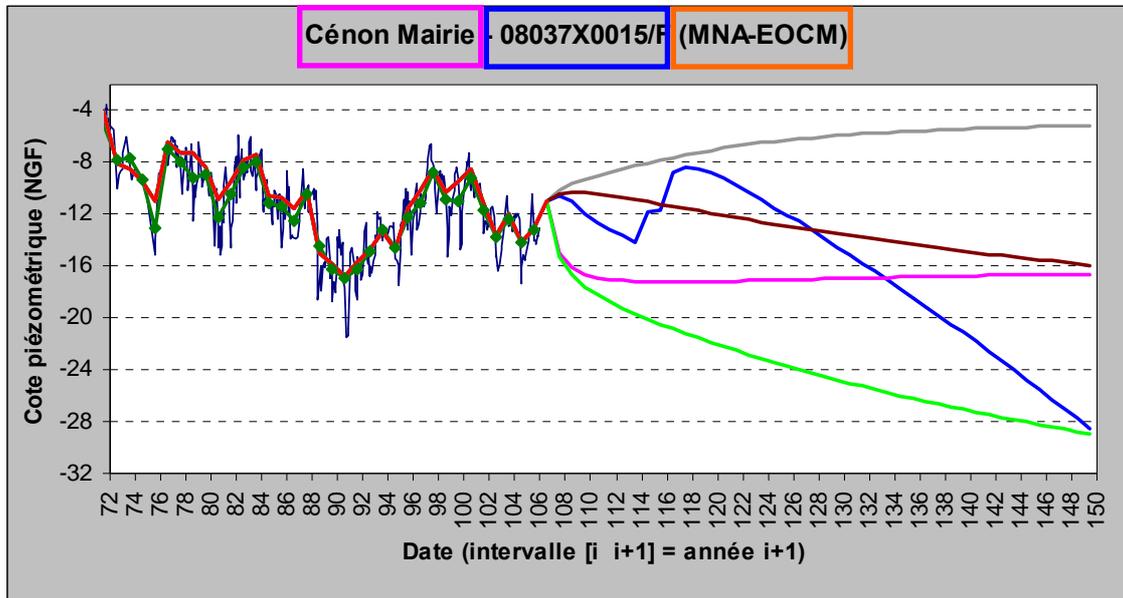
Piézomètre

Carte de localisation des chroniques de calage du Bajocien (MNA-BAJO)

Annexe 13

Résultats des simulations sur une sélection de chroniques de calage du MONA

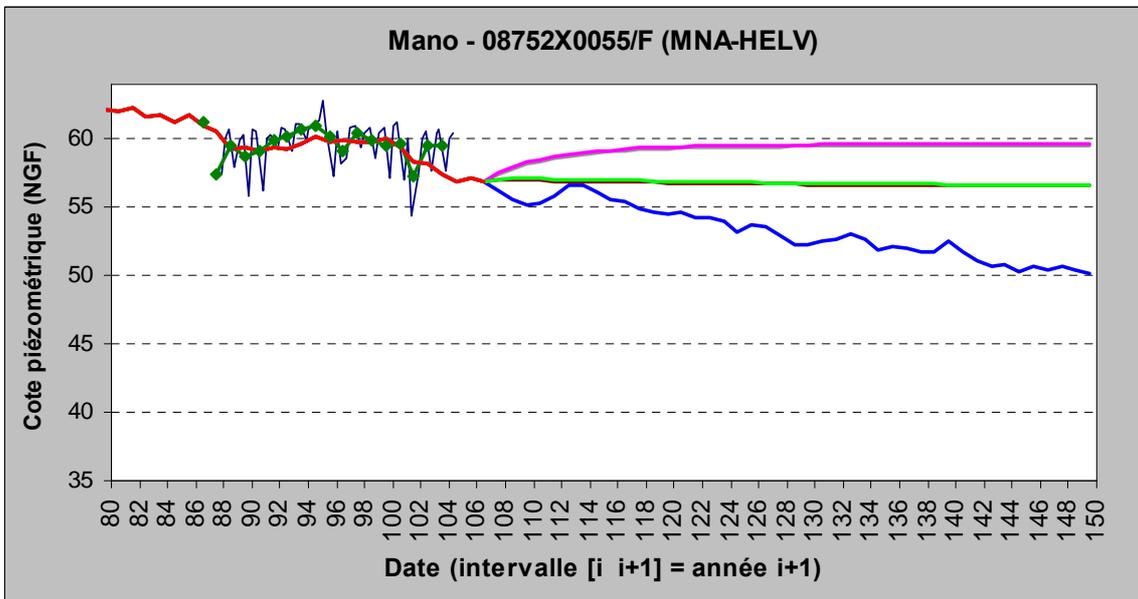
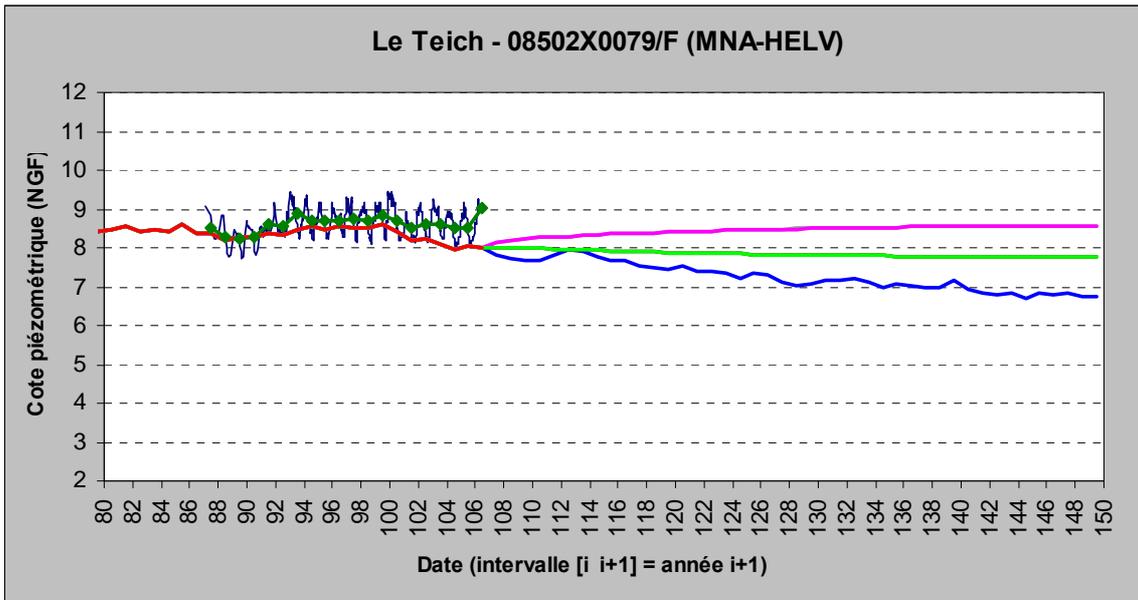
Légende :



- 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)**
- Scénario « R1981 + Q2007 » simulé sur la période 2008-2050
- Scénario « R1975 + Q2007 » simulé sur la période 2008-2050
- Scénario « R1981 + Q2003 » simulé sur la période 2008-2050
- Scénario « R1975 + Q2003 » simulé sur la période 2008-2050
- Scénario « GIEC A1B + QINSEE » simulé sur la période 2008-2050
- - - Charge hydraulique observée corrigée des effets de la température et de la salinité

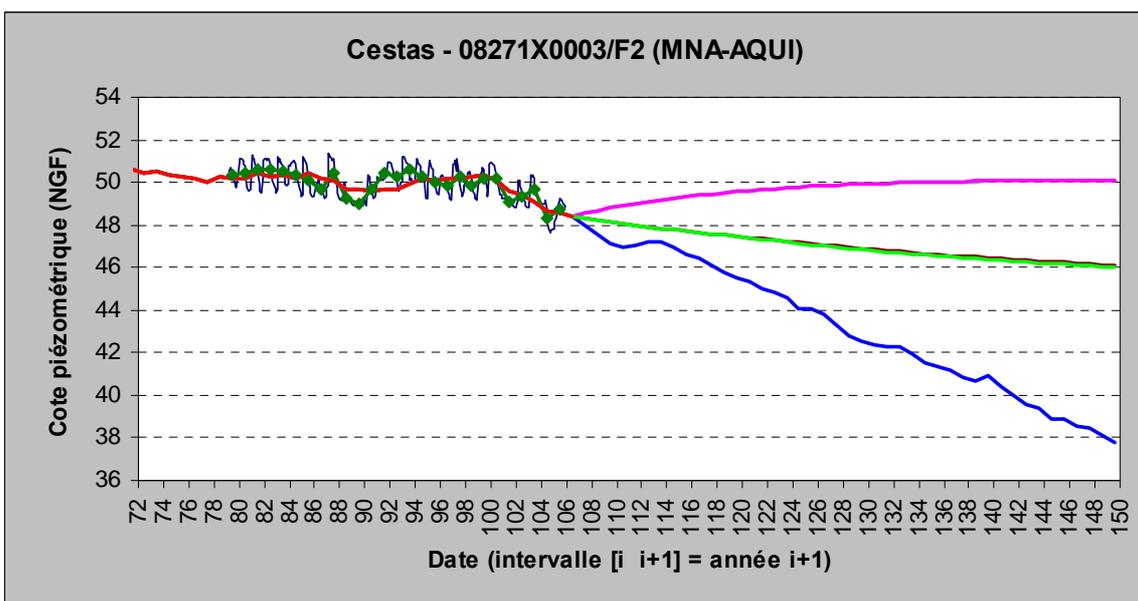
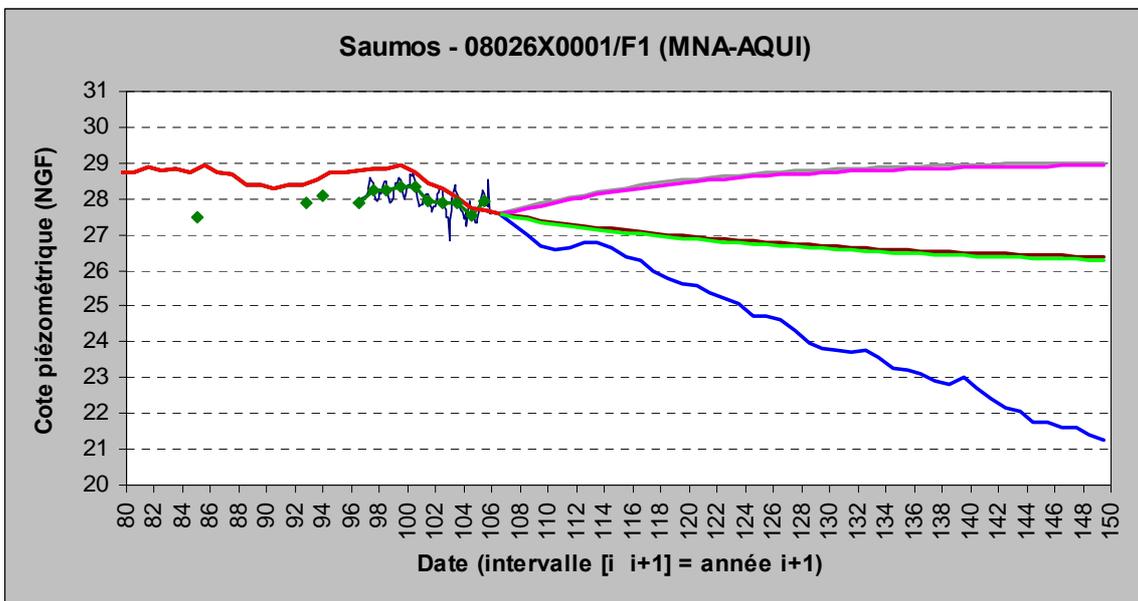
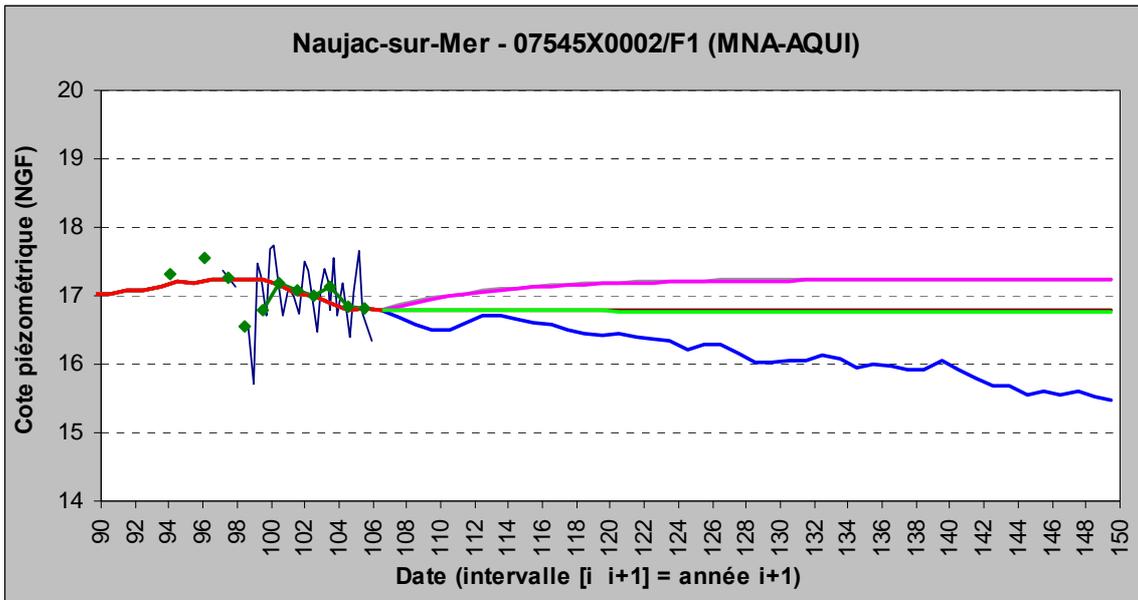
Nappe de l'Helvétien

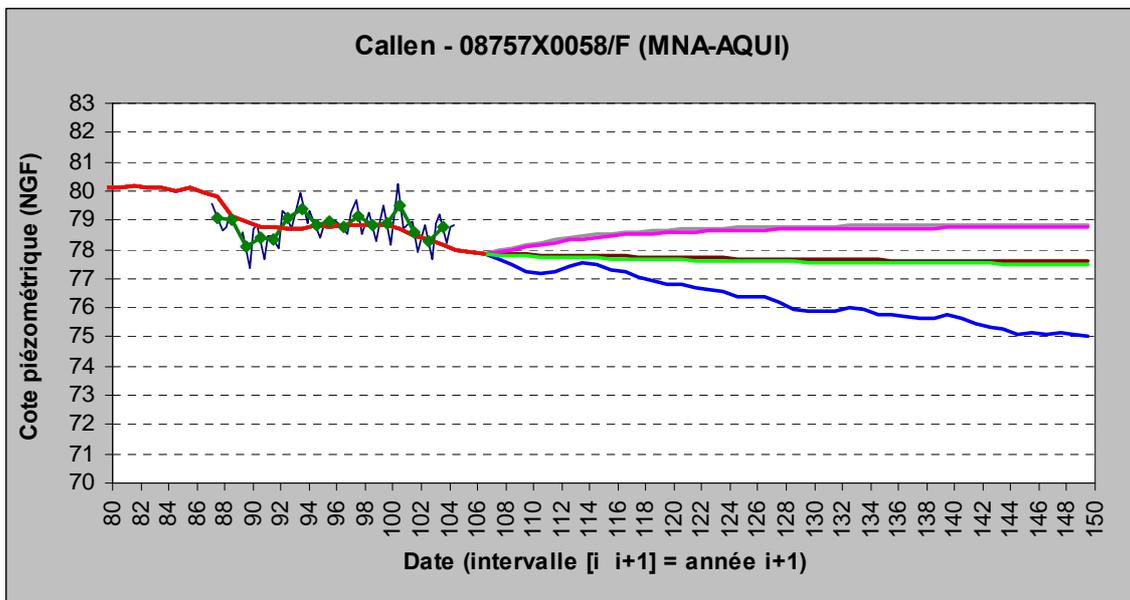
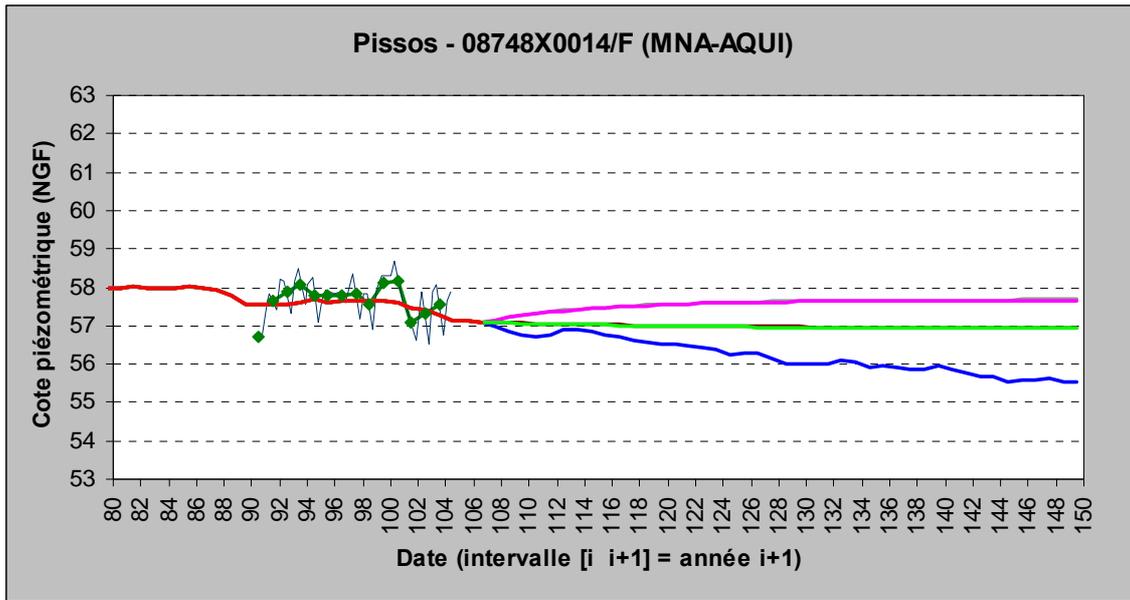
MNA-HELV

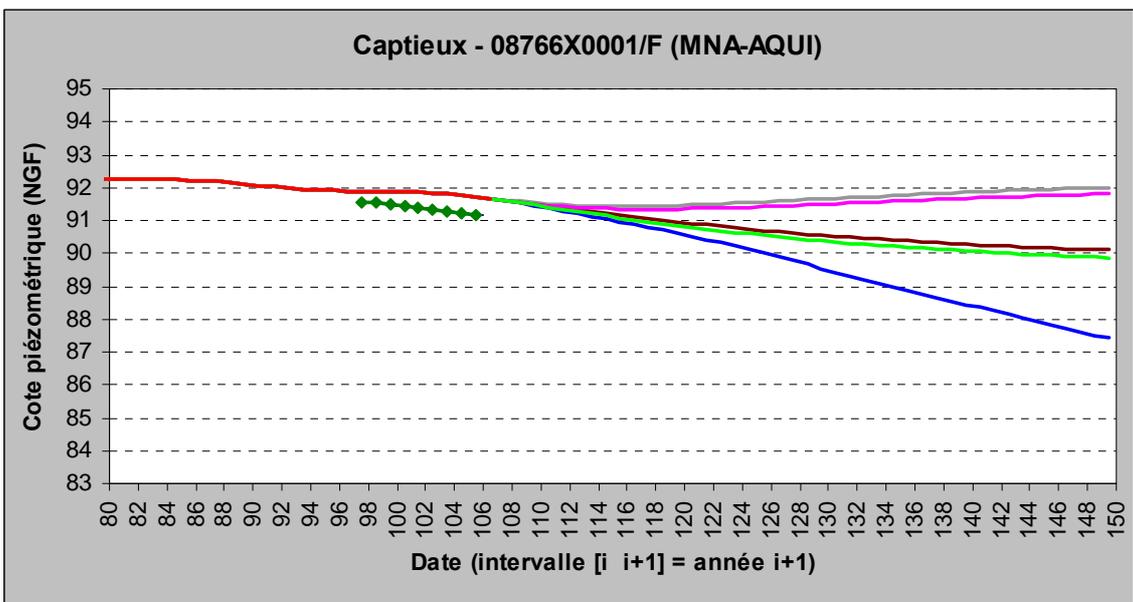


Nappe de l'Aquitanién Burdigalien

MNA-AQUI



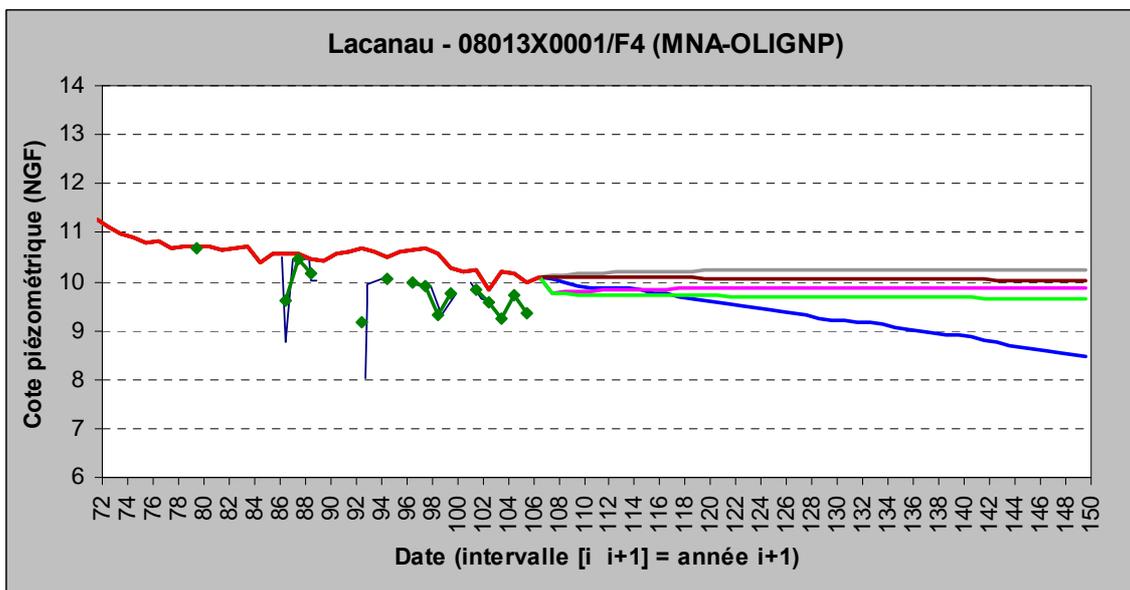
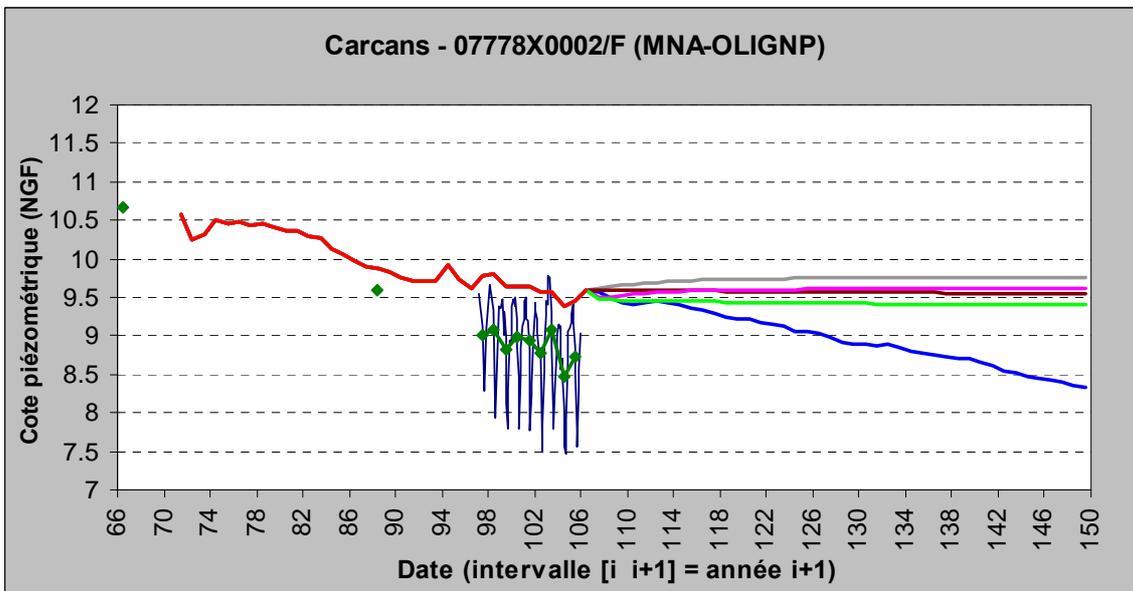
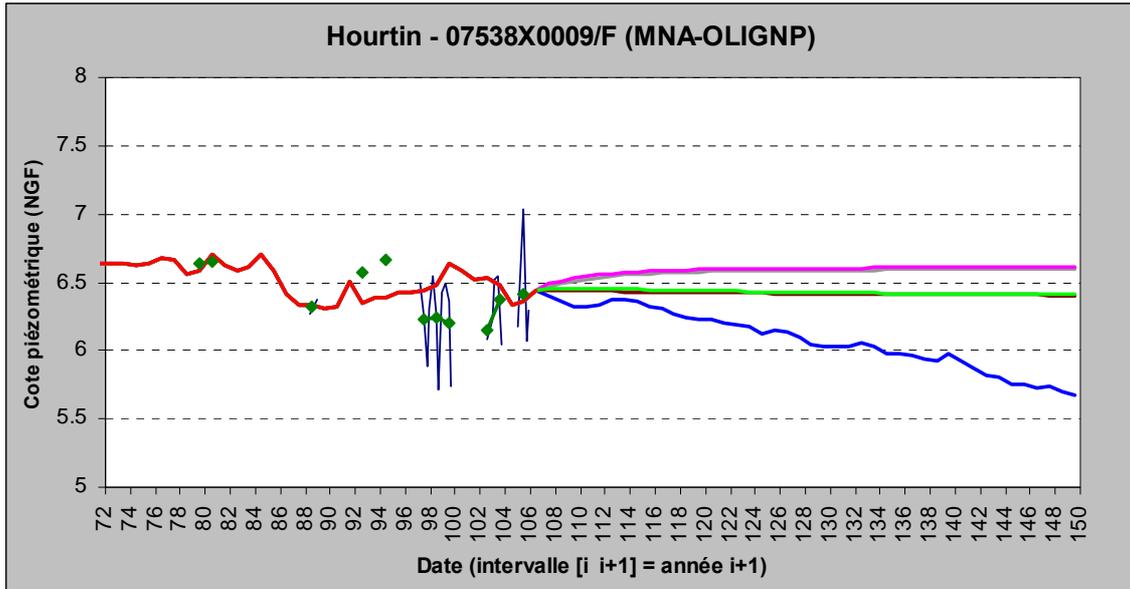


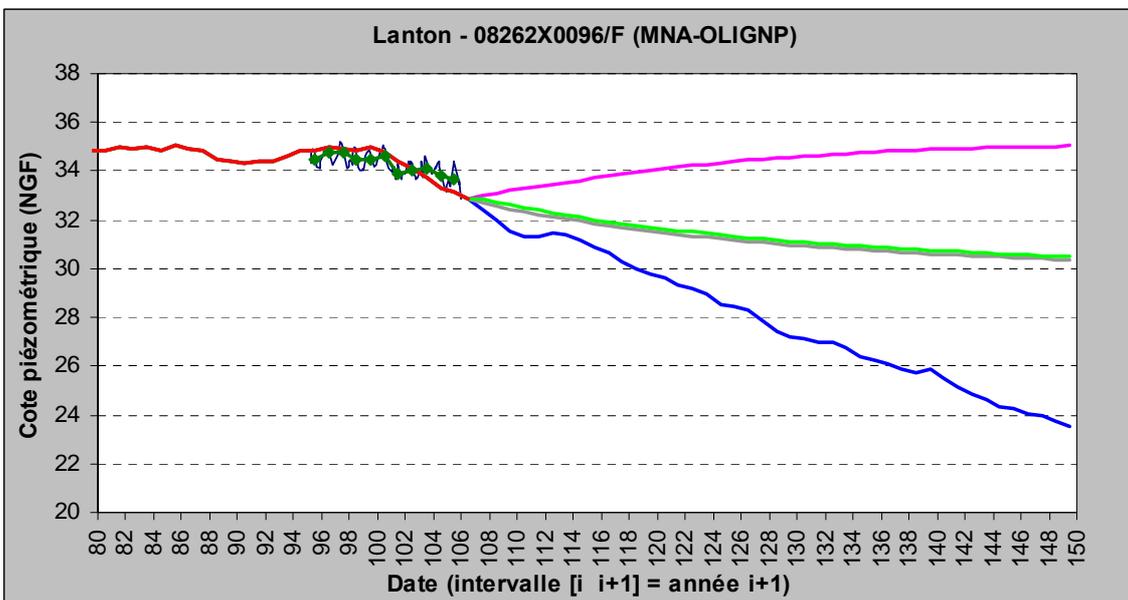
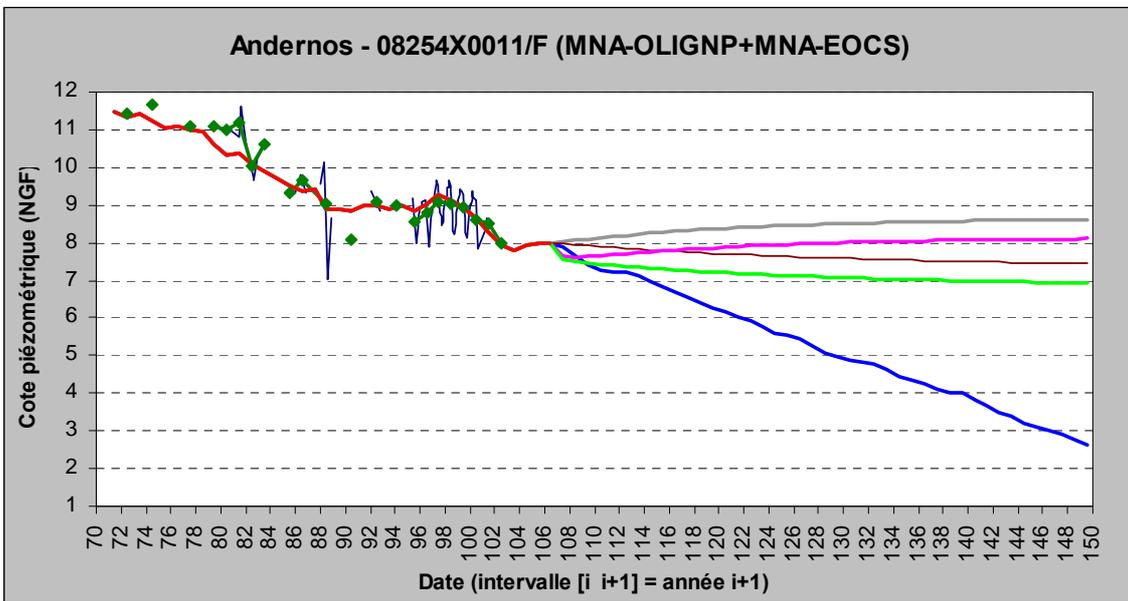
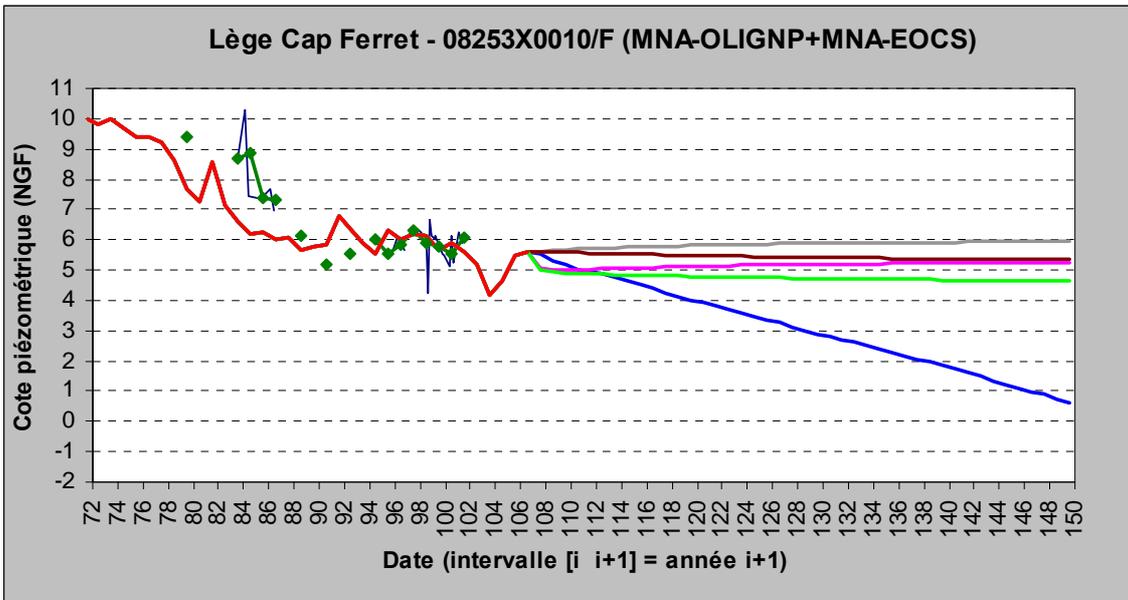


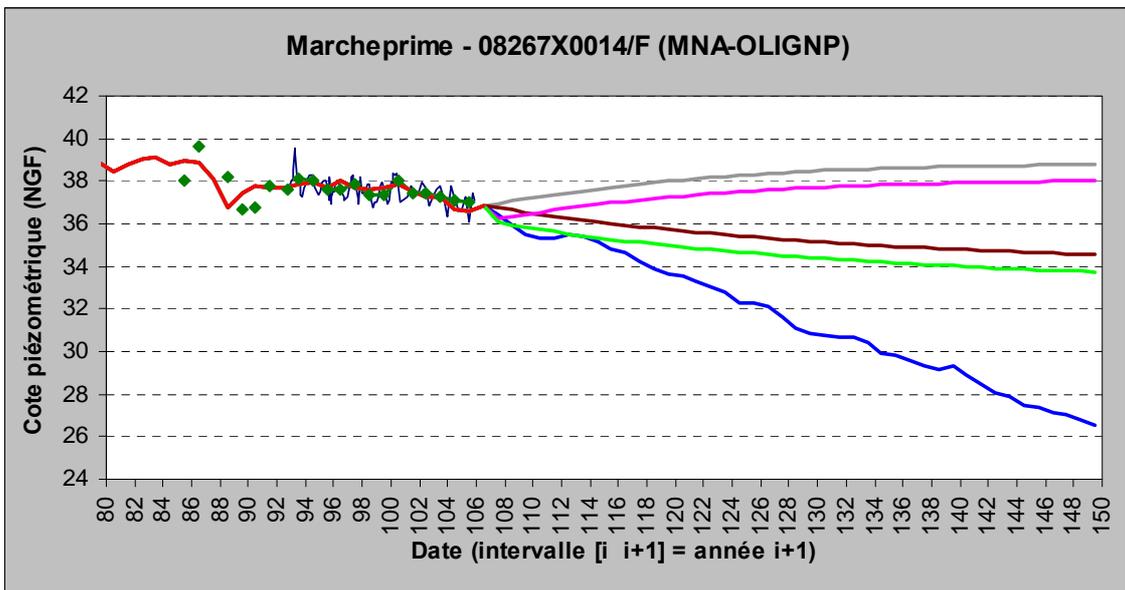
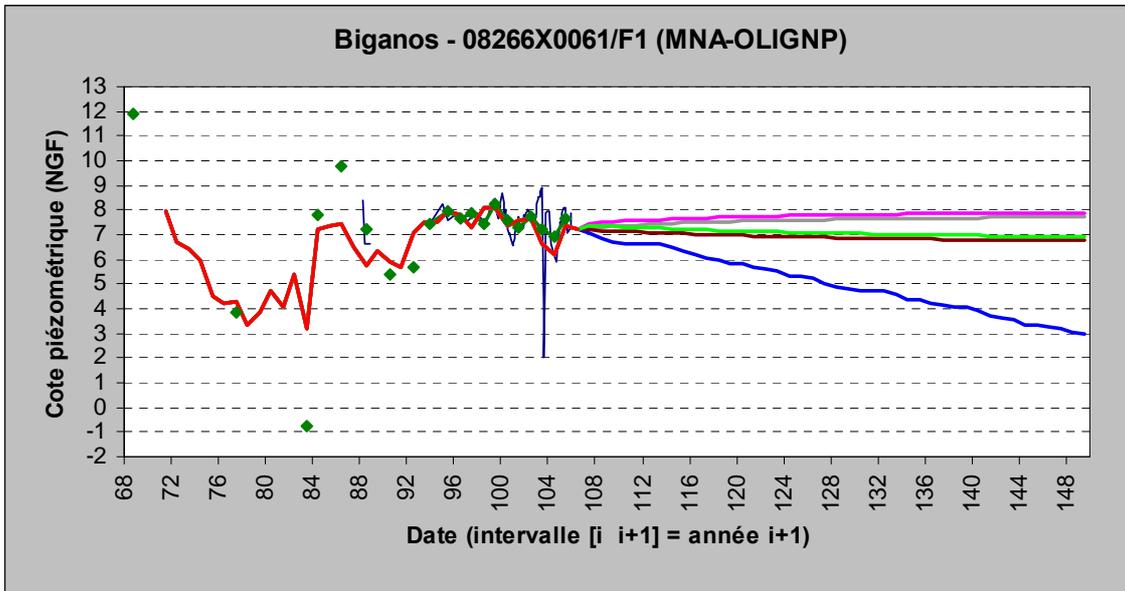
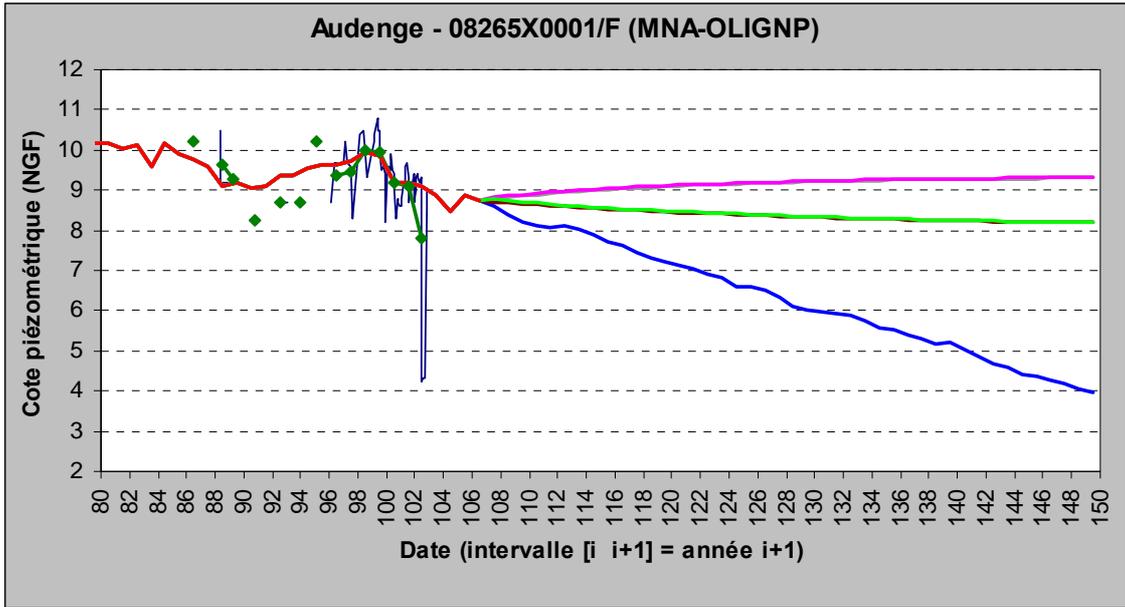
Nappe de l'Oligocène

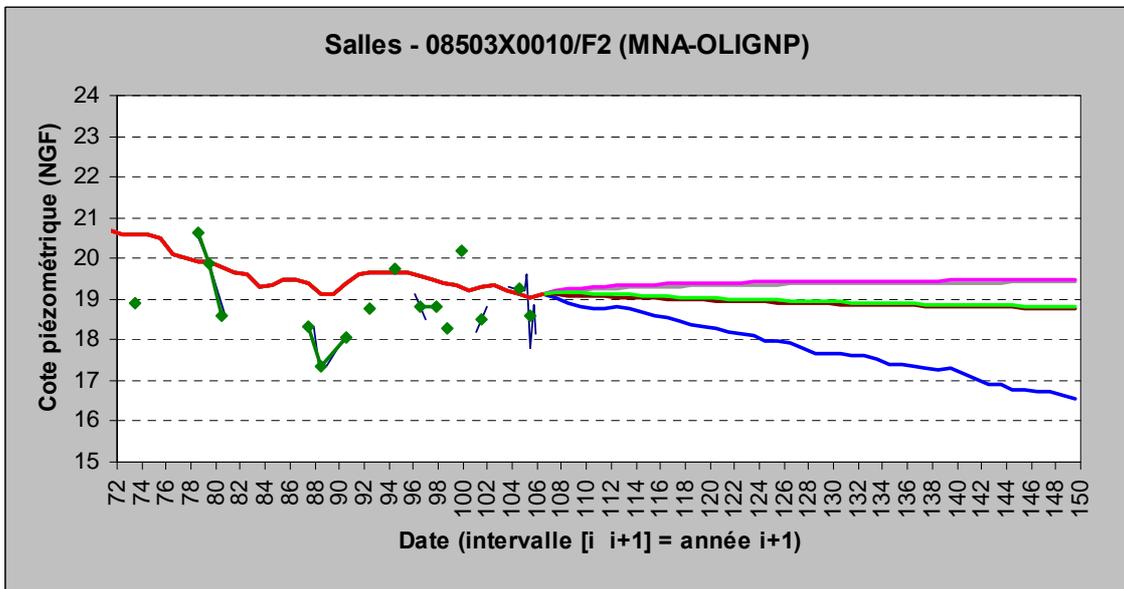
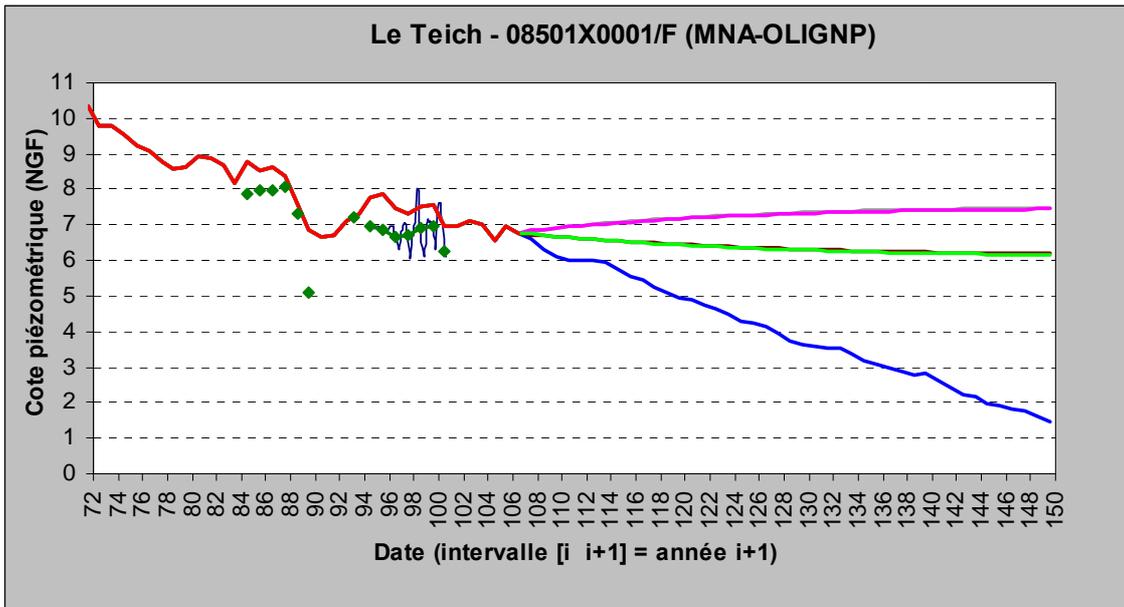
MNA-OLIGNP

GIRONDE (33) (UG_LITTORAL)

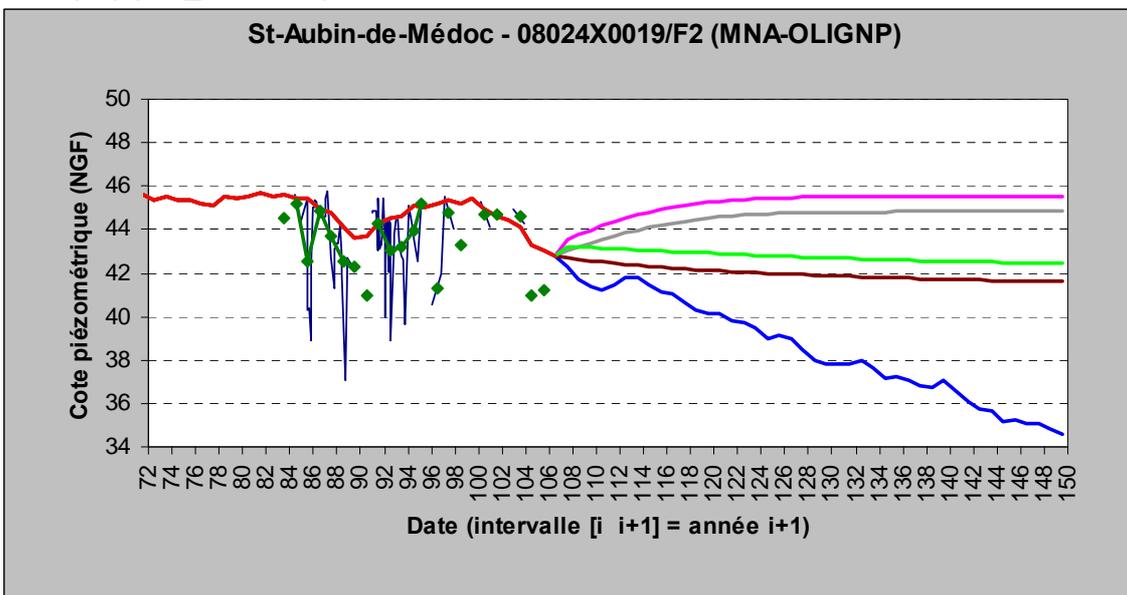


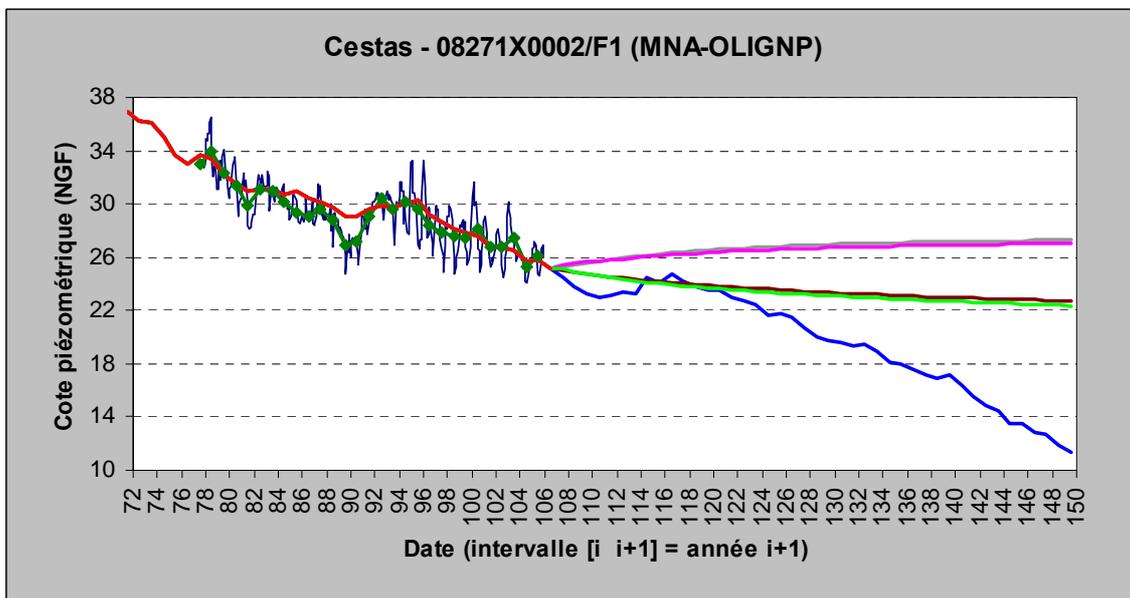
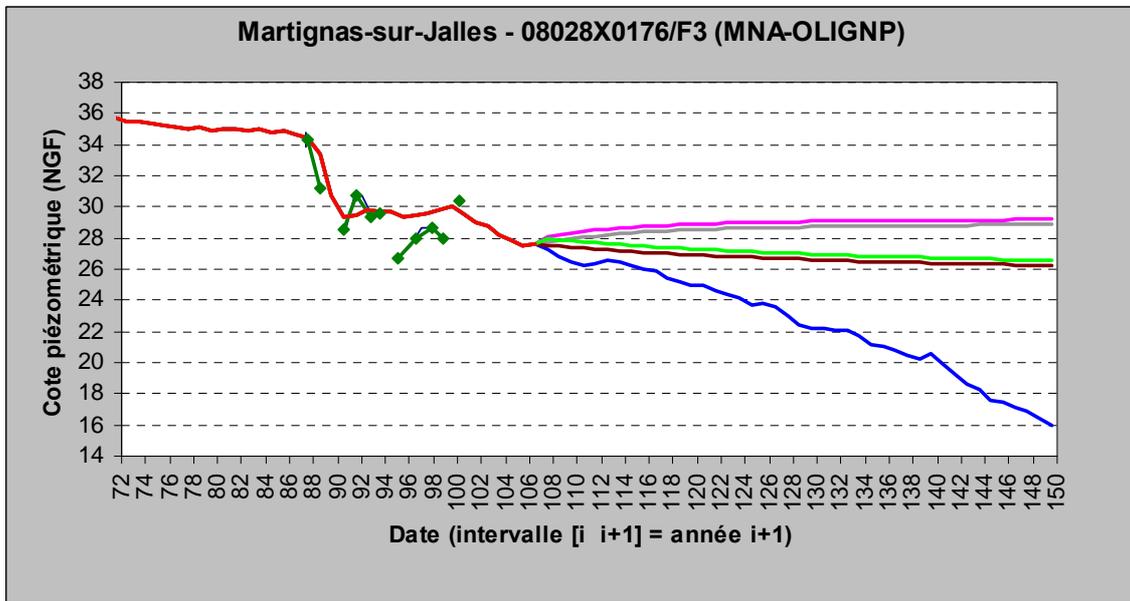
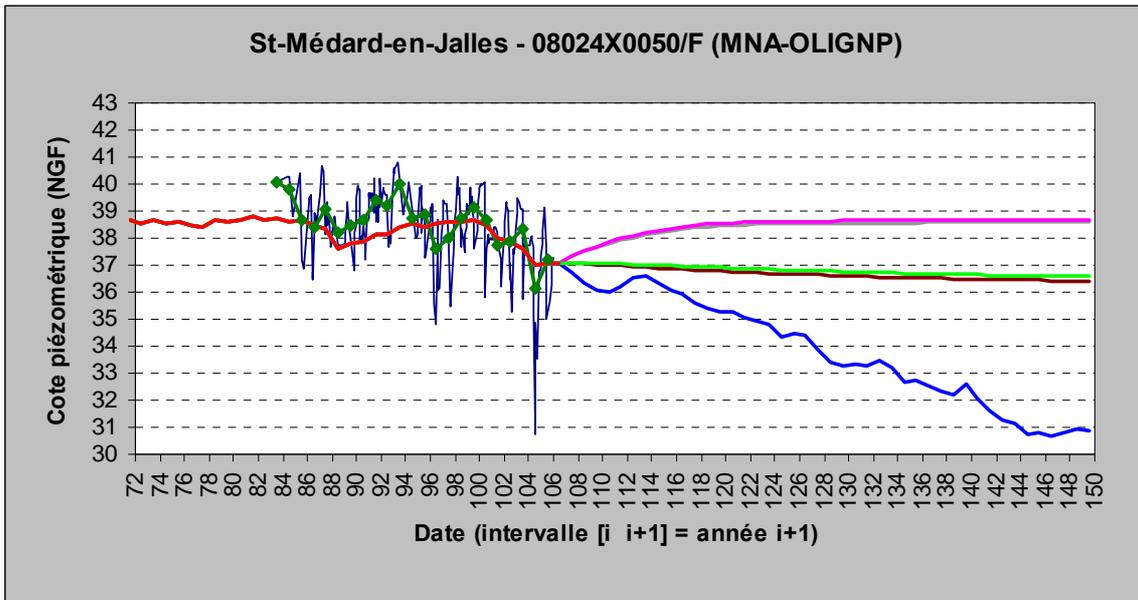


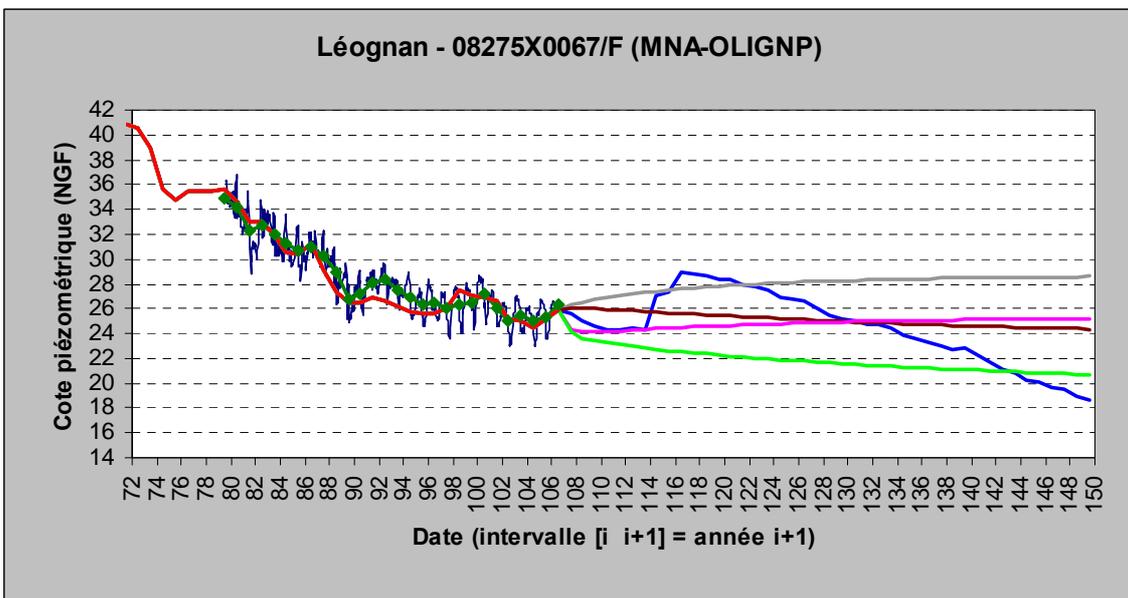
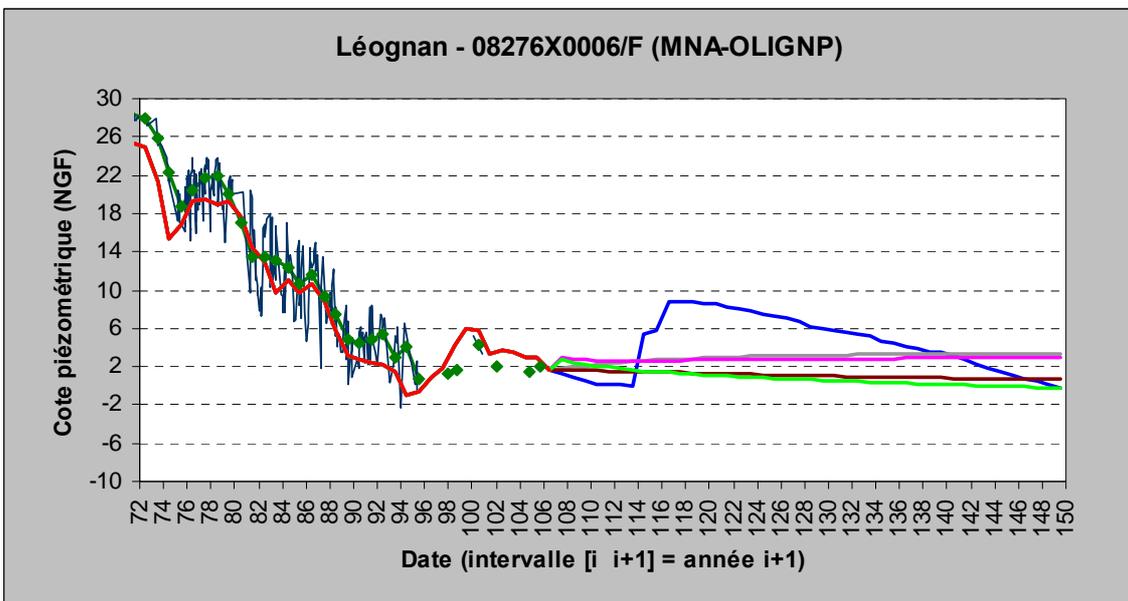
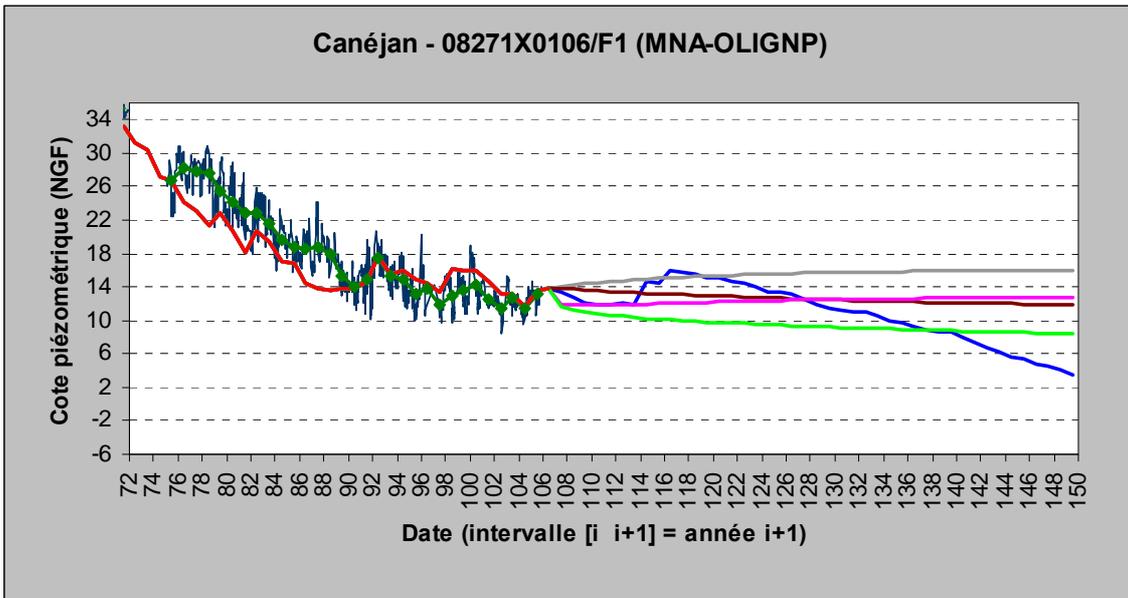


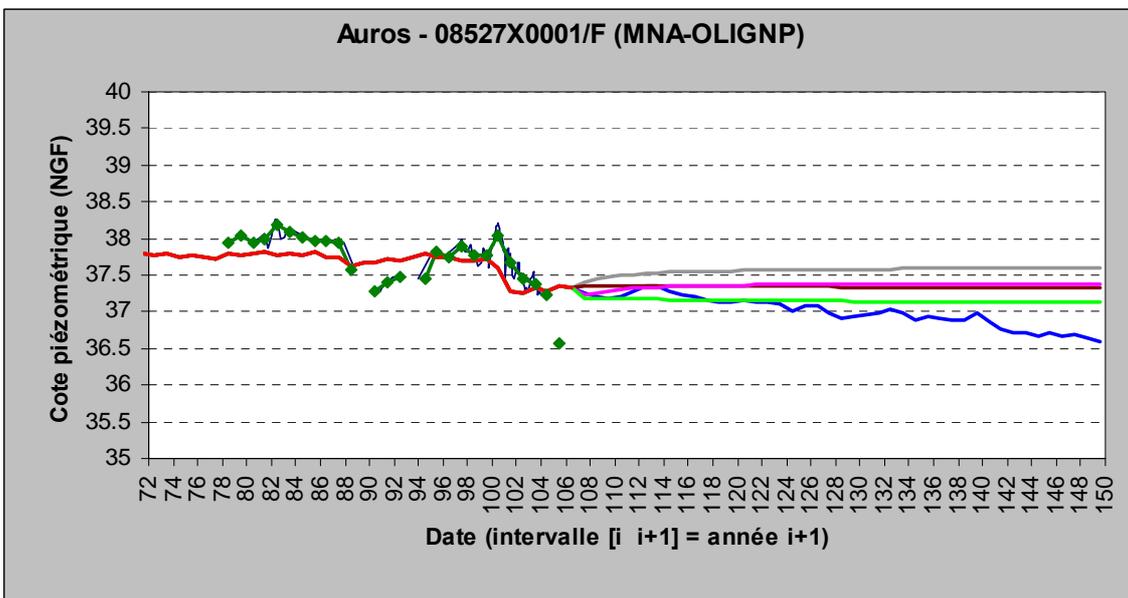
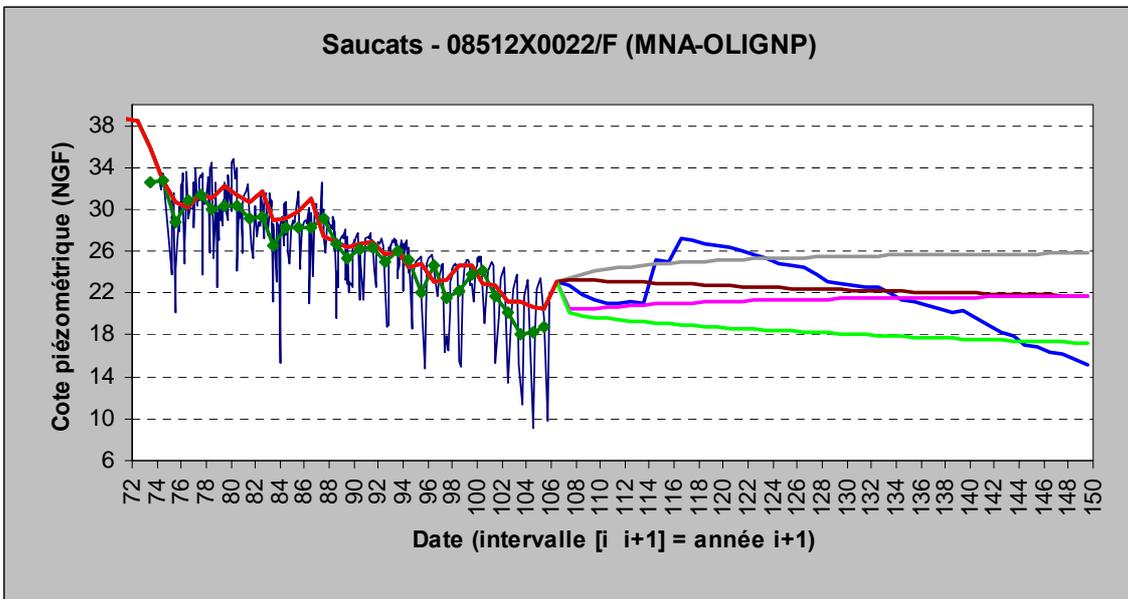
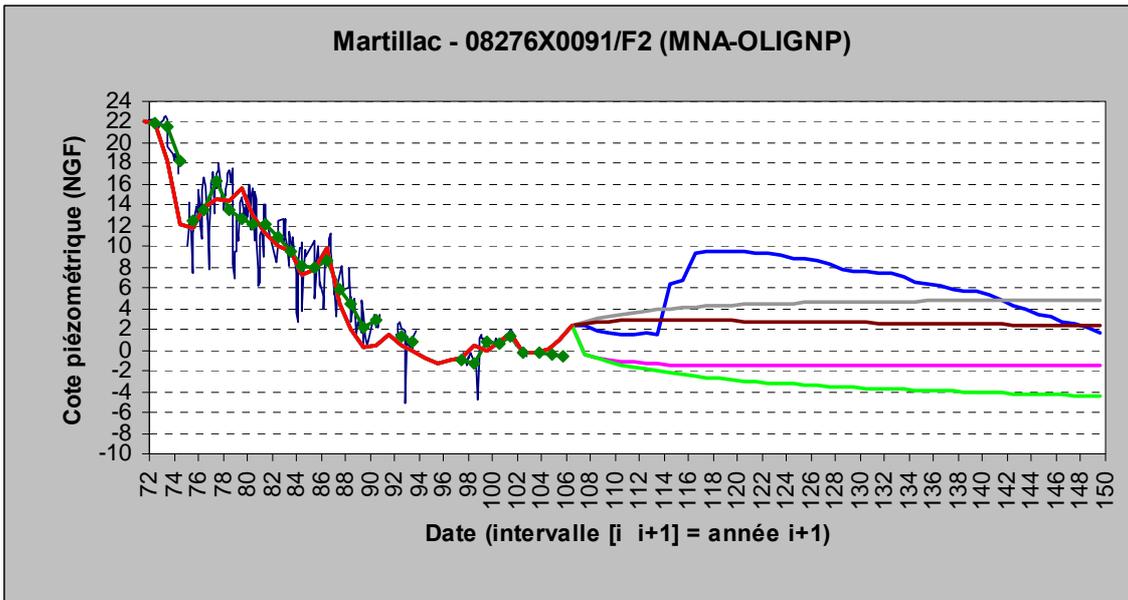


GIRONDE (33) (UG_CENTRE)





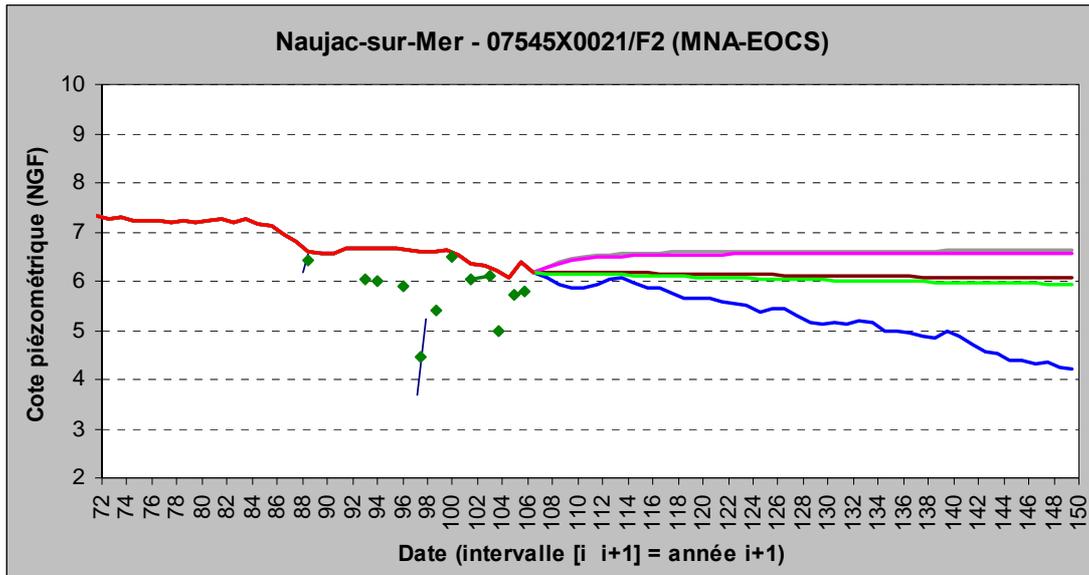




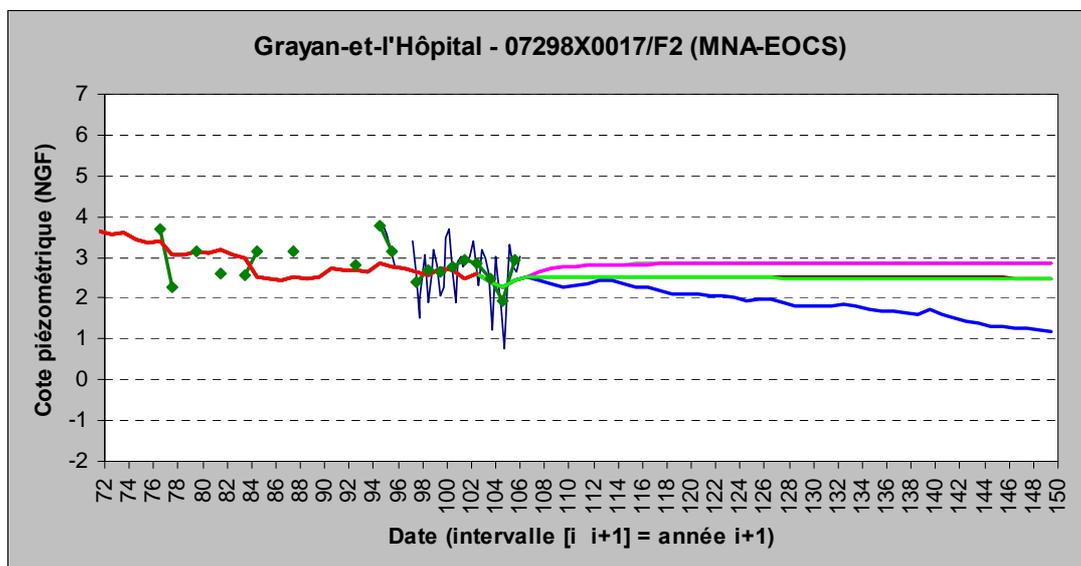
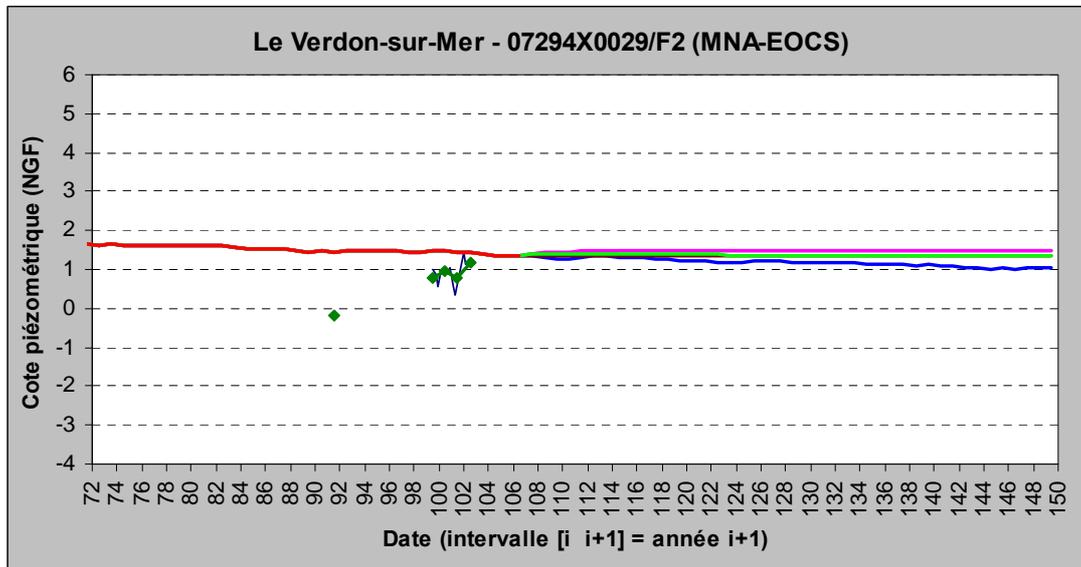
Nappe de l'Eocène supérieur

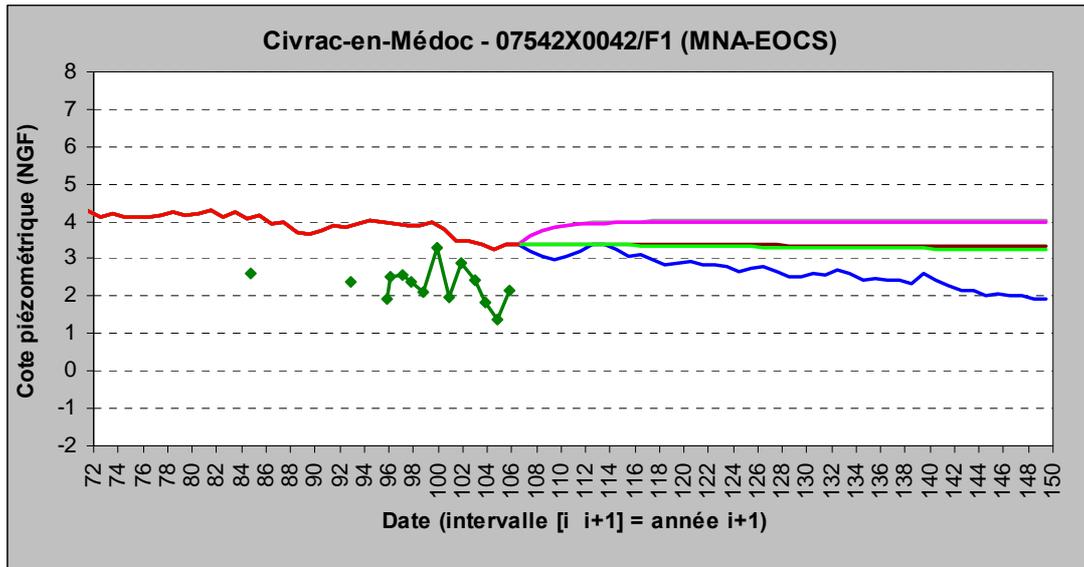
MNA-EOCS

GIRONDE (33) (UG_LITTORAL)

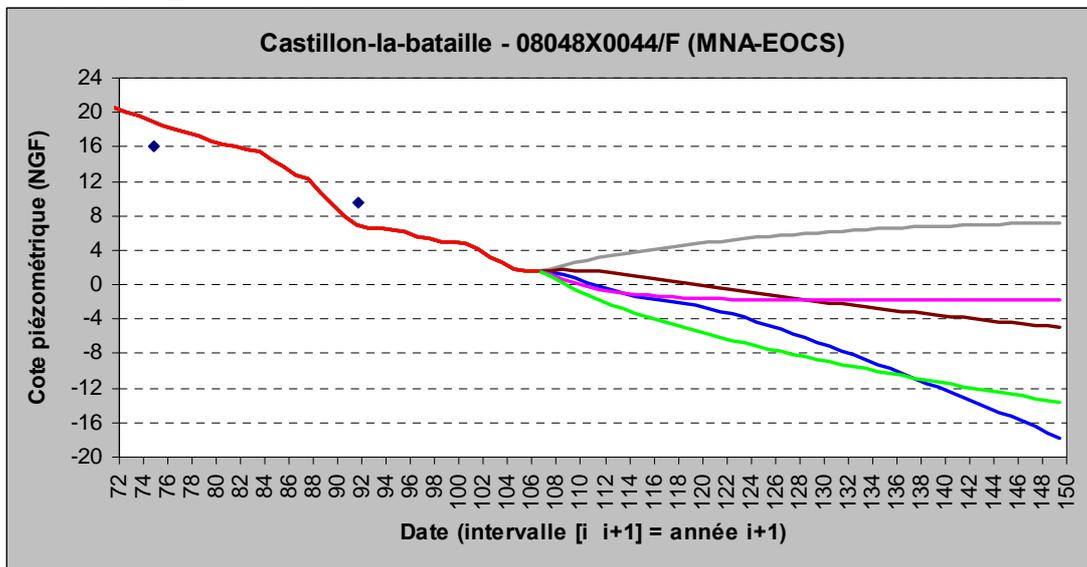


GIRONDE (33) (UG_MEDOC)

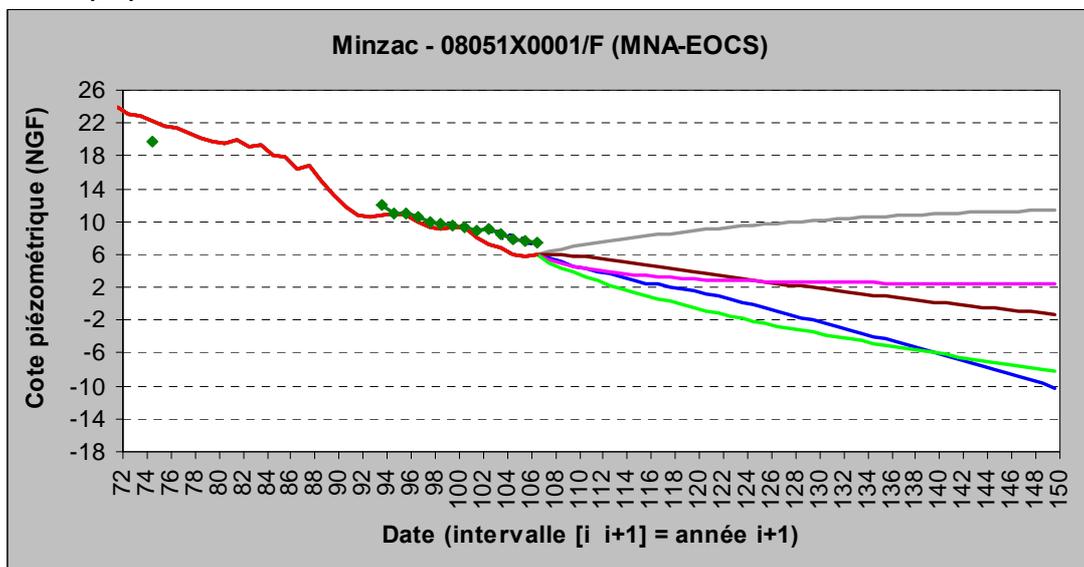




GIRONDE (33) (UG_CENTRE)



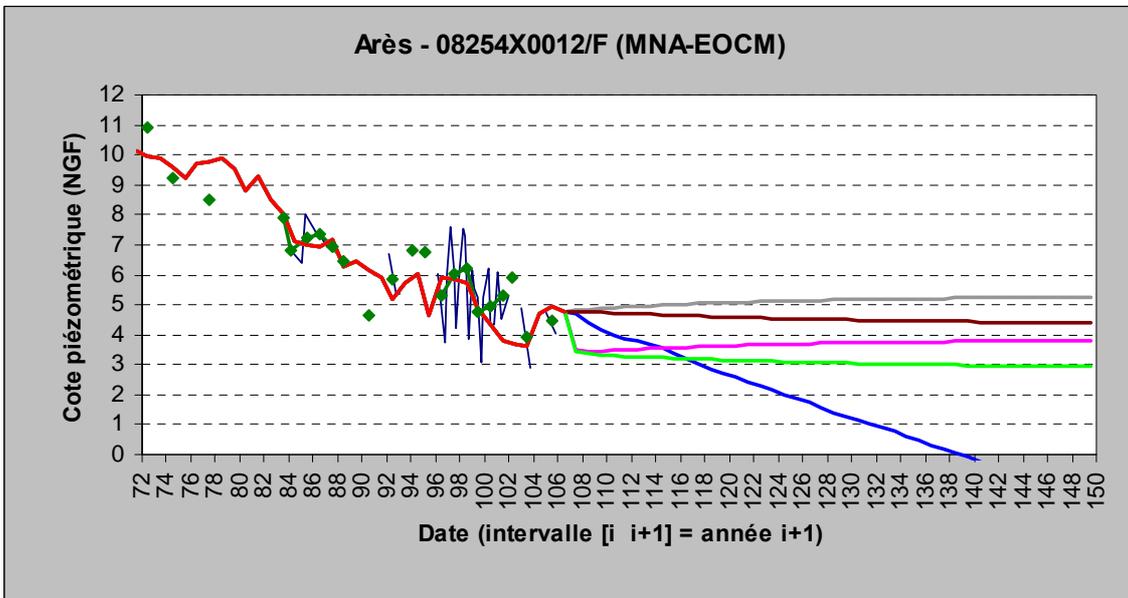
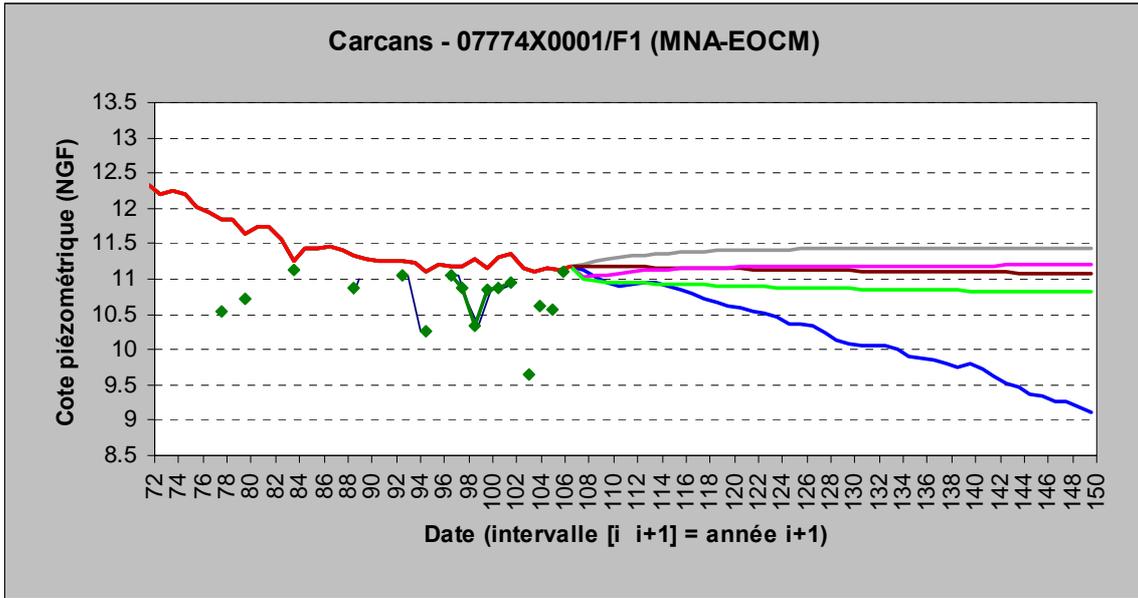
DORDOGNE (24)

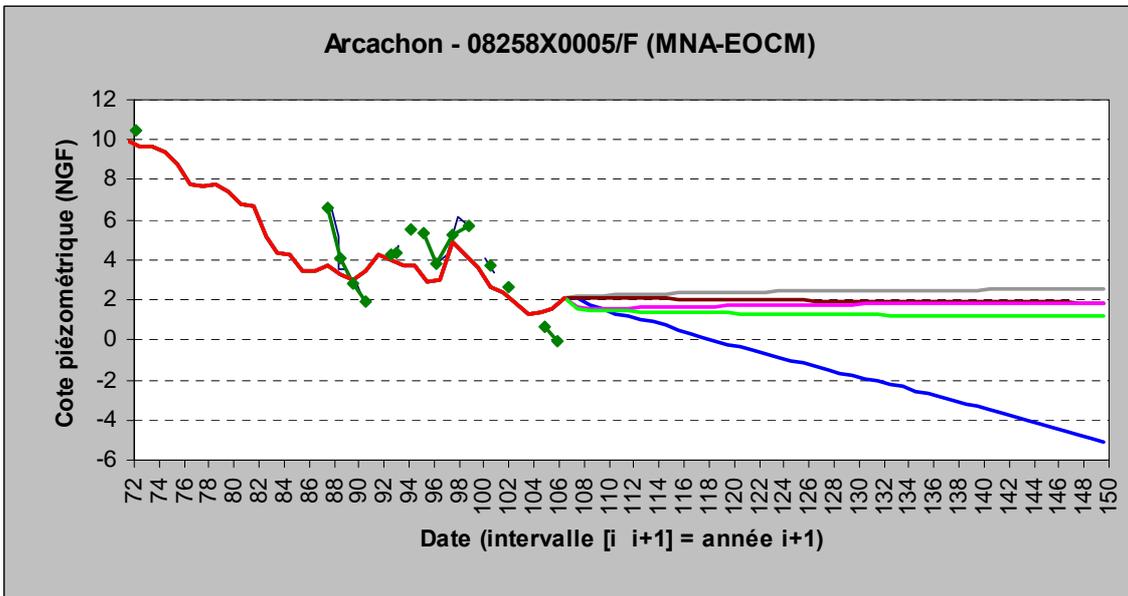
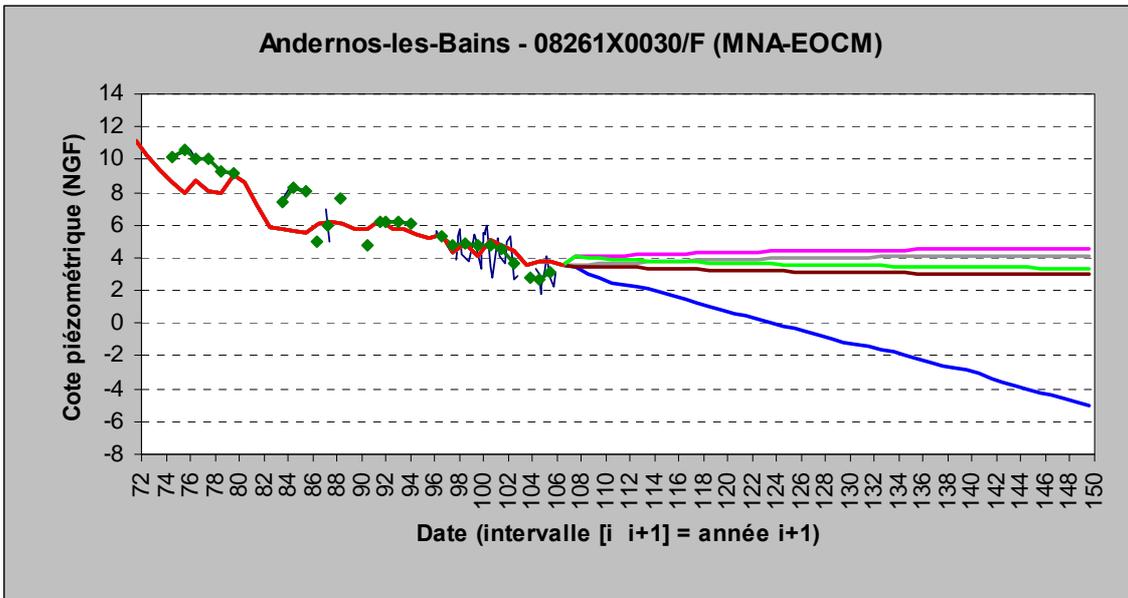


Nappe de l'Eocène moyen

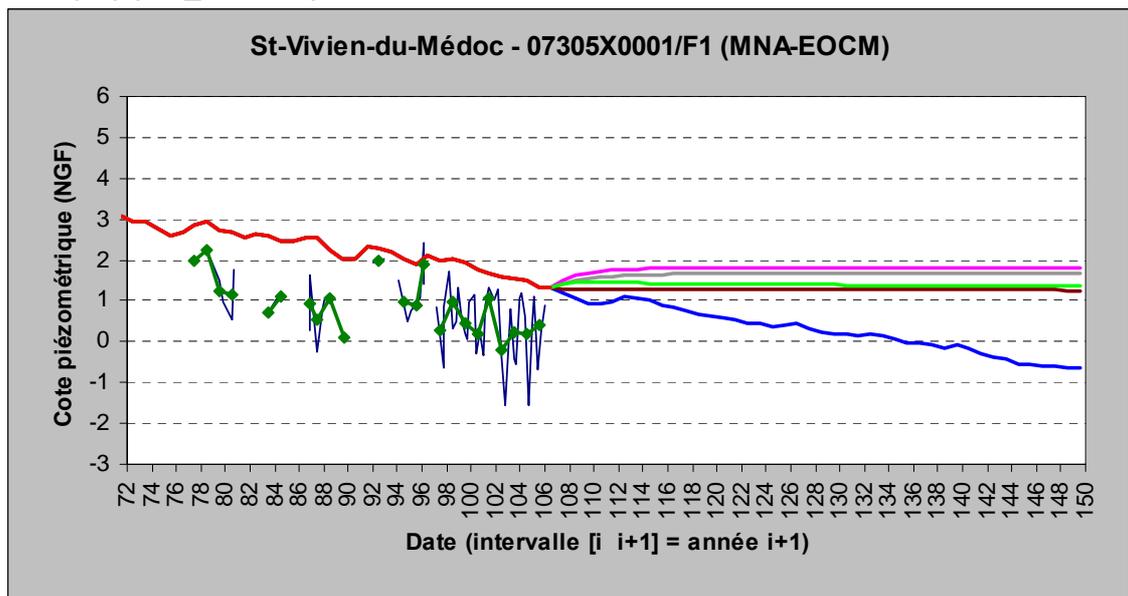
MNA-EOCM

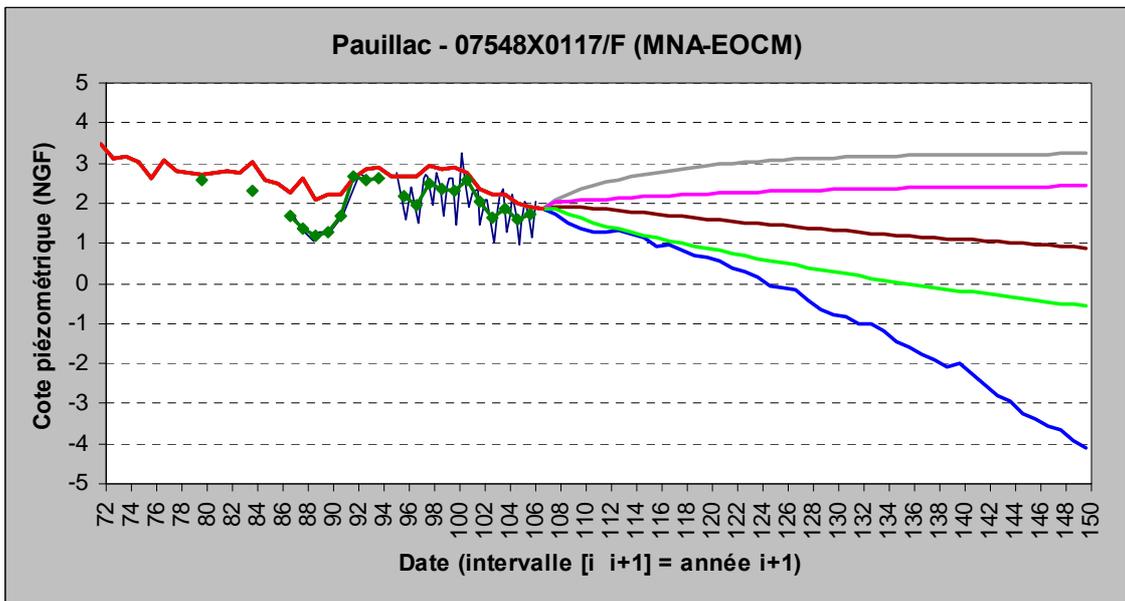
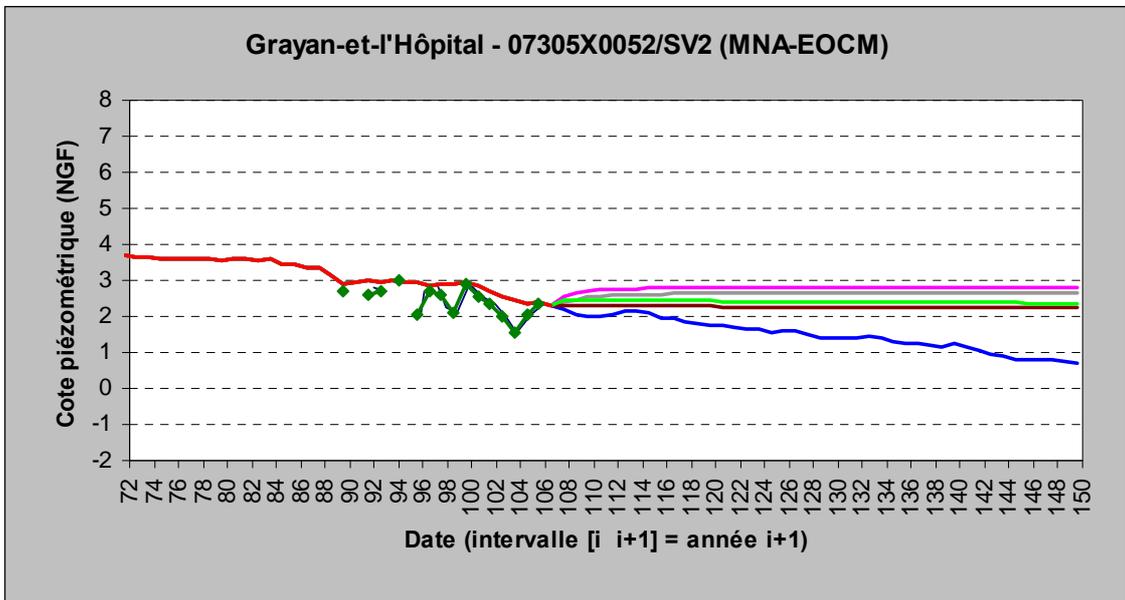
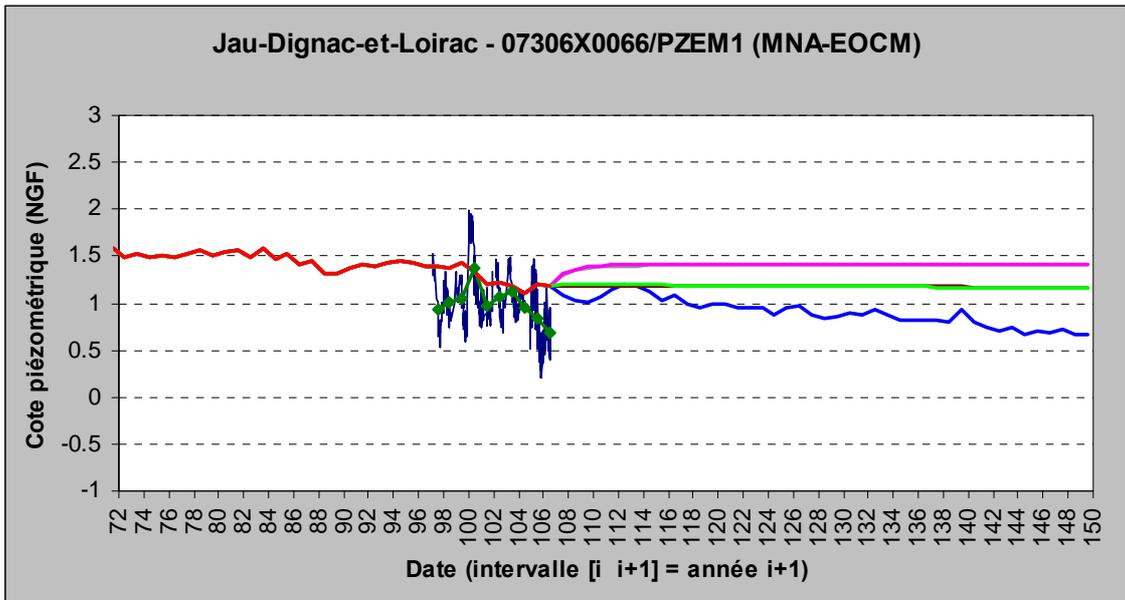
GIRONDE (33) (UG_LITTORAL)

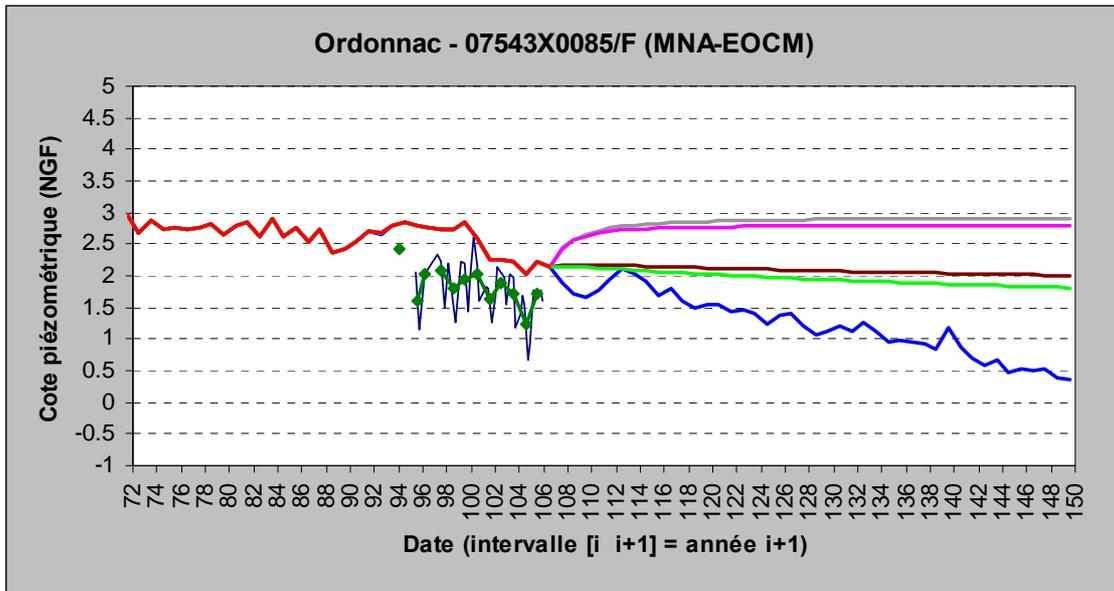




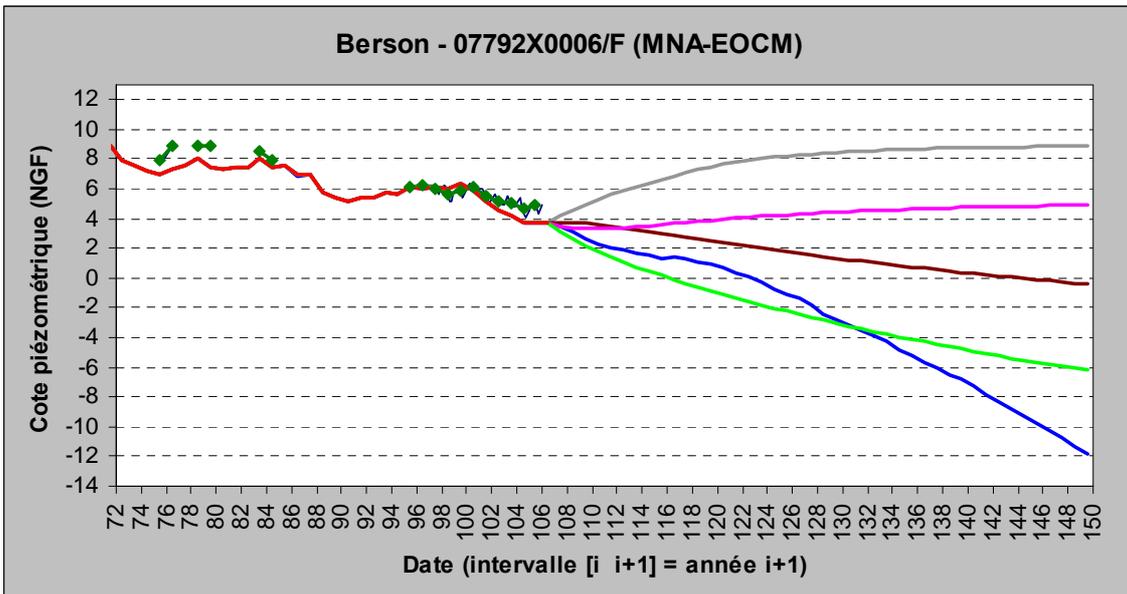
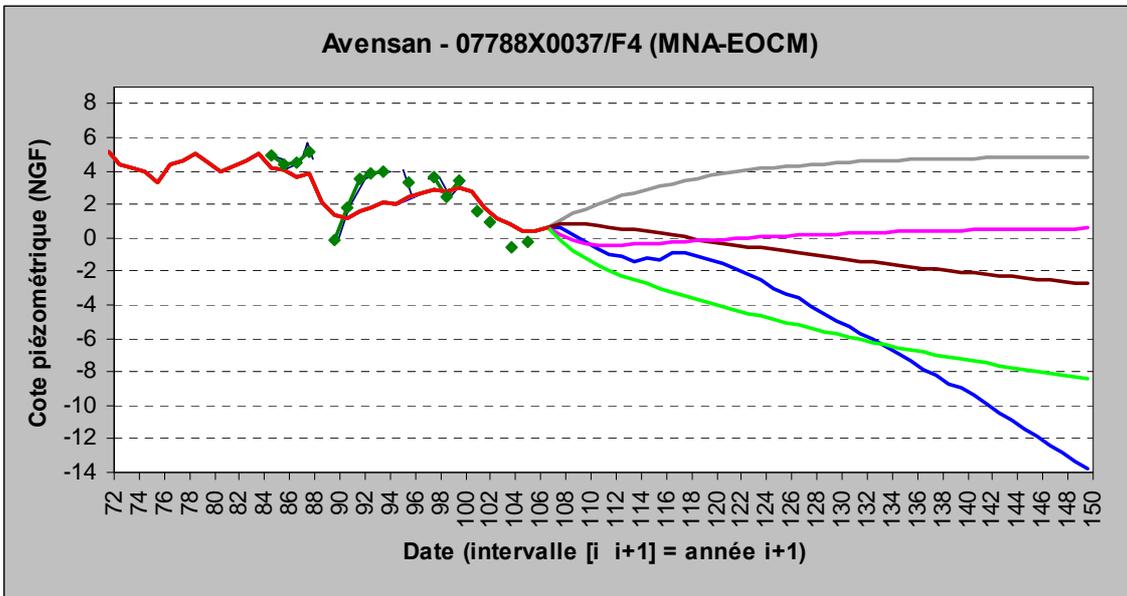
GIRONDE (33) (UG_MEDOC)

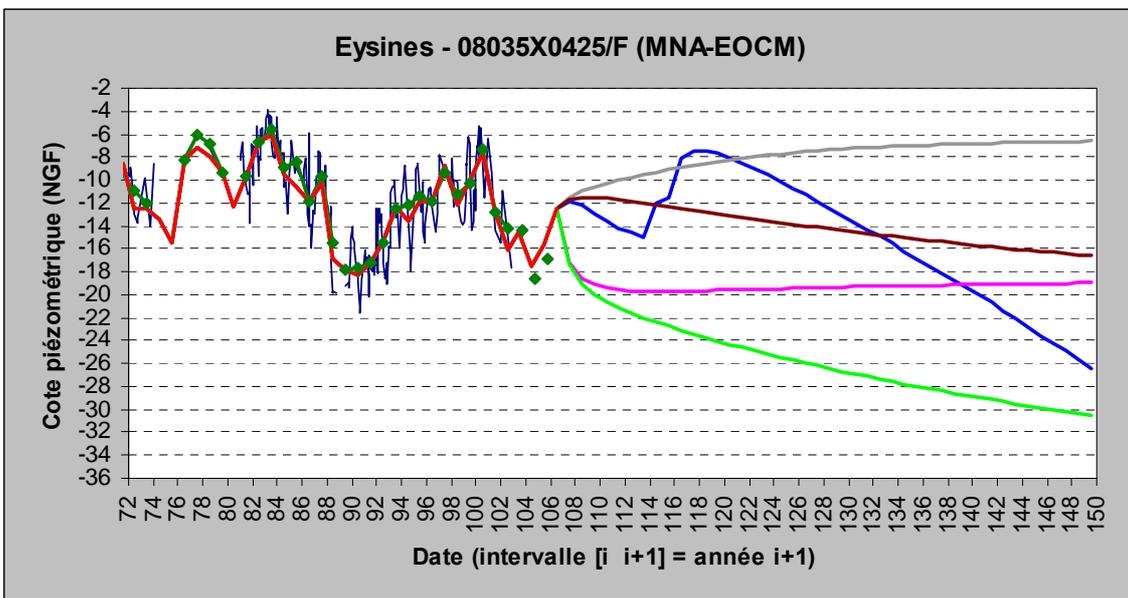
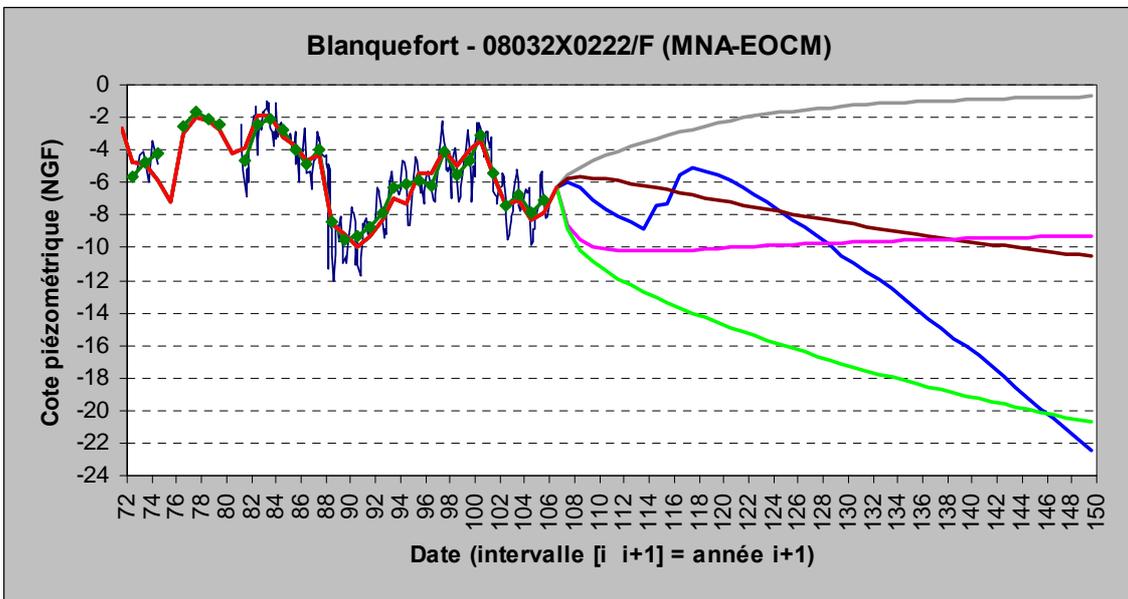
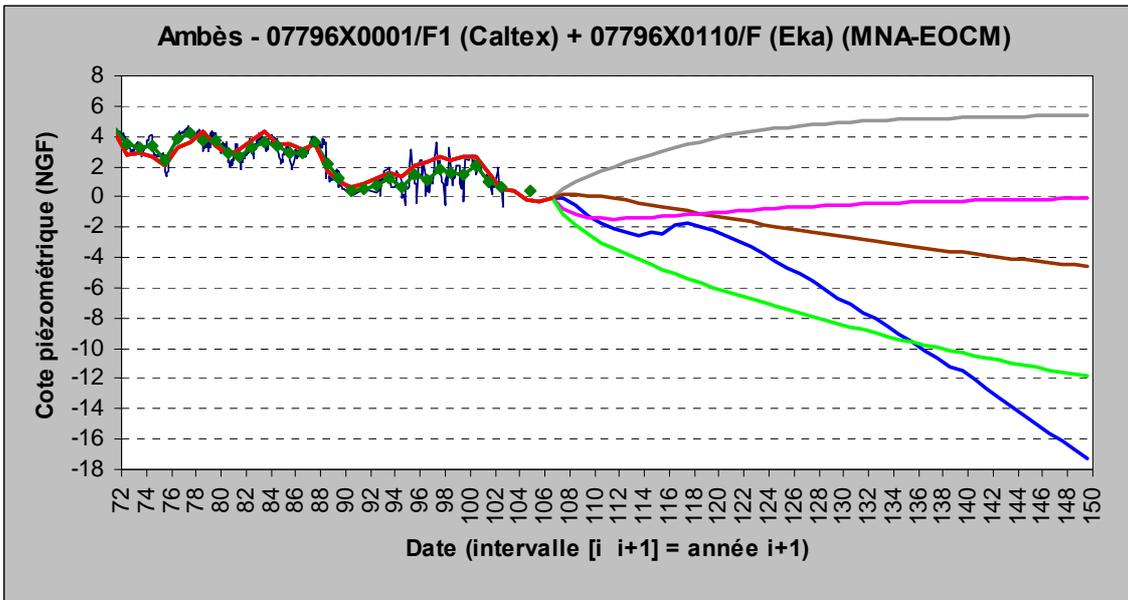


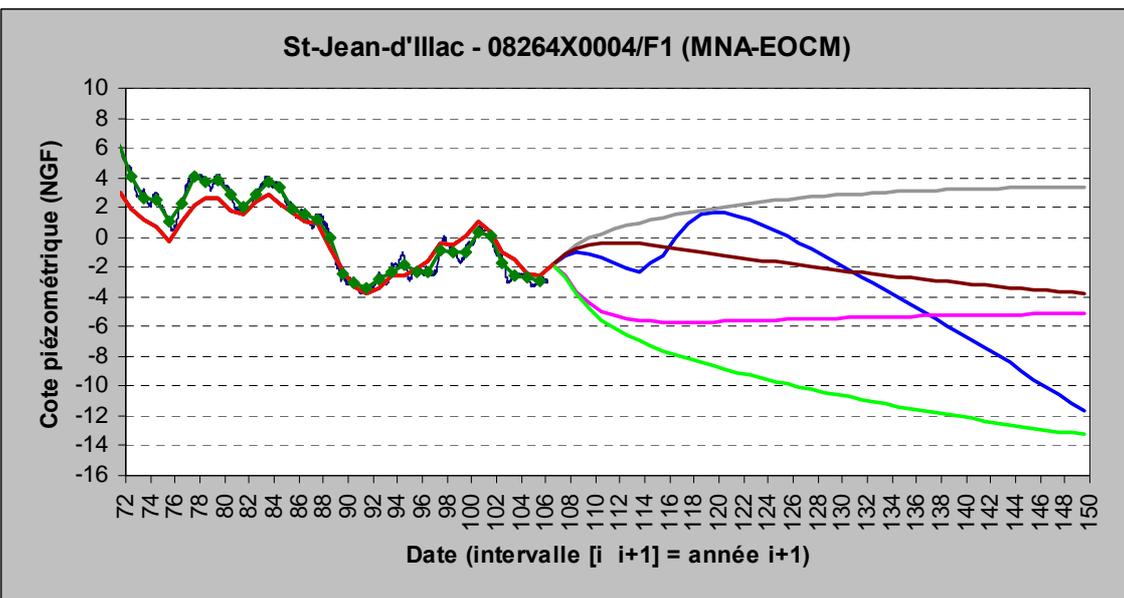
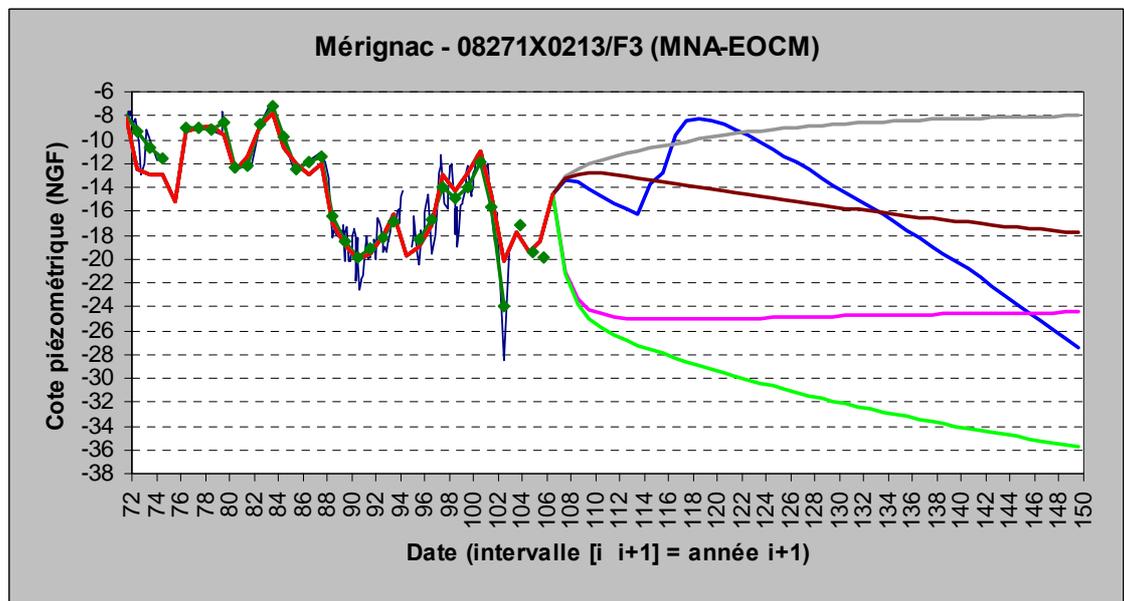
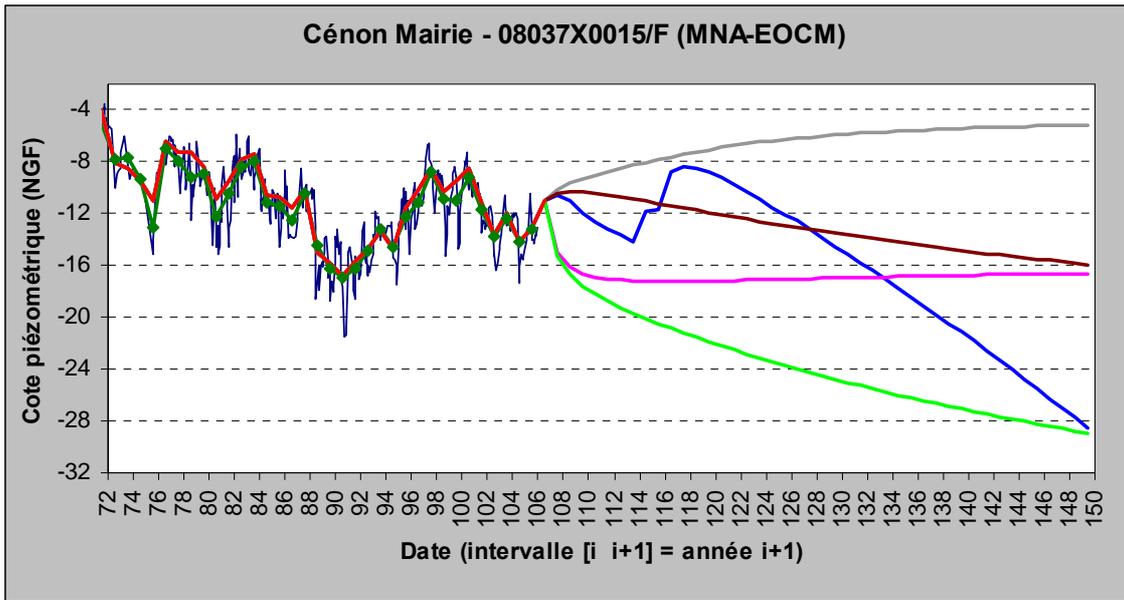


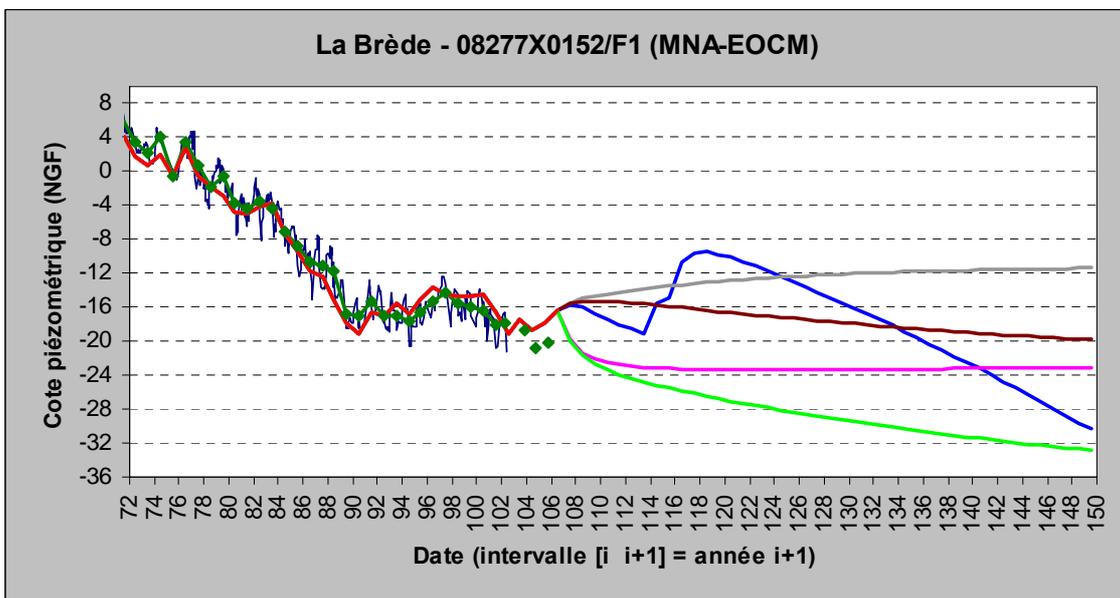
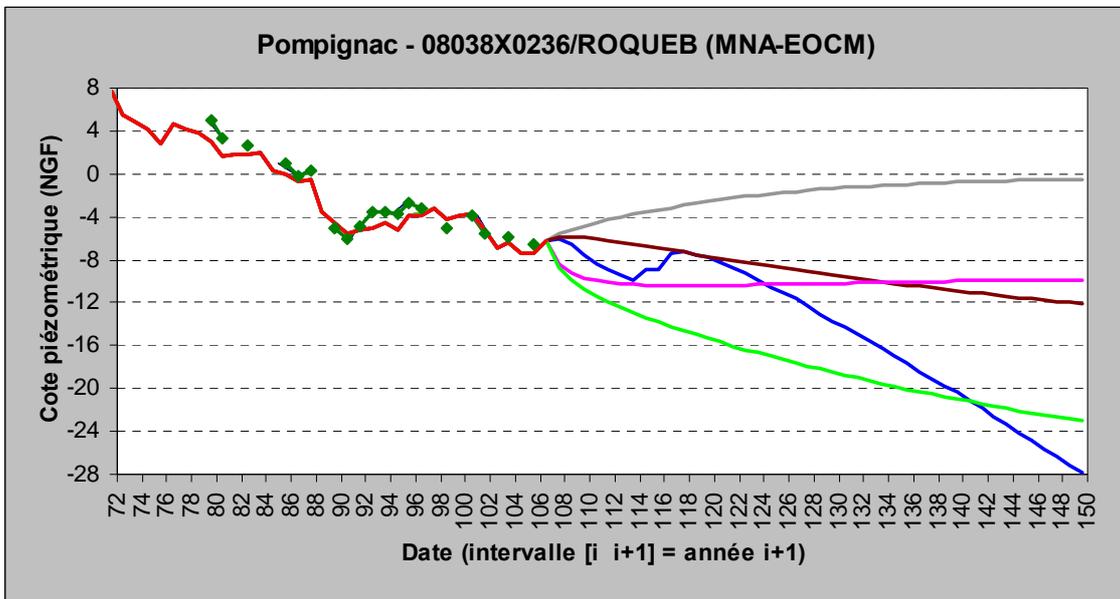
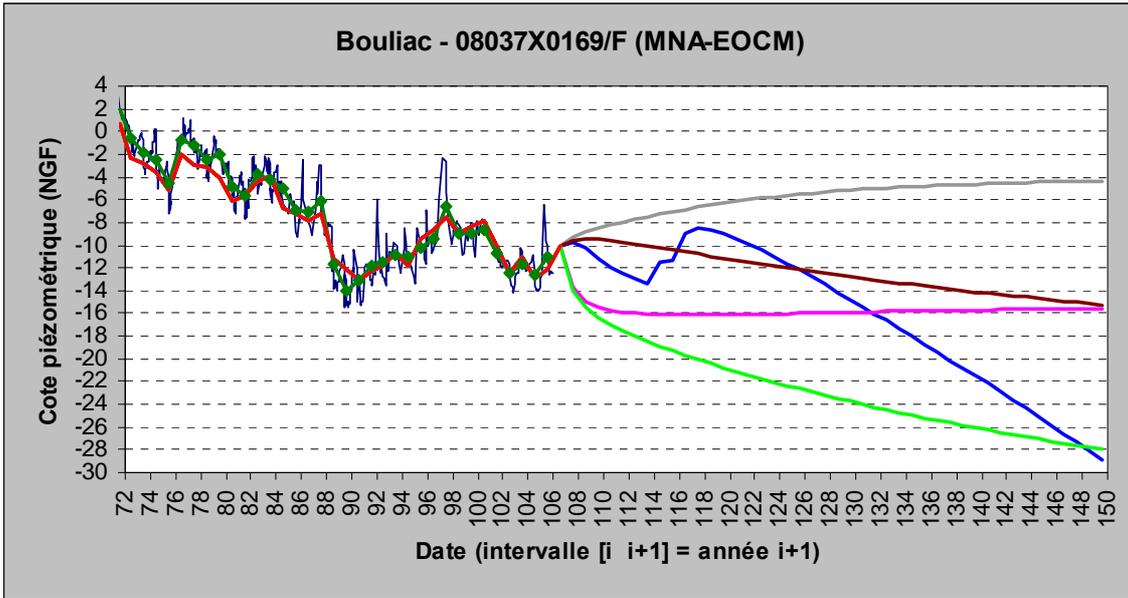


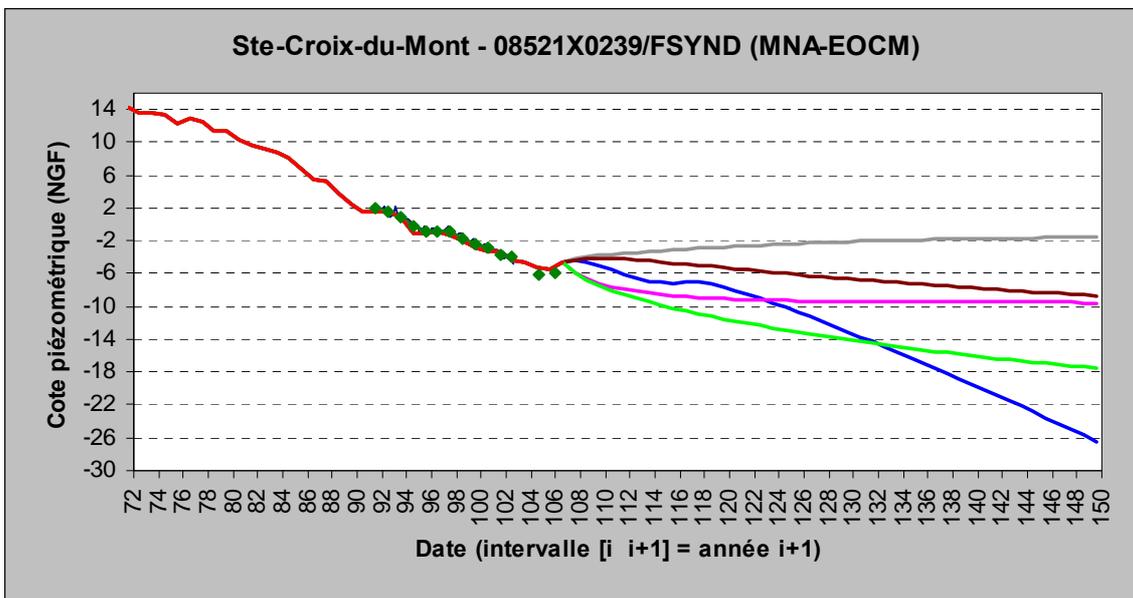
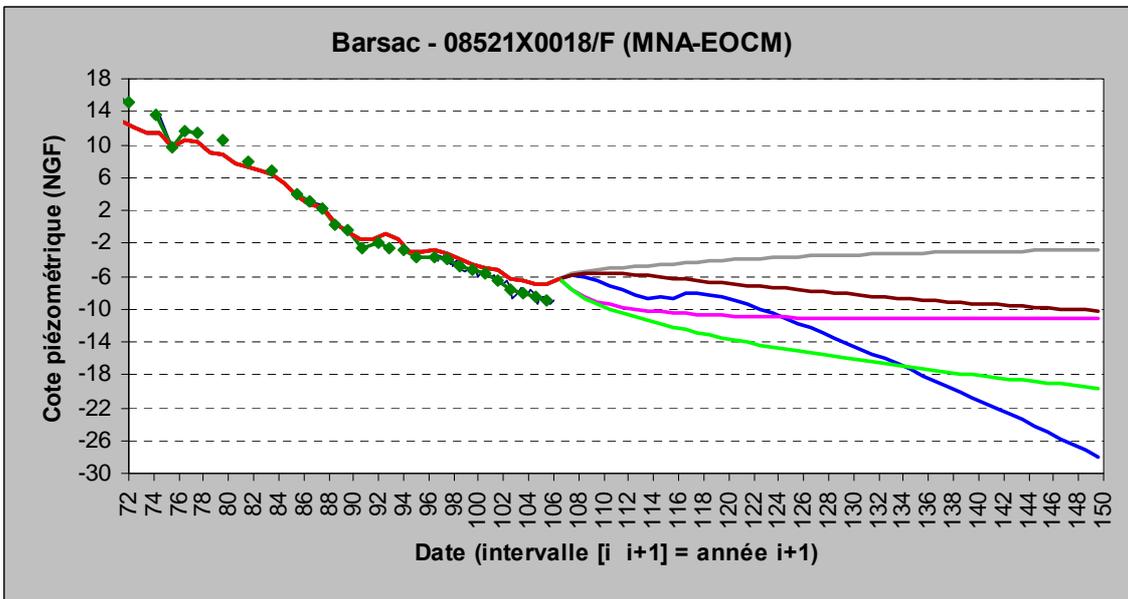
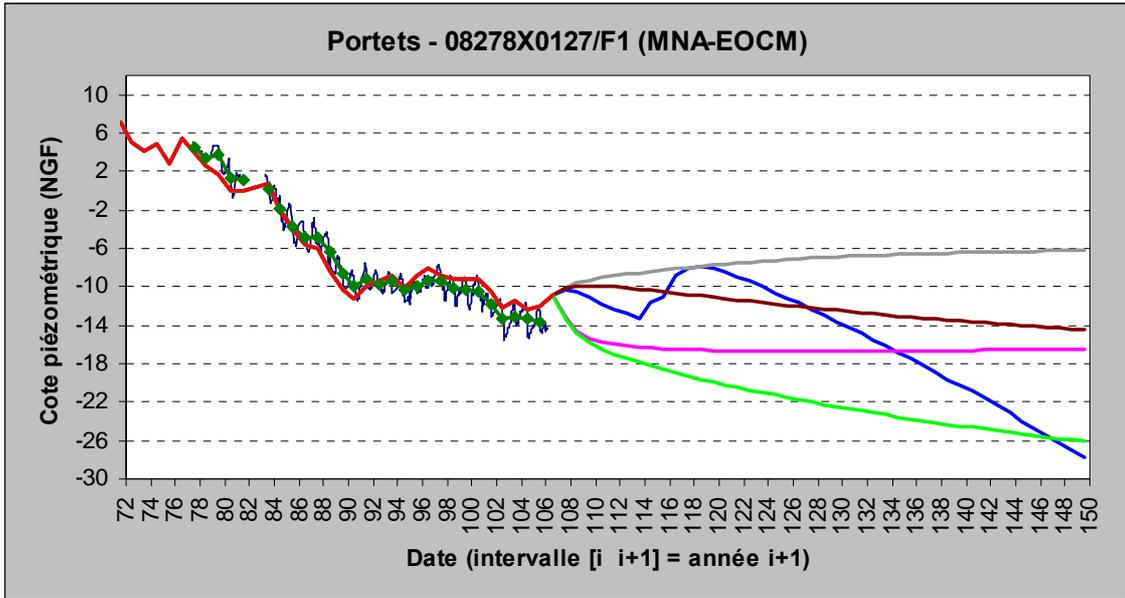
GIRONDE (33) (UG_CENTRE)

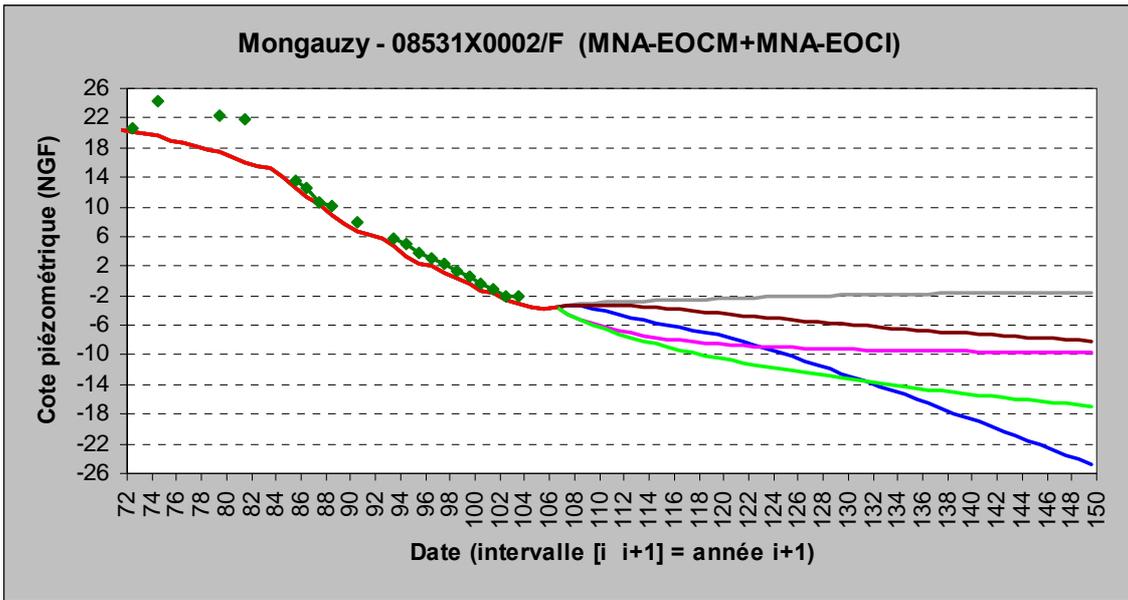




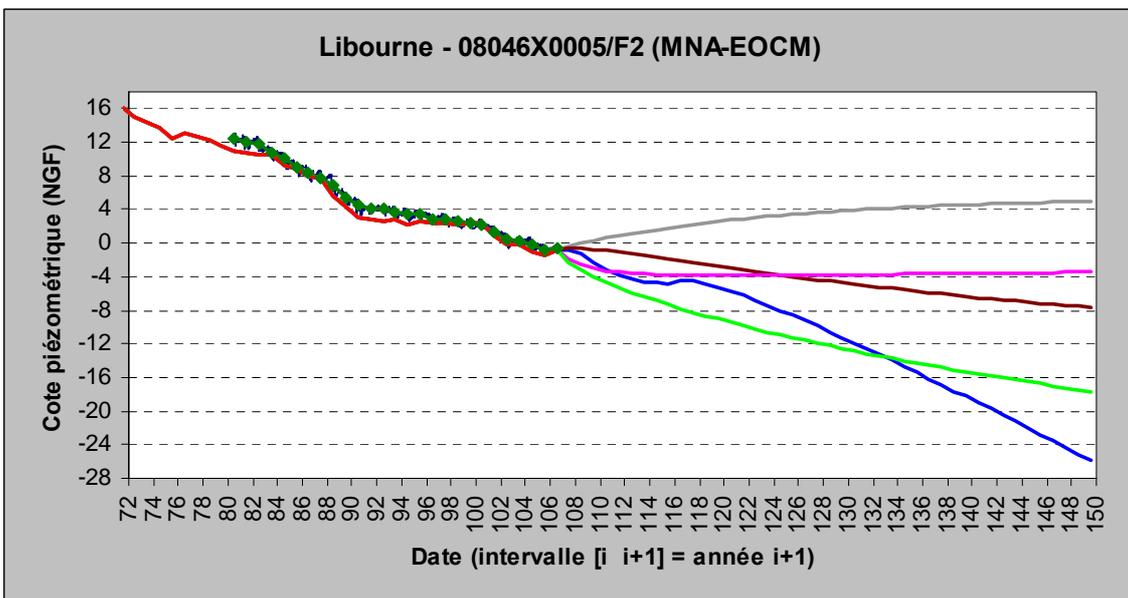
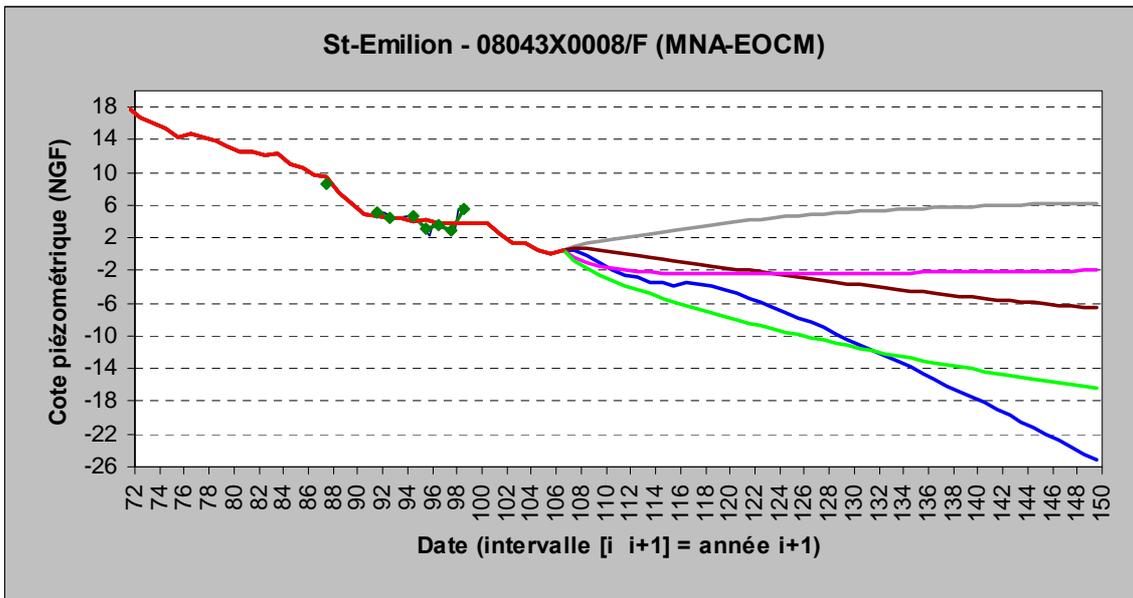


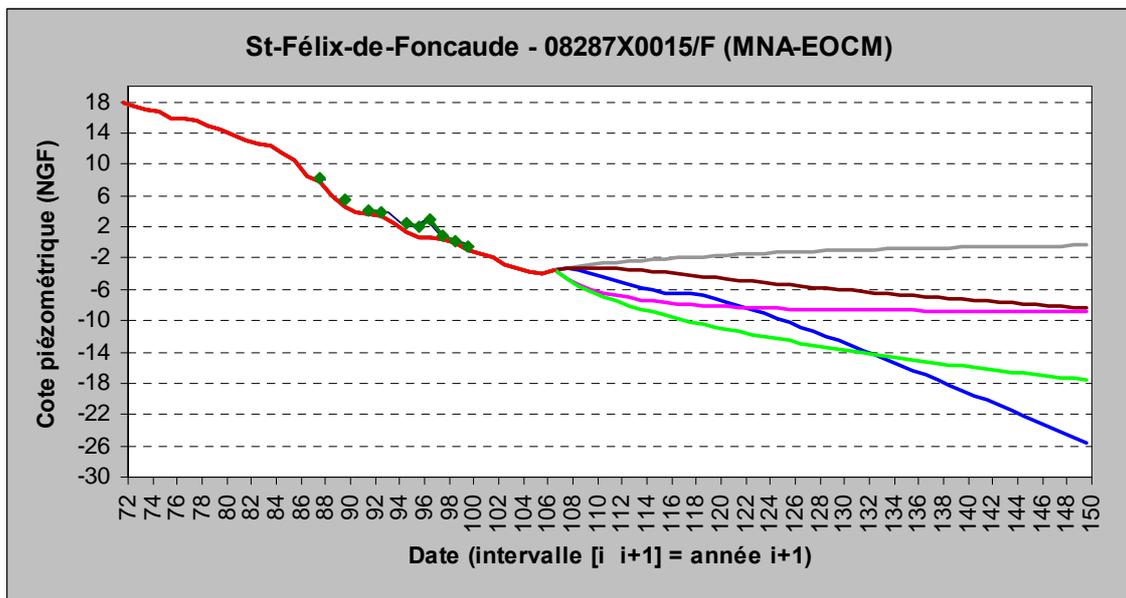
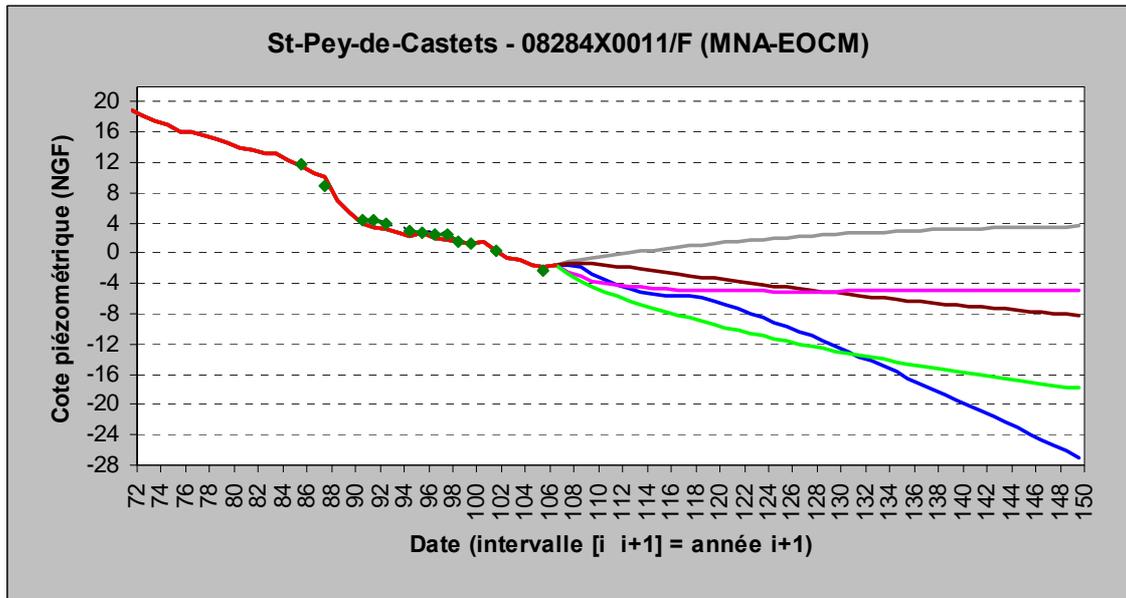




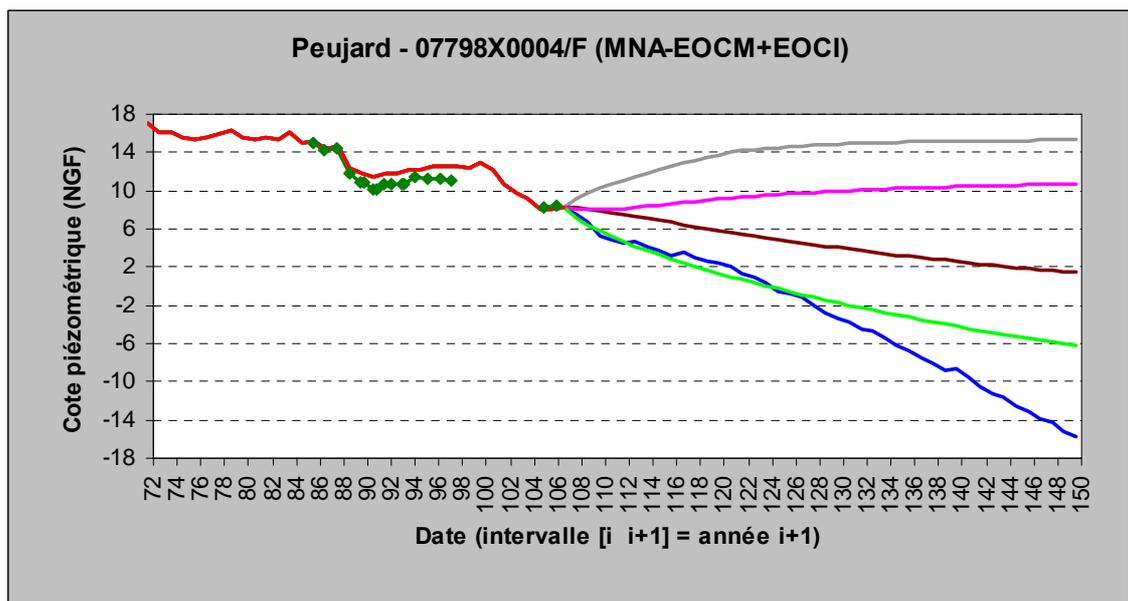
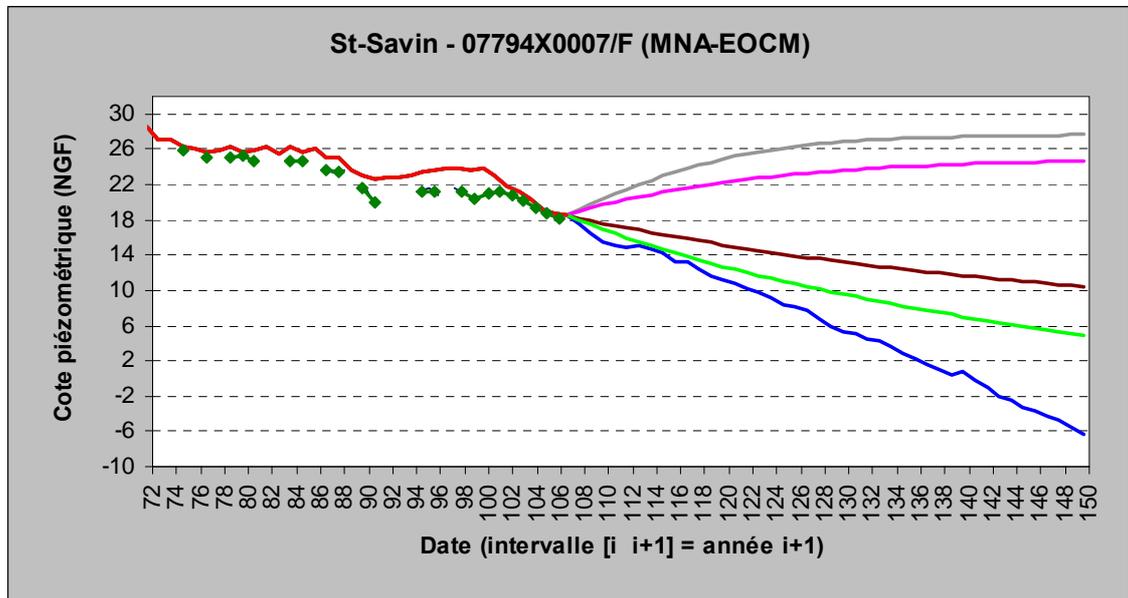
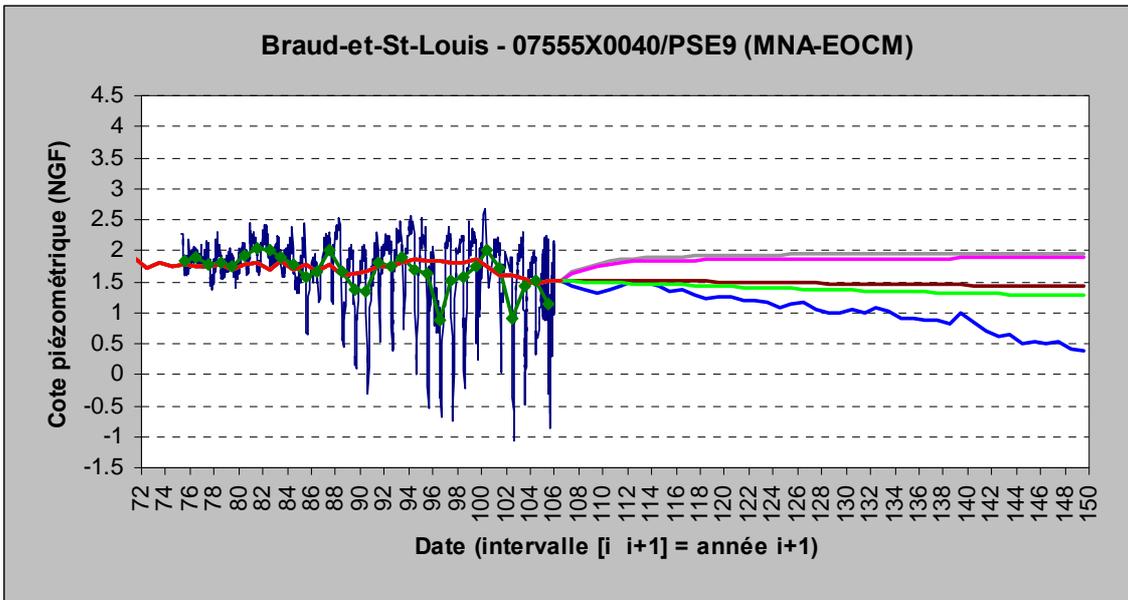


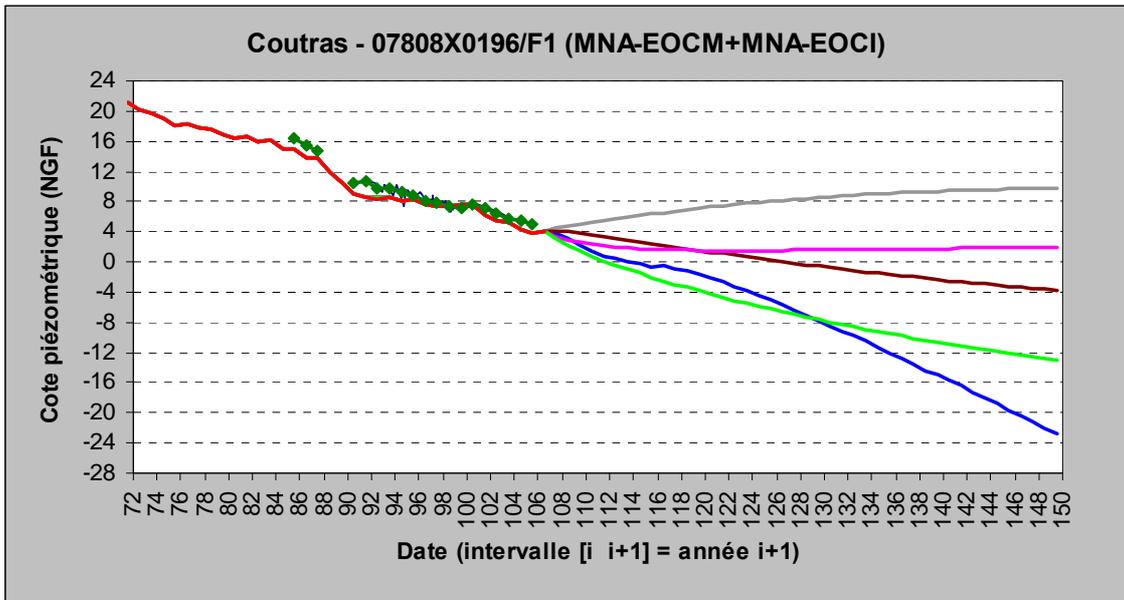
GIRONDE (33) (UG_CENTRE) – secteur Nord-Est



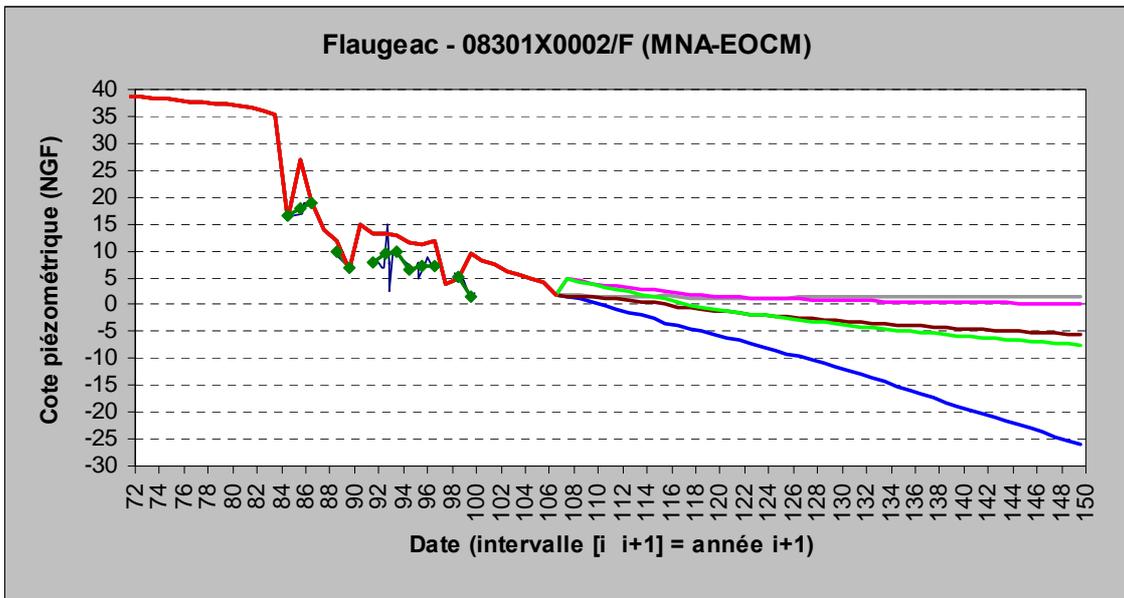


GIRONDE (33) (UG_NORD)

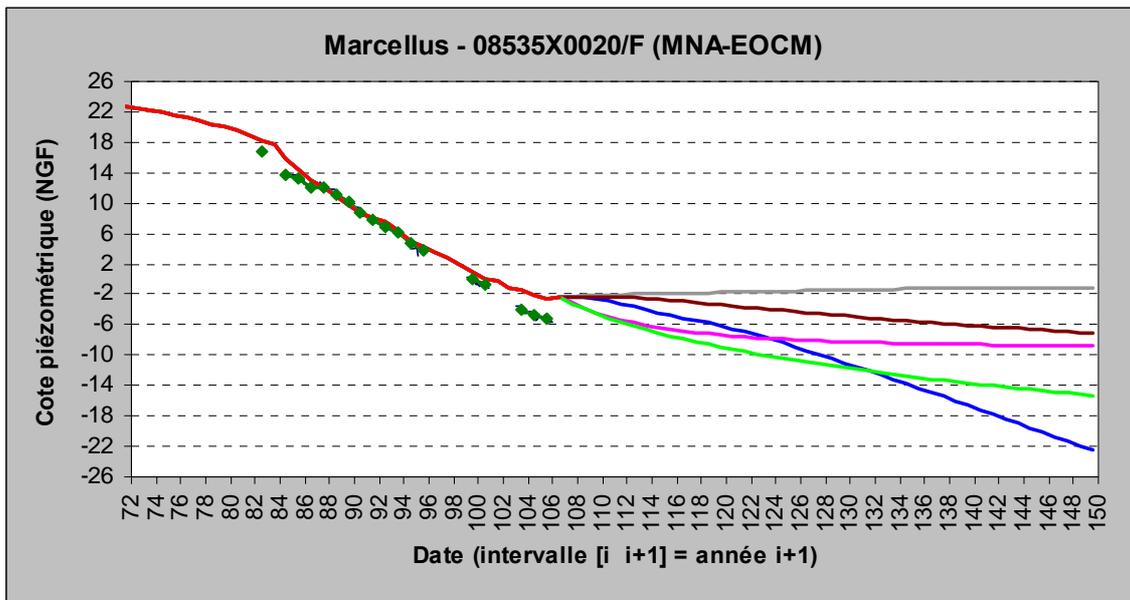




DORDOGNE (24)



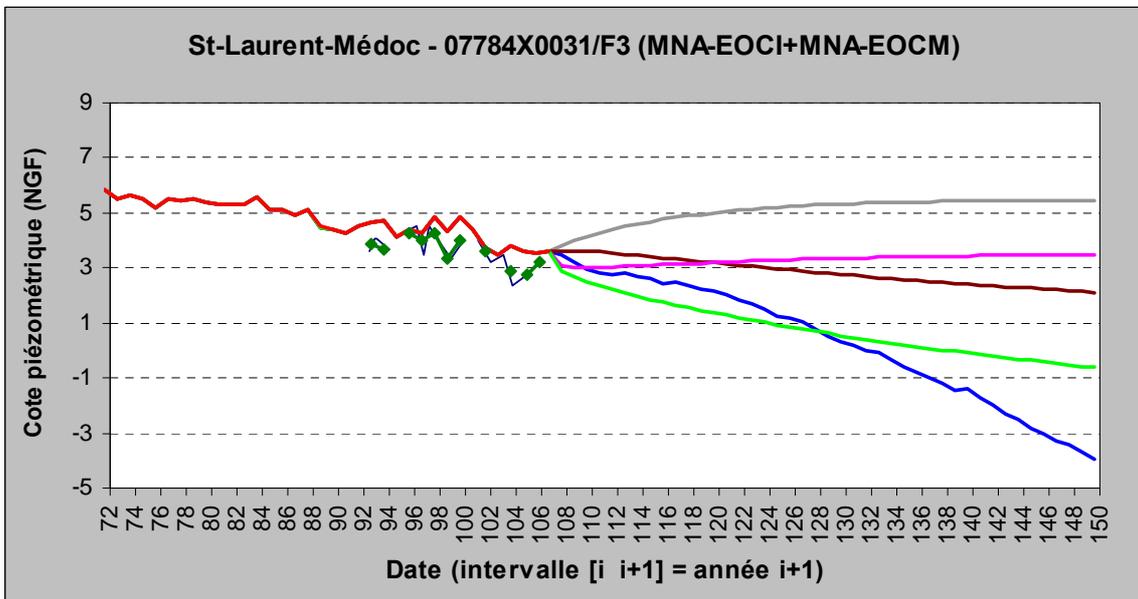
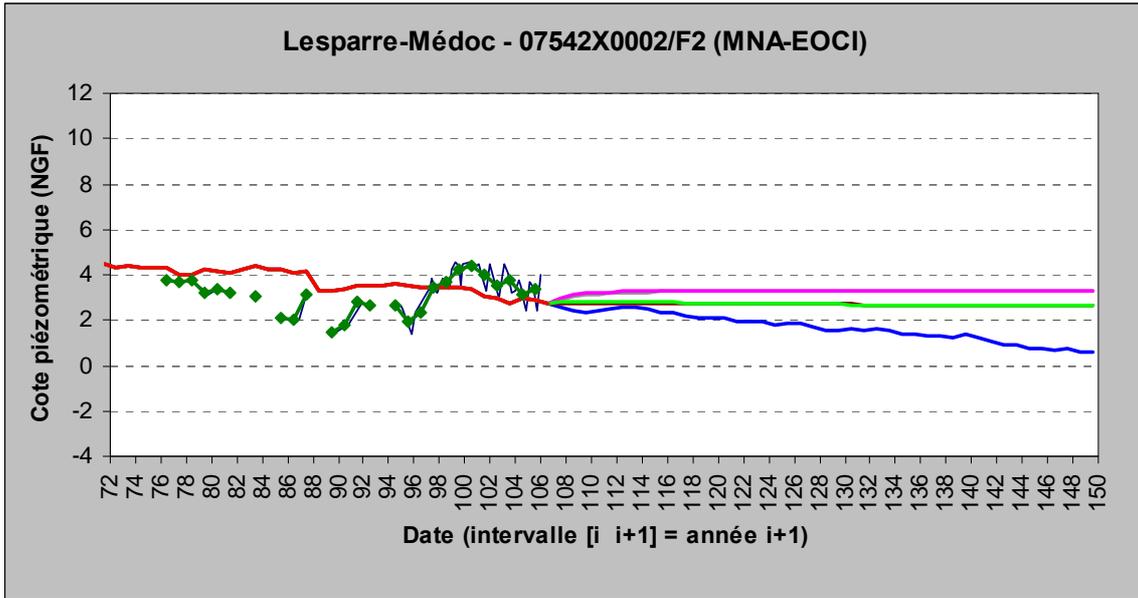
LOT-ET-GARONNE (47)



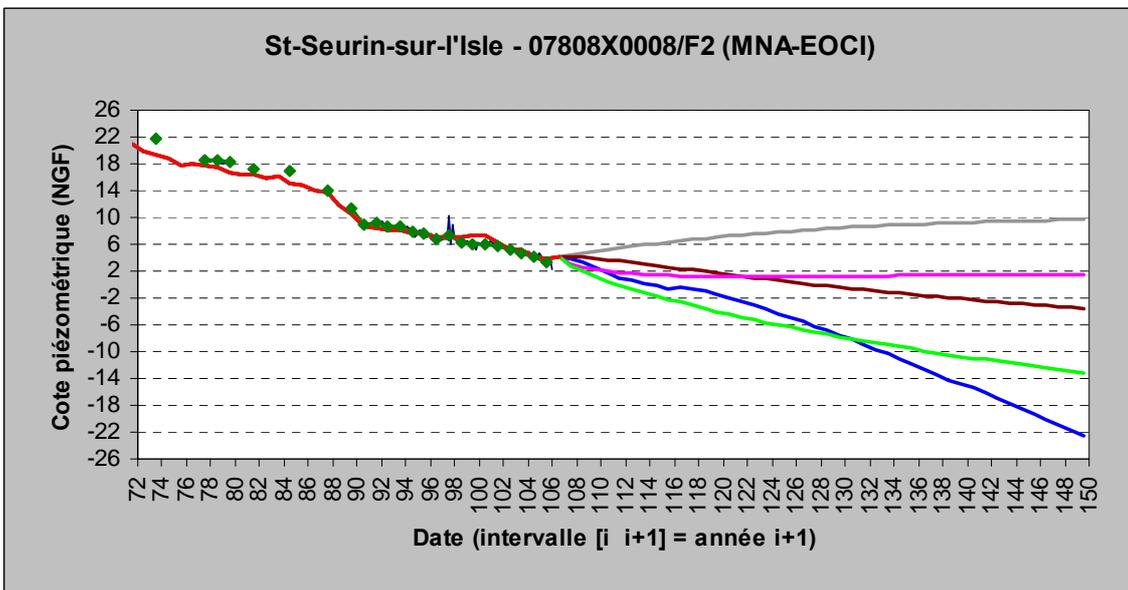
Nappe de l'Eocène inférieur

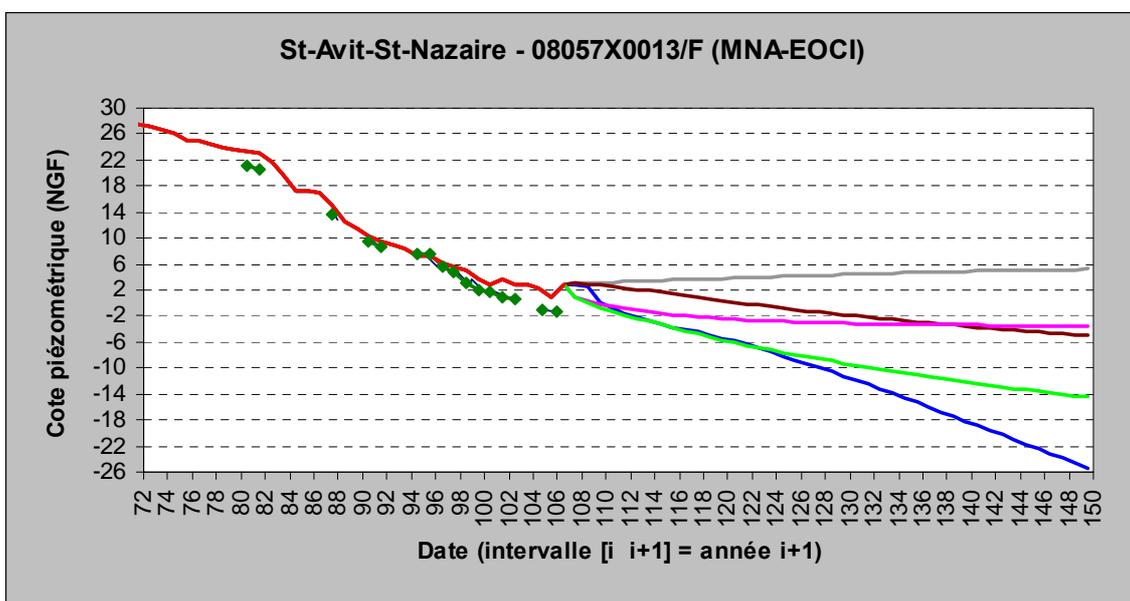
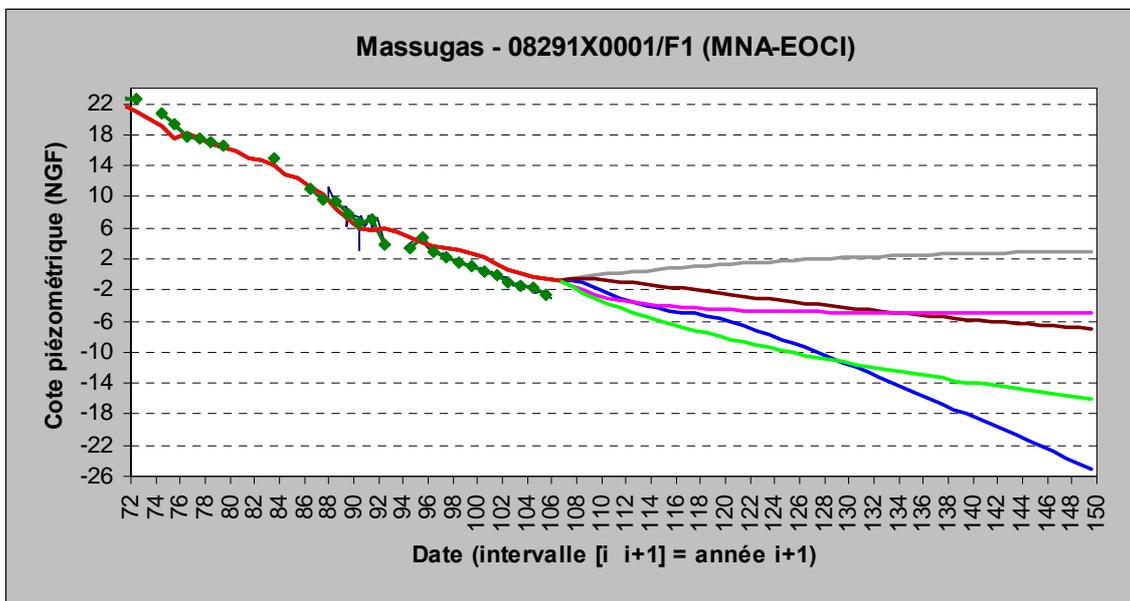
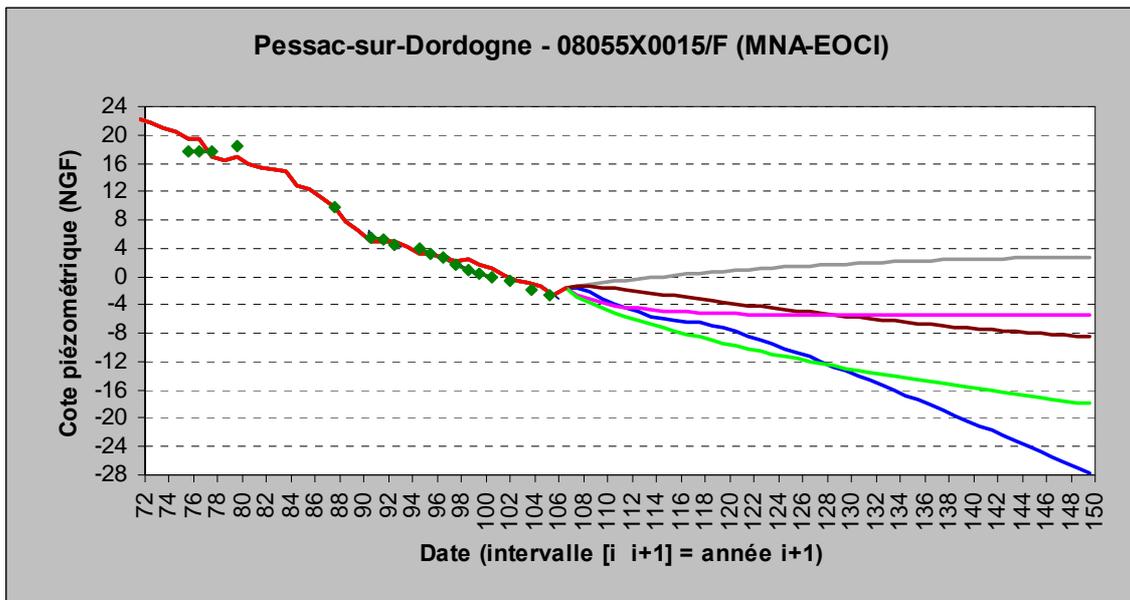
MNA-EOCI

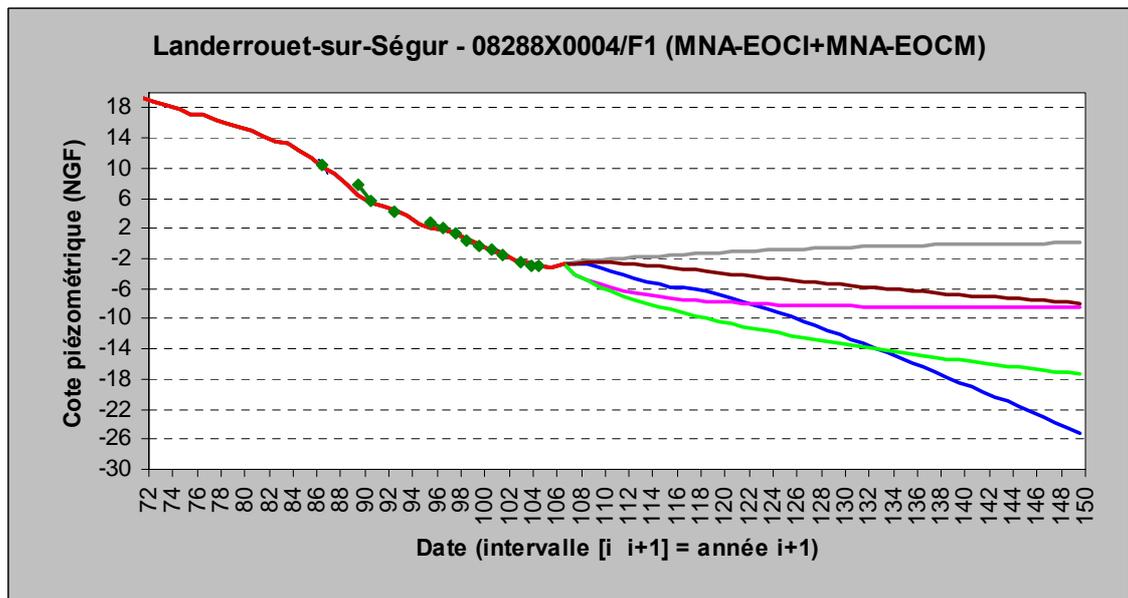
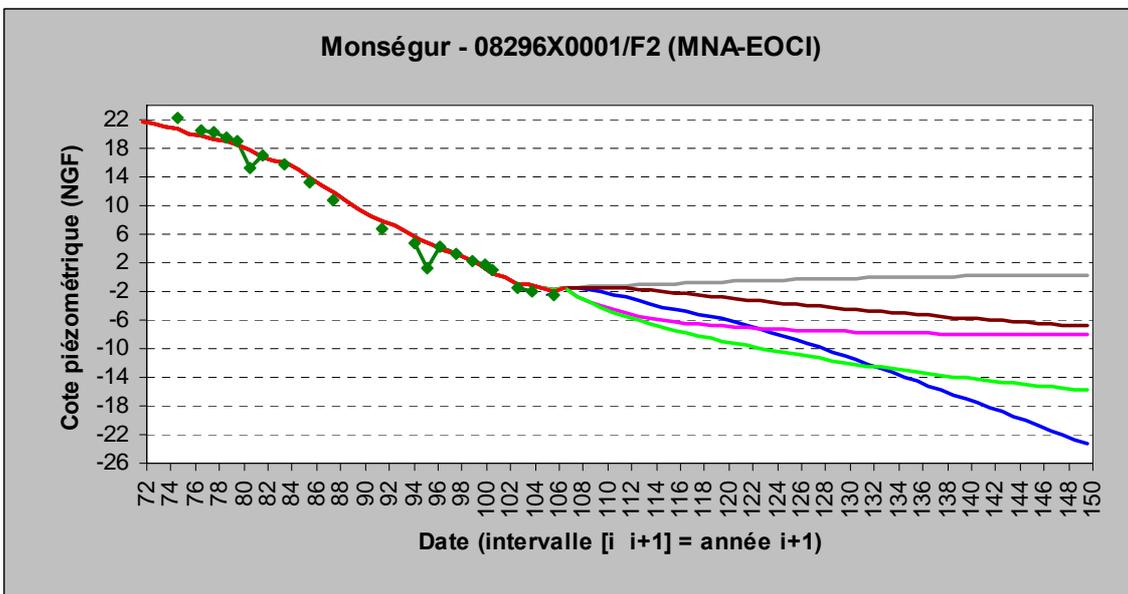
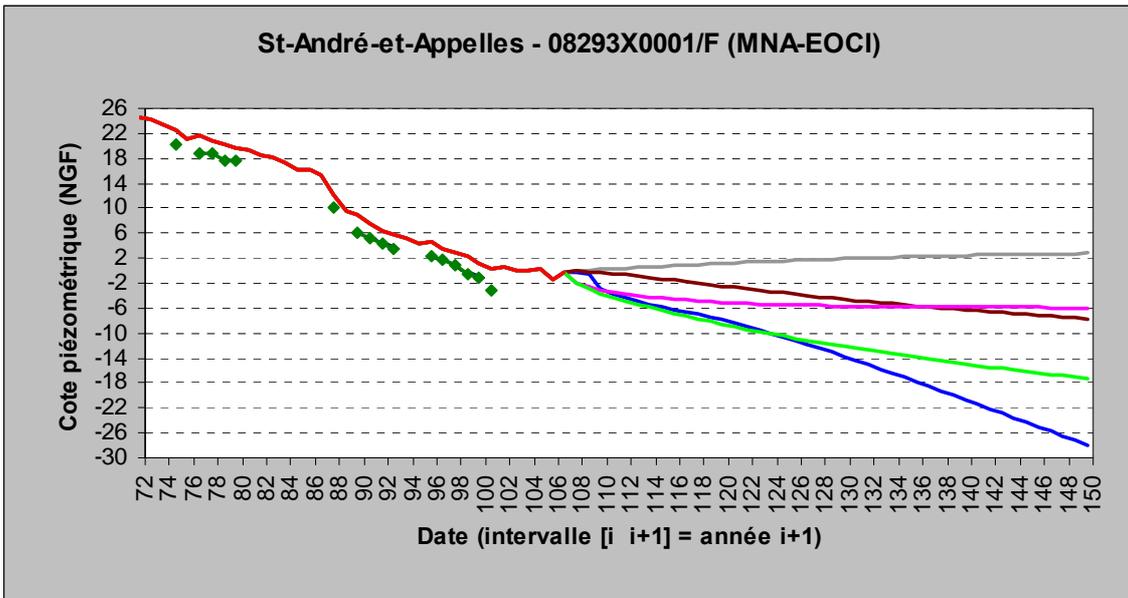
GIRONDE (33) (UG_MEDOC)



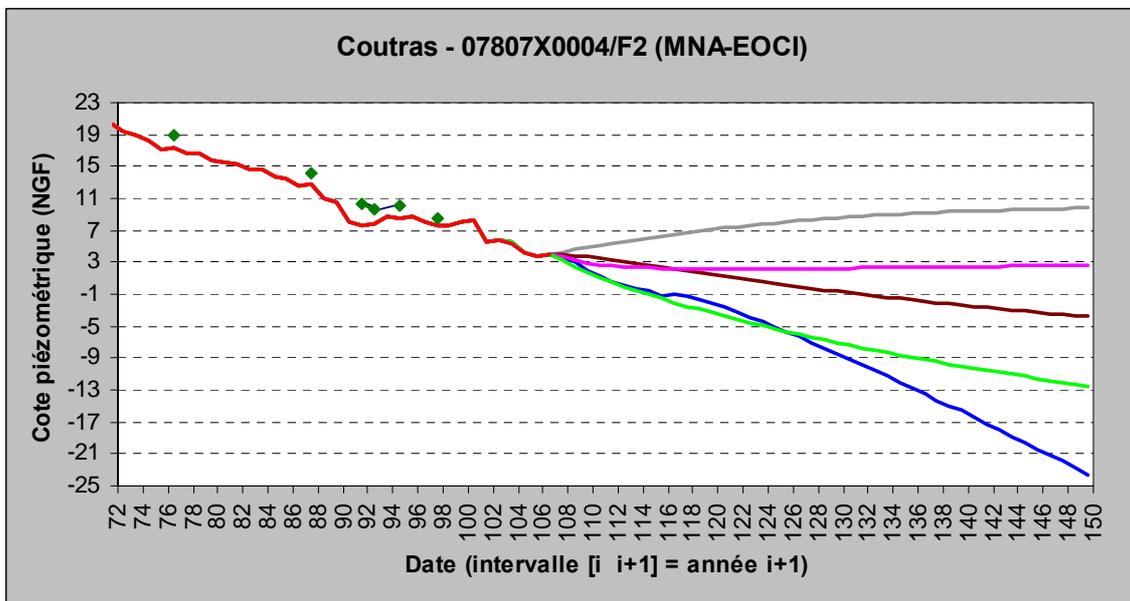
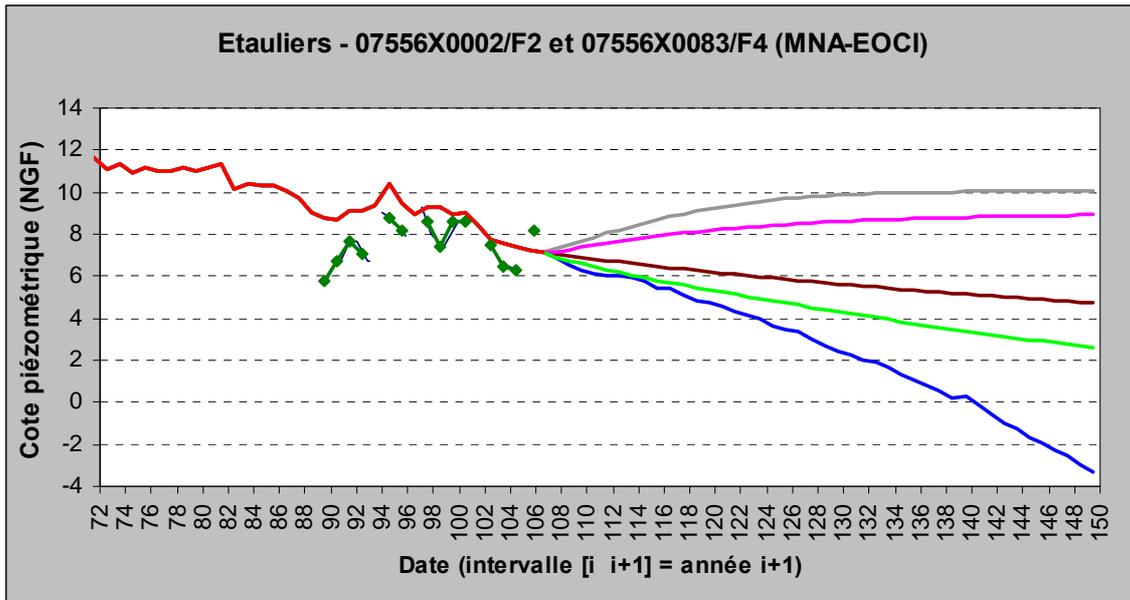
GIRONDE (33) (UG_CENTRE)



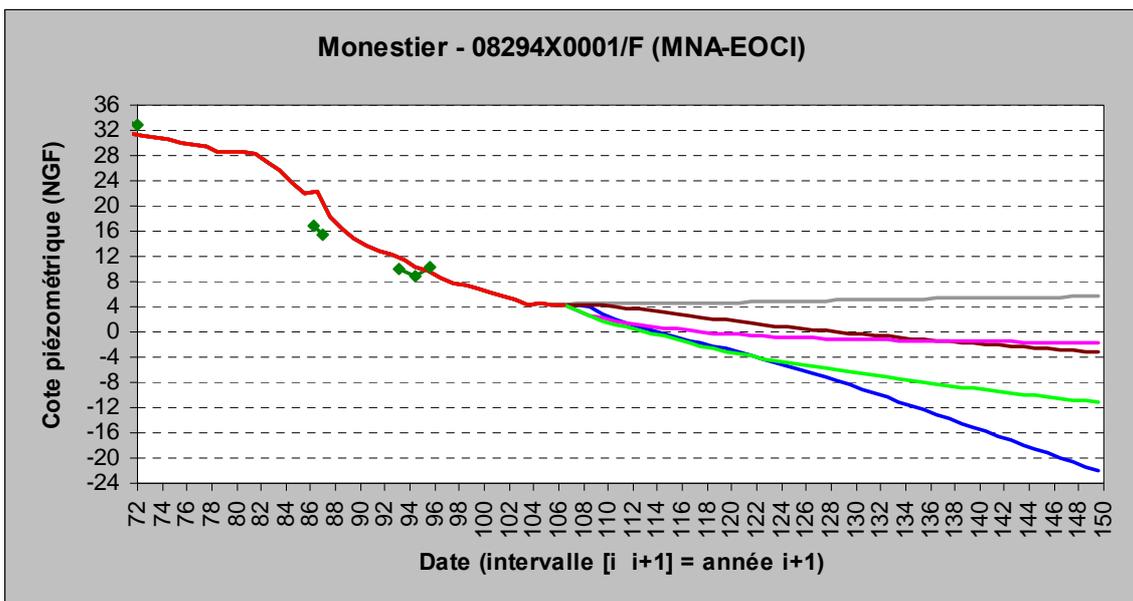
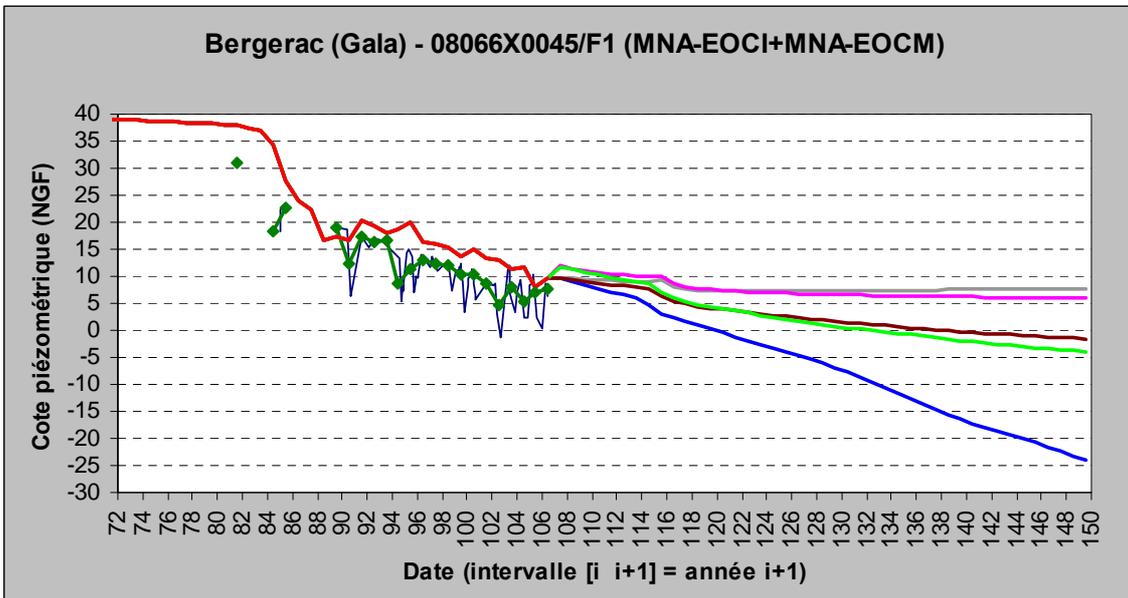
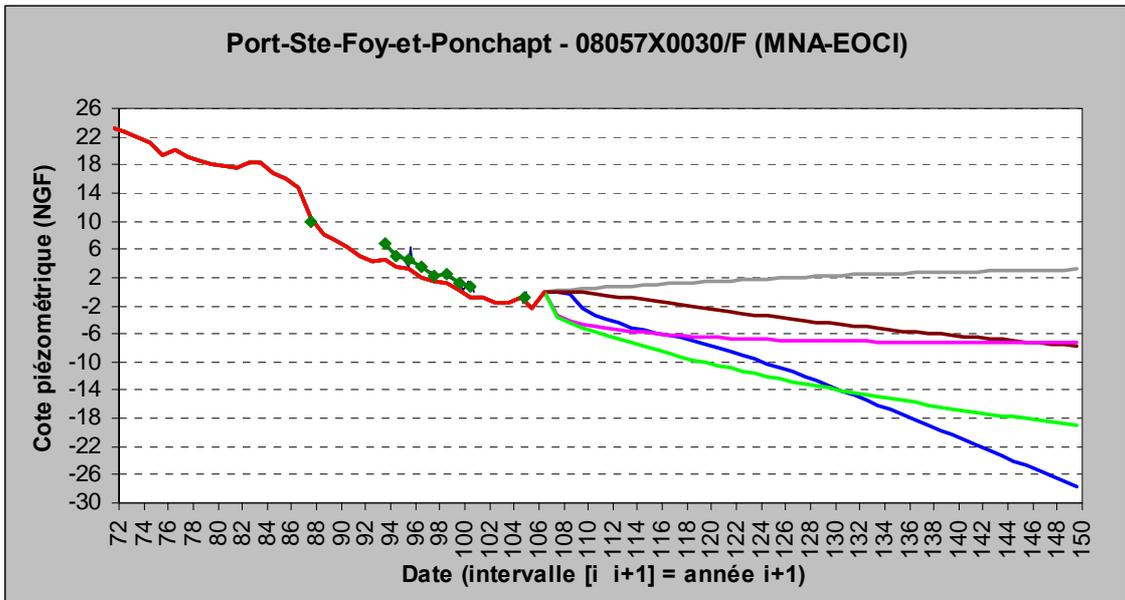




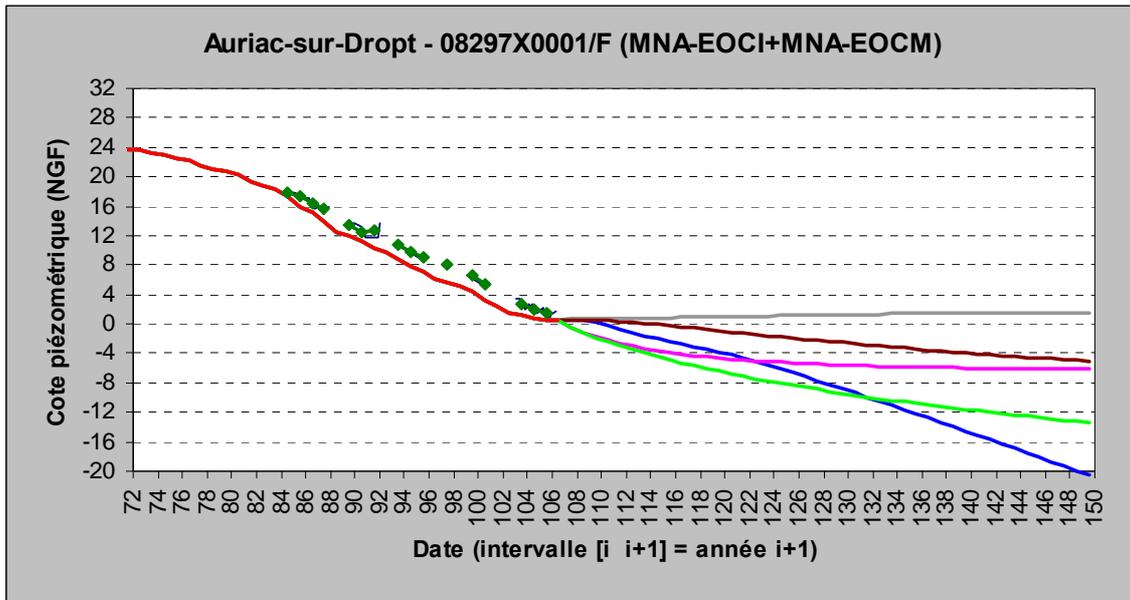
GIRONDE (33) (UG_NORD)



DORDOGNE (24)



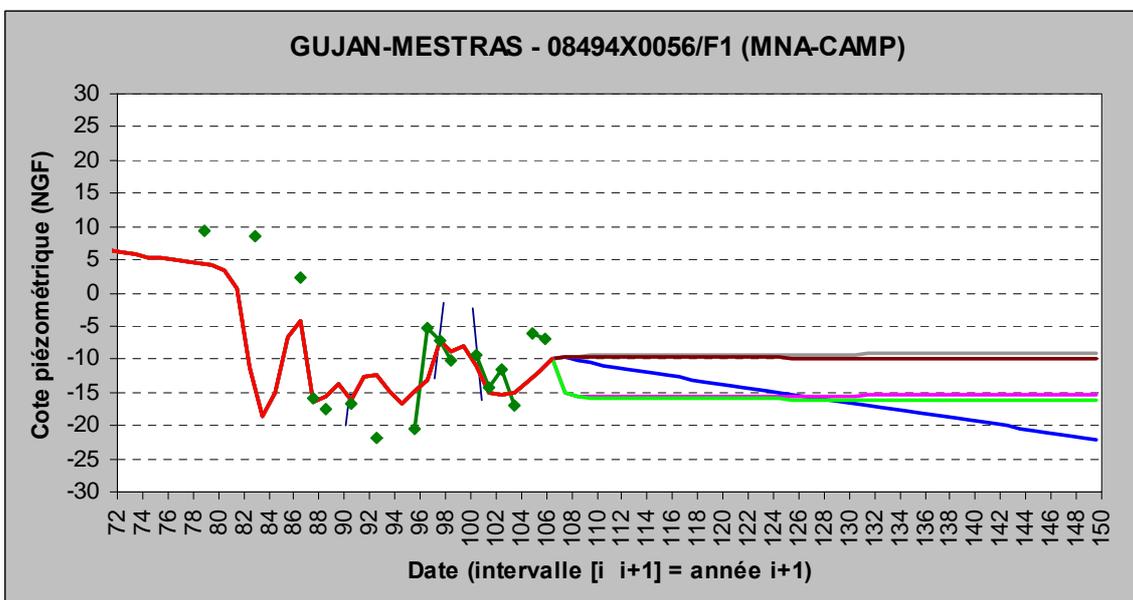
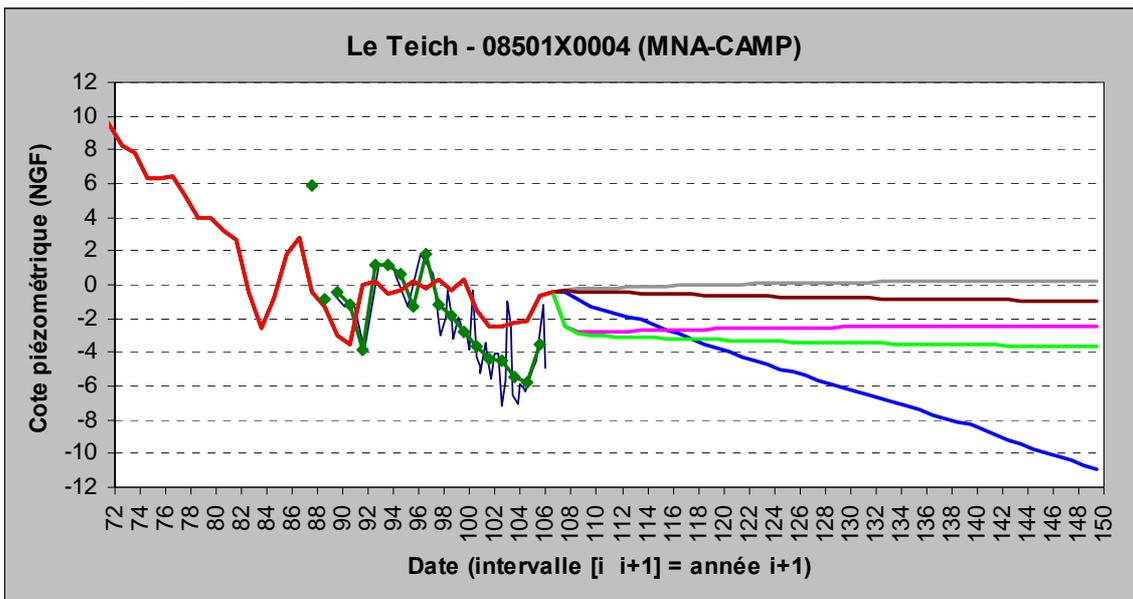
LOT-ET-GARONNE (47)



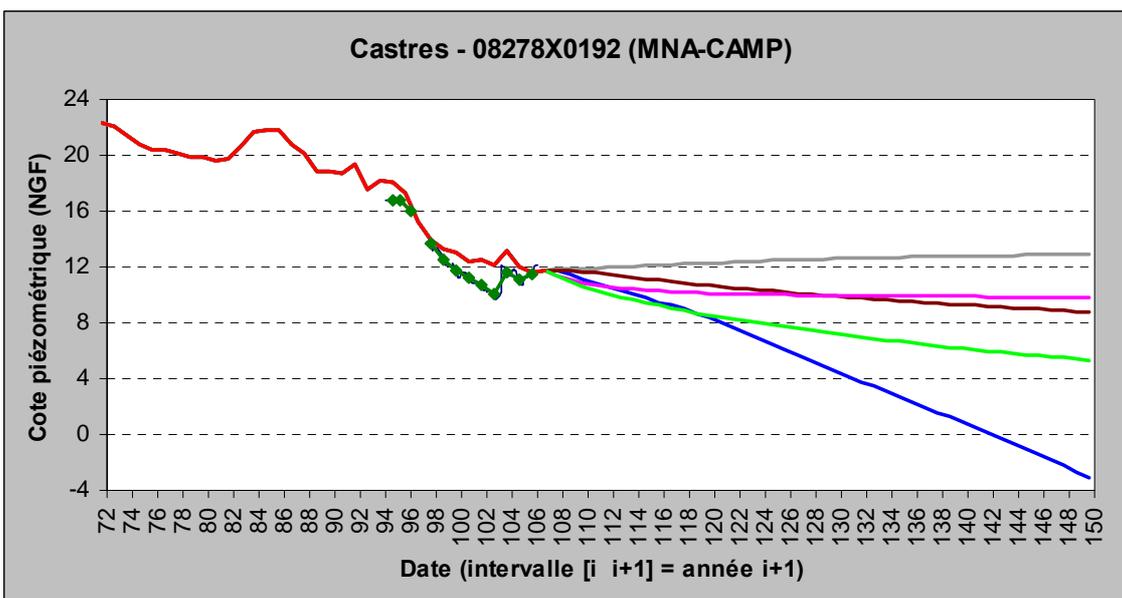
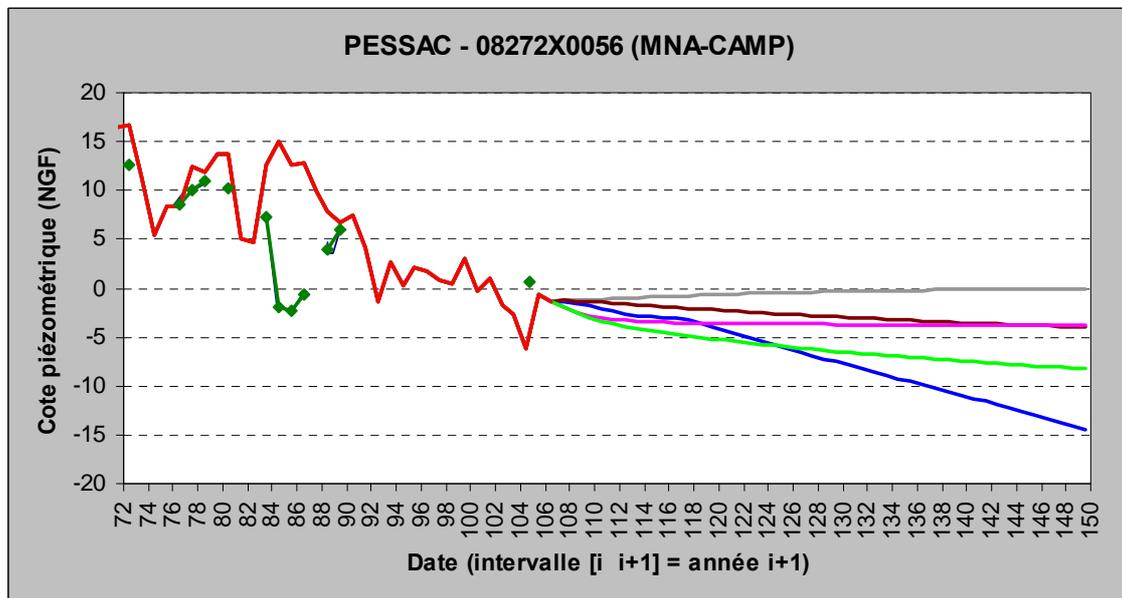
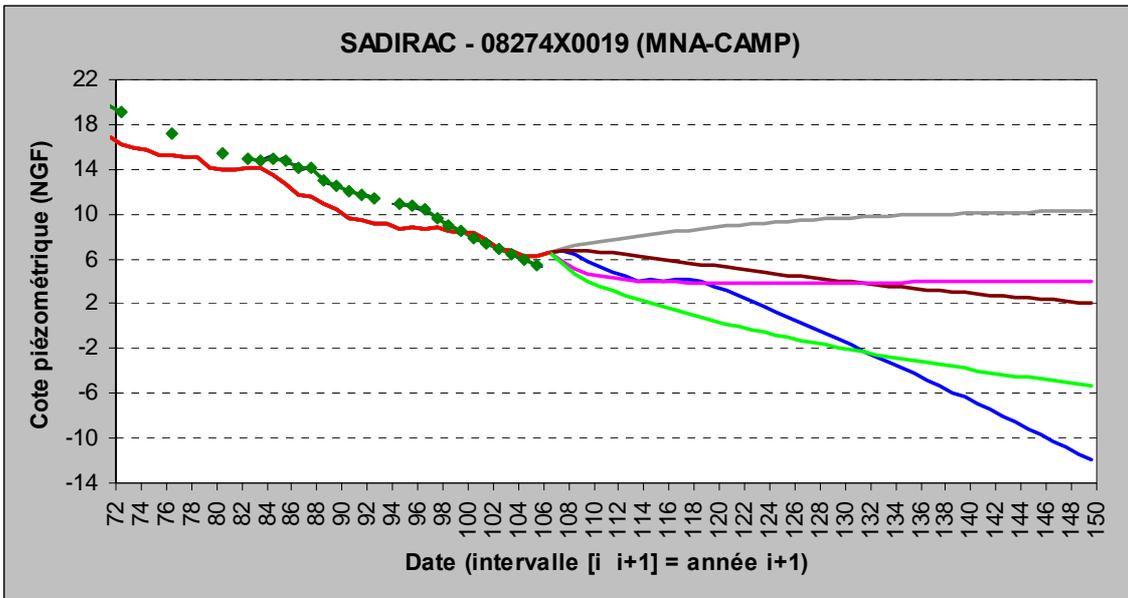
Nappe du Campano-Maastrichtien

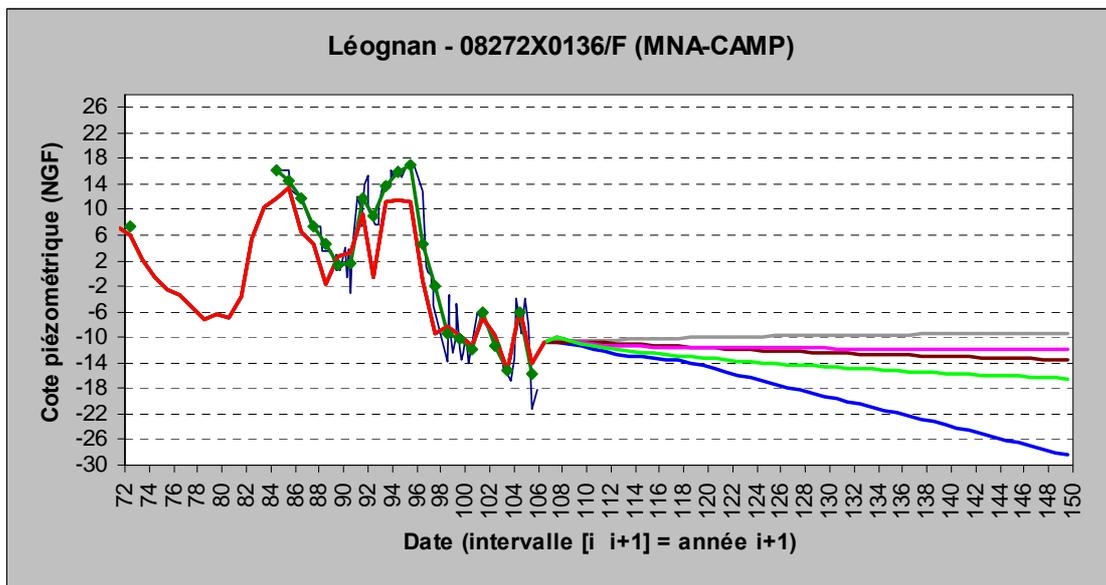
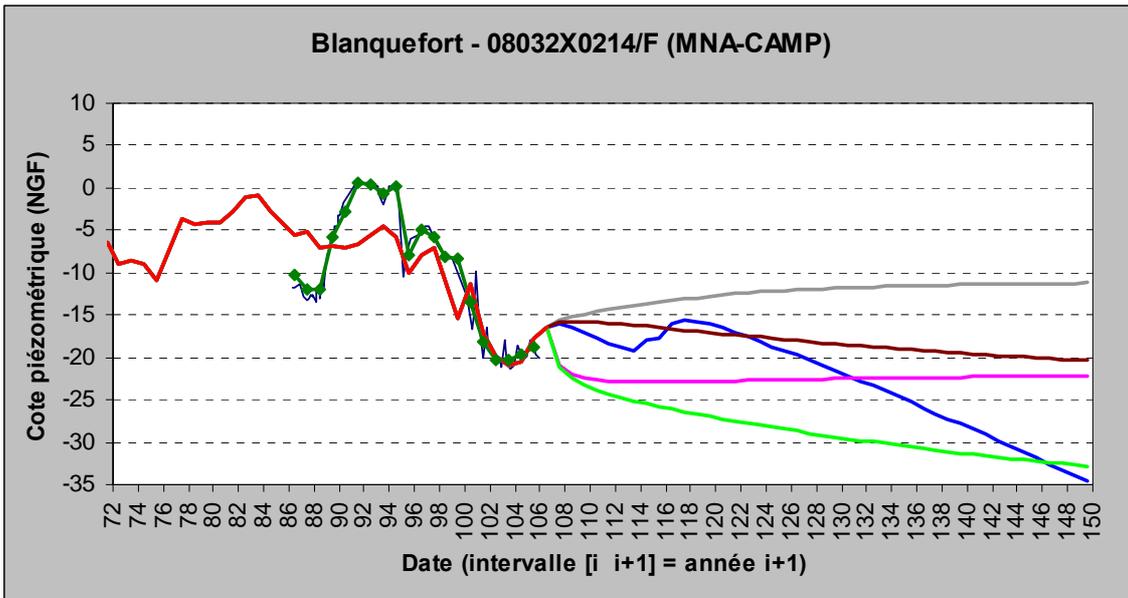
MNA-CAMP

GIRONDE (33) (UG_LITTORAL)

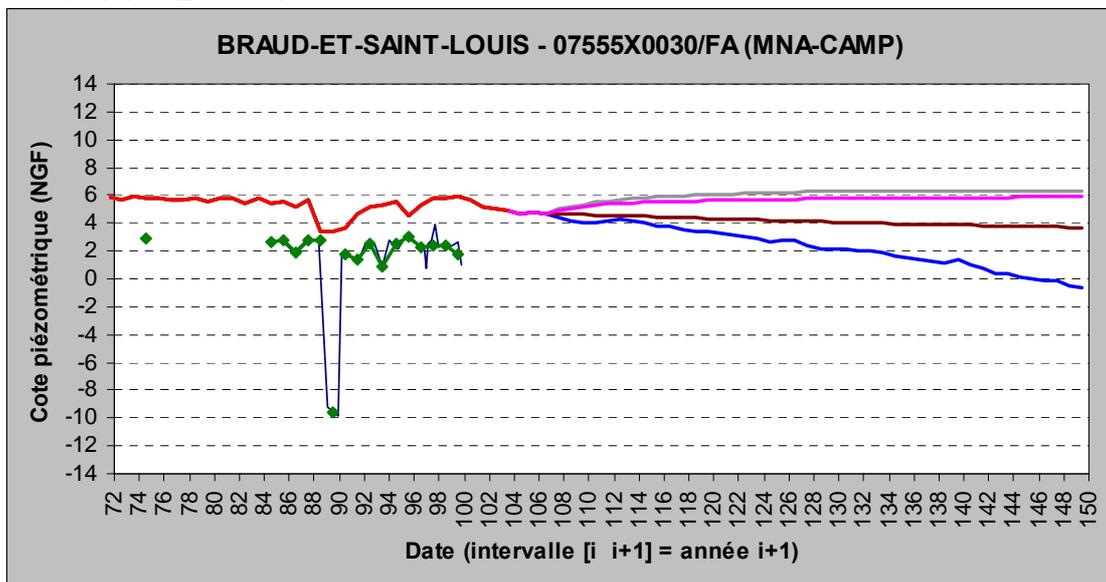


GIRONDE (33) (UG_CENTRE)

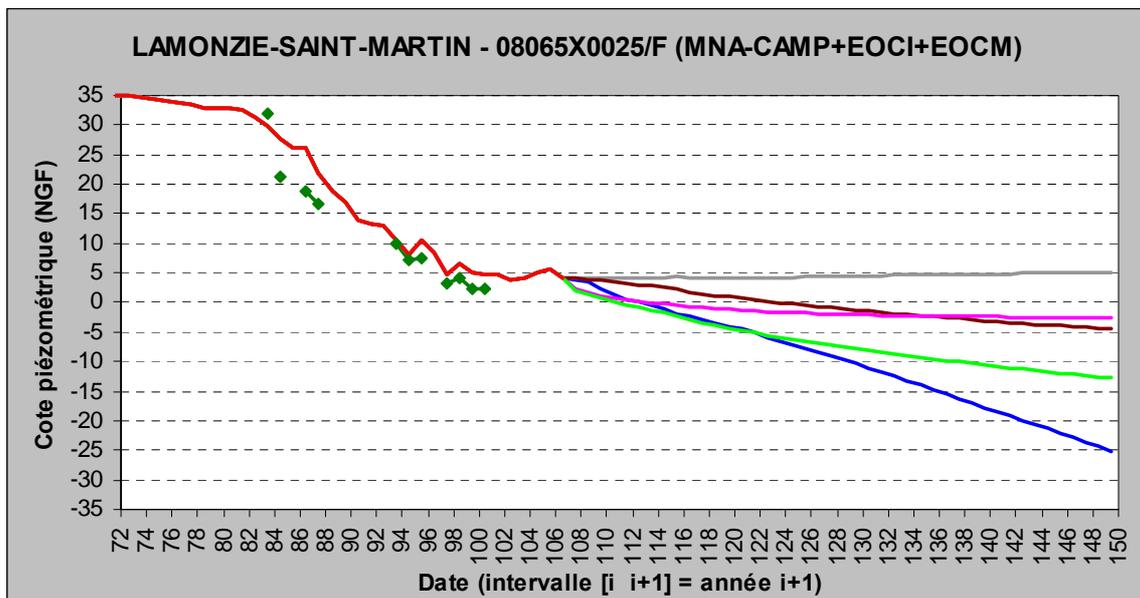
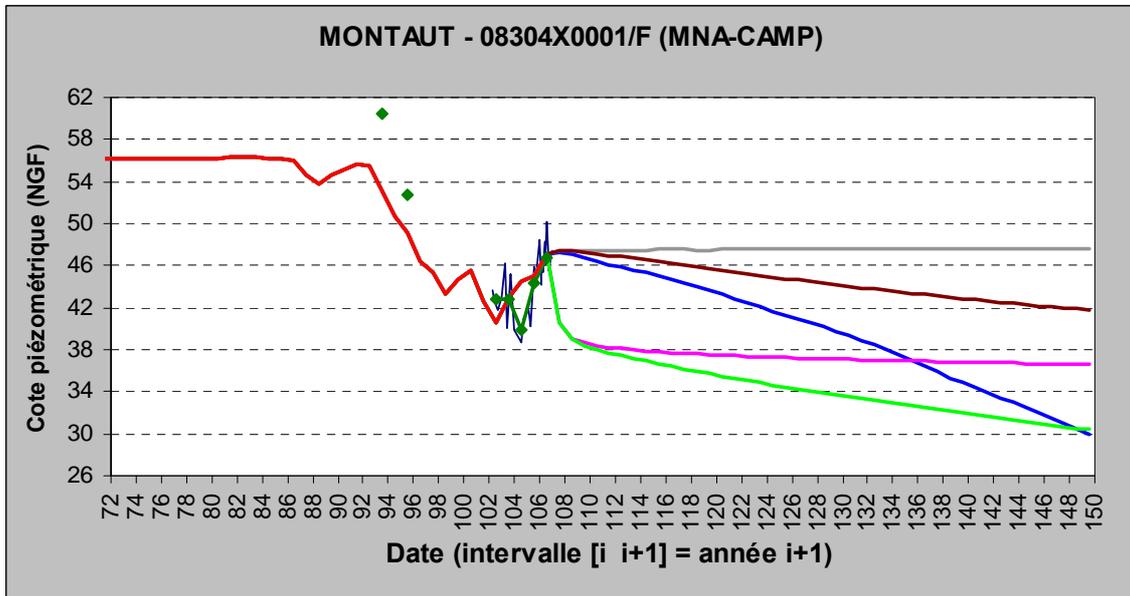
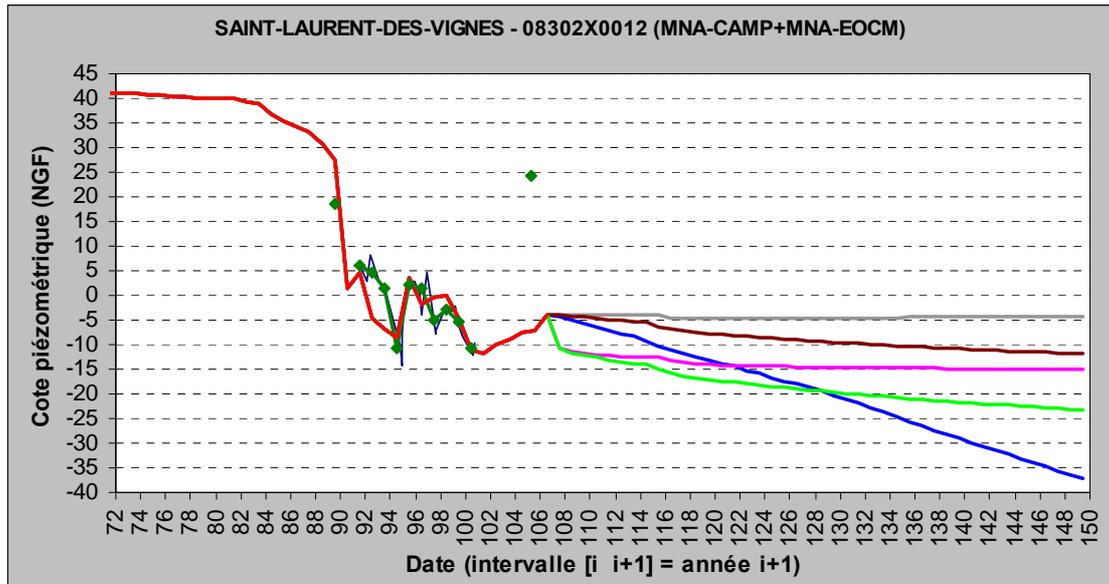


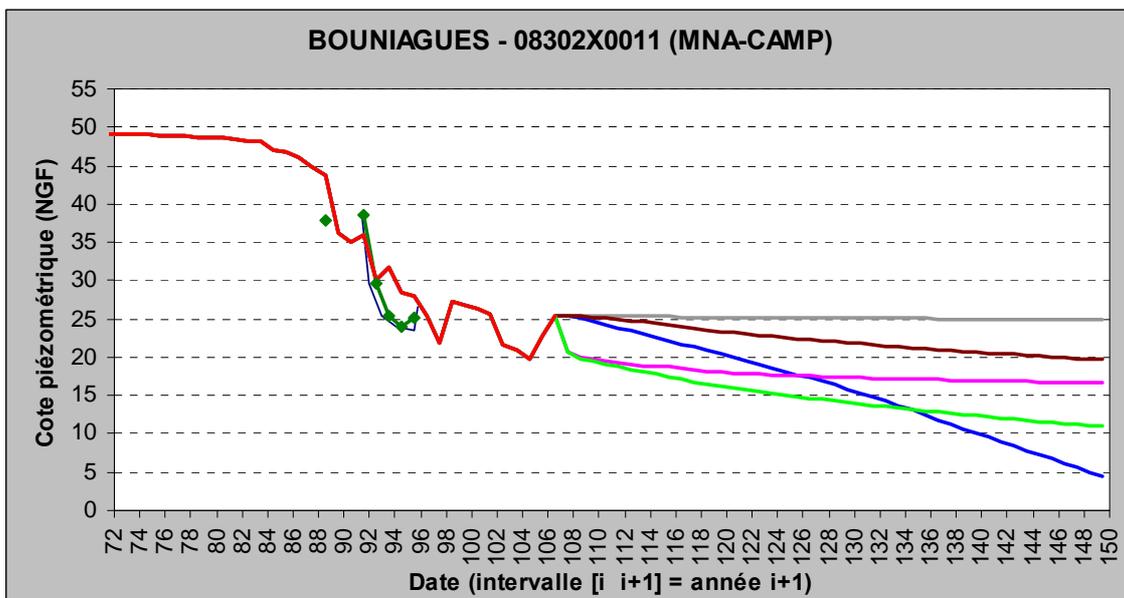


GIRONDE (33) (UG_NORD)

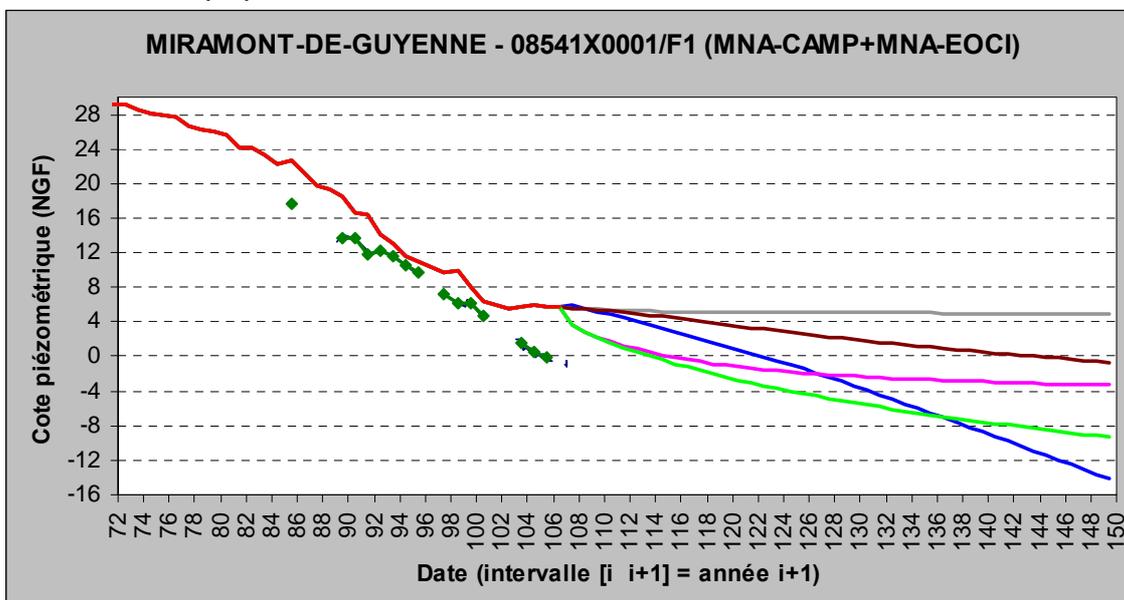


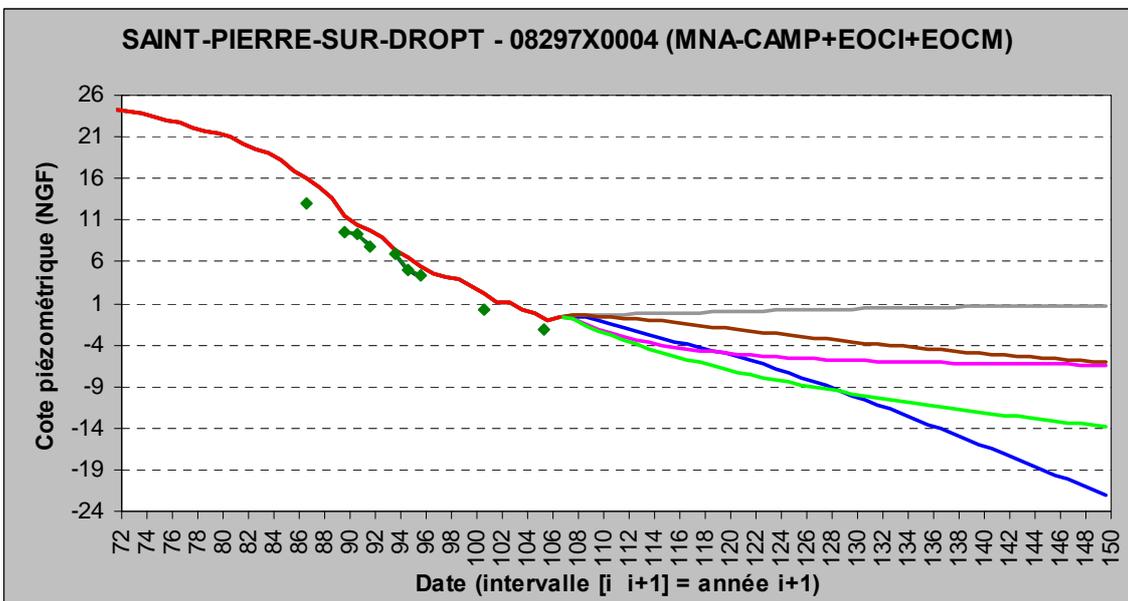
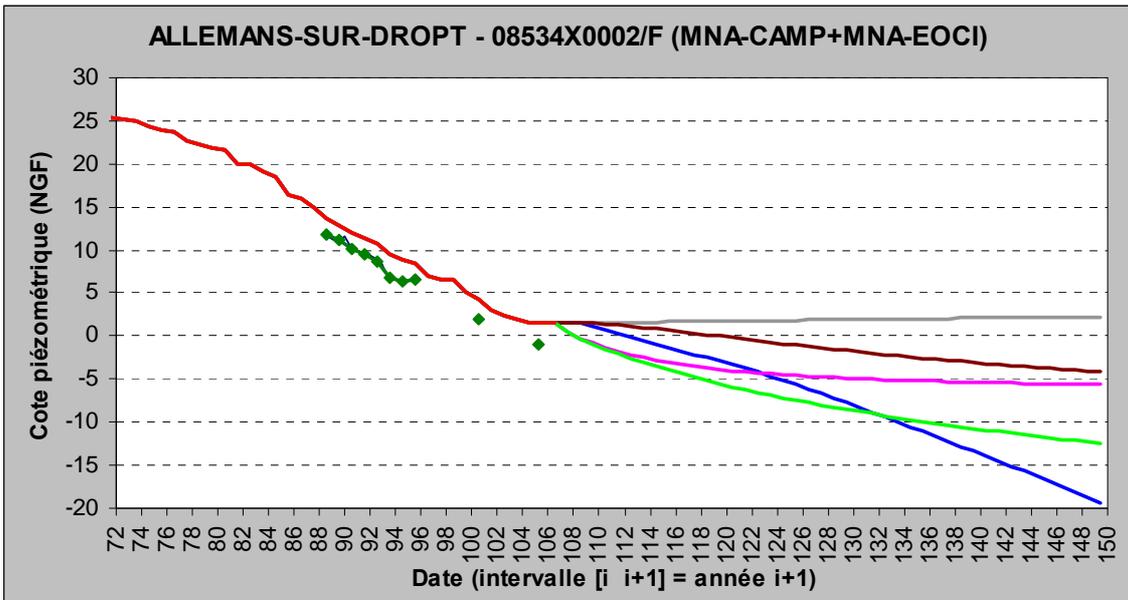
DORDOGNE (24)





LOT-ET-GARONNE (47)

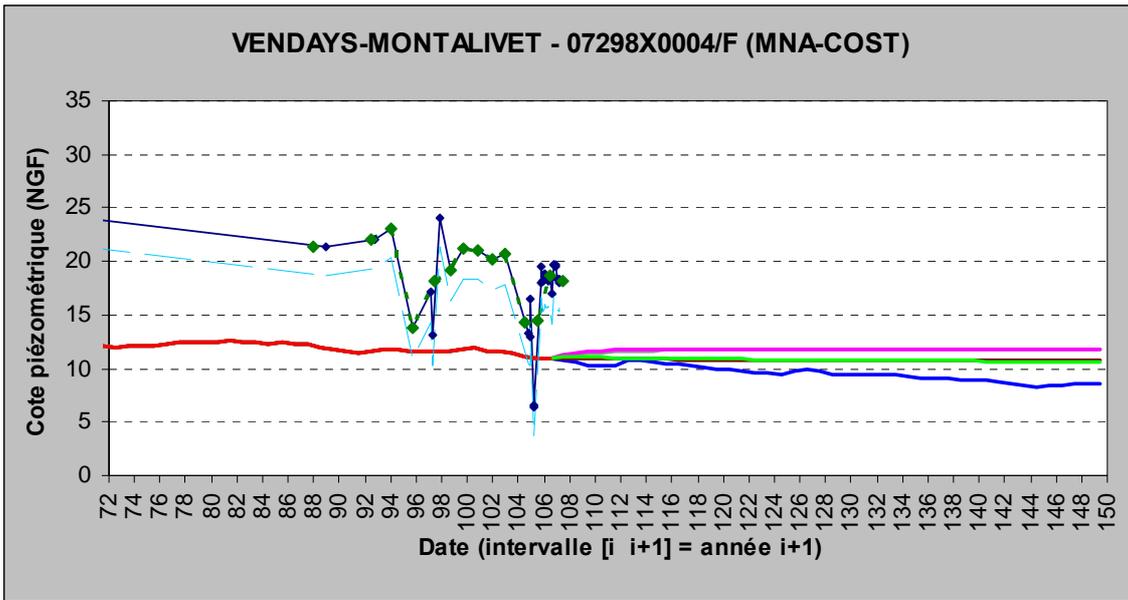




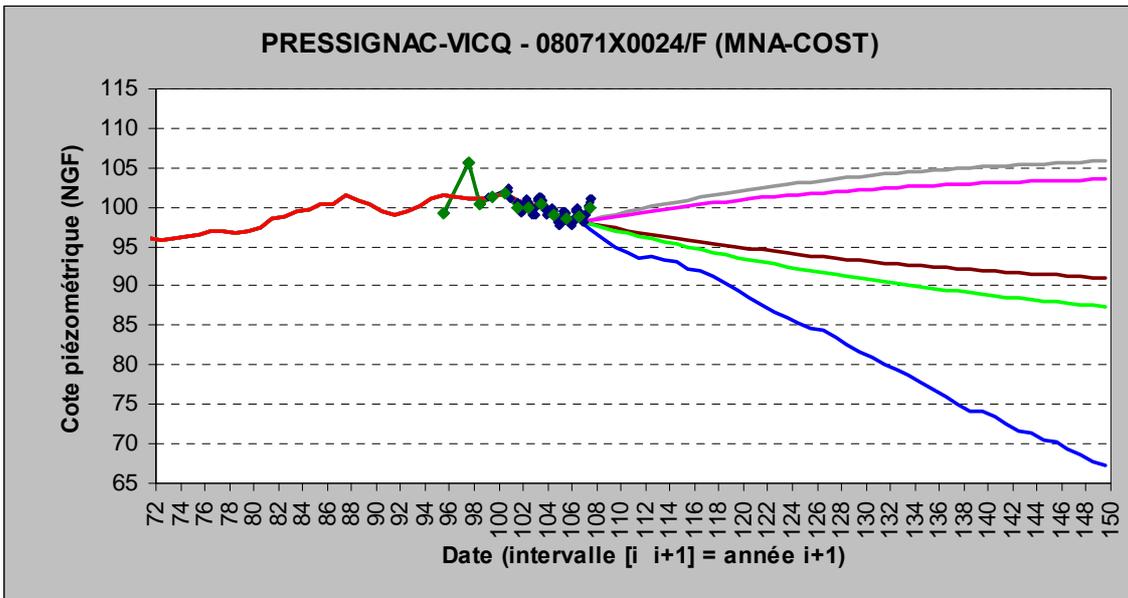
Nappe du Coniacien-Santonien

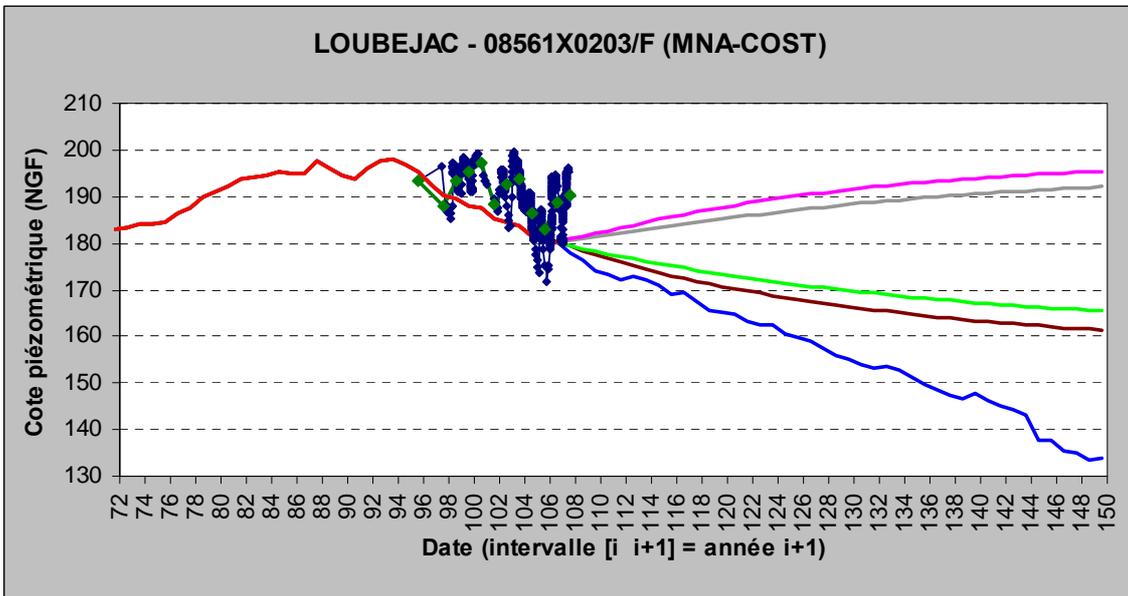
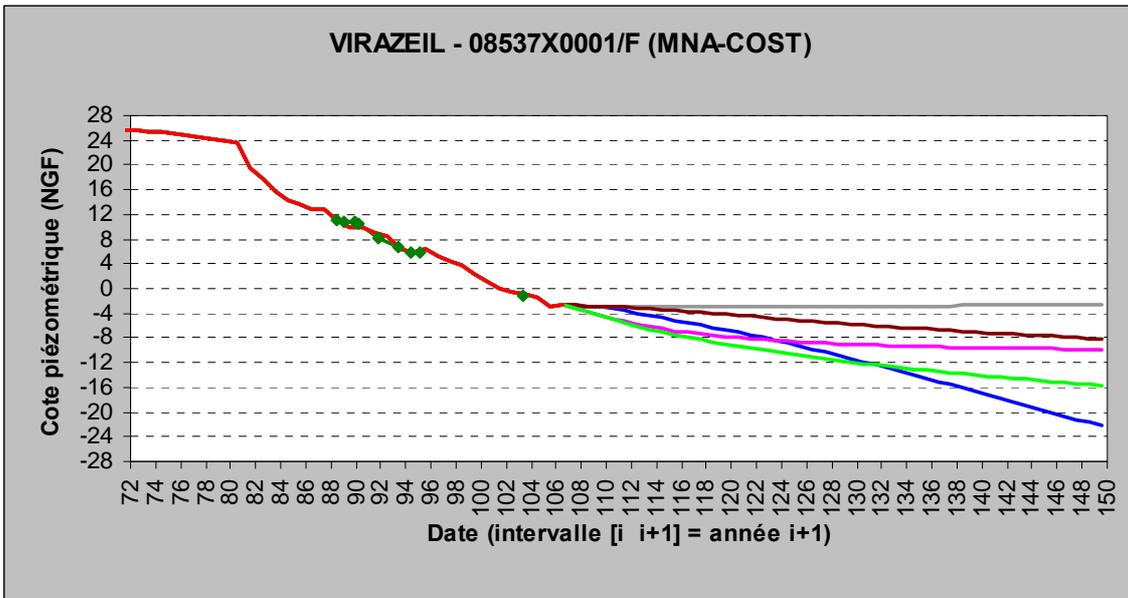
MNA-COST

GIRONDE (33) (UG_LITTORAL)

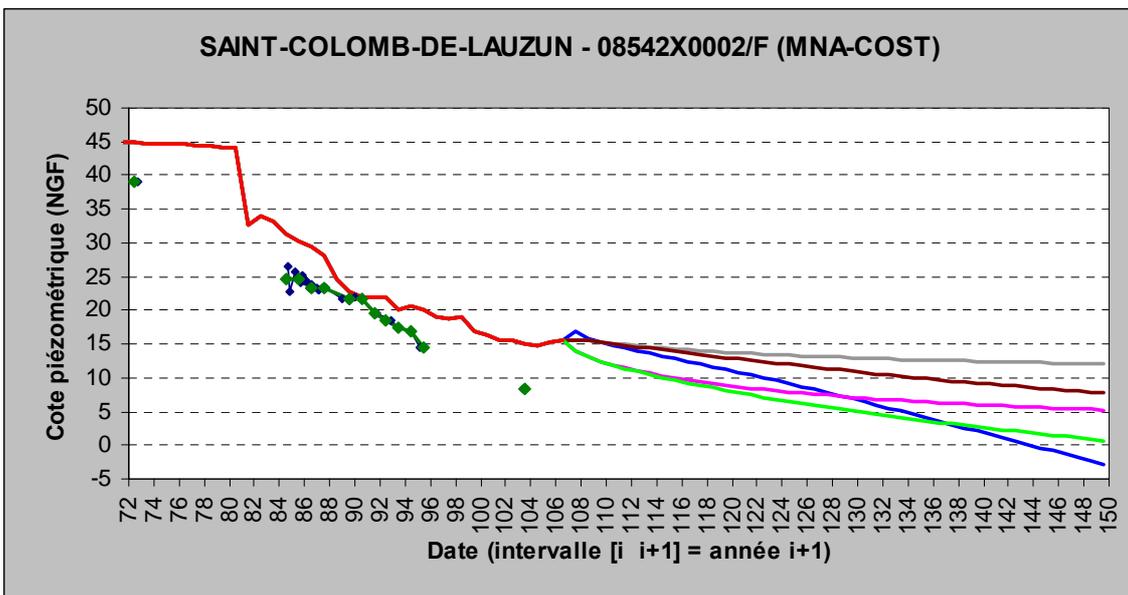


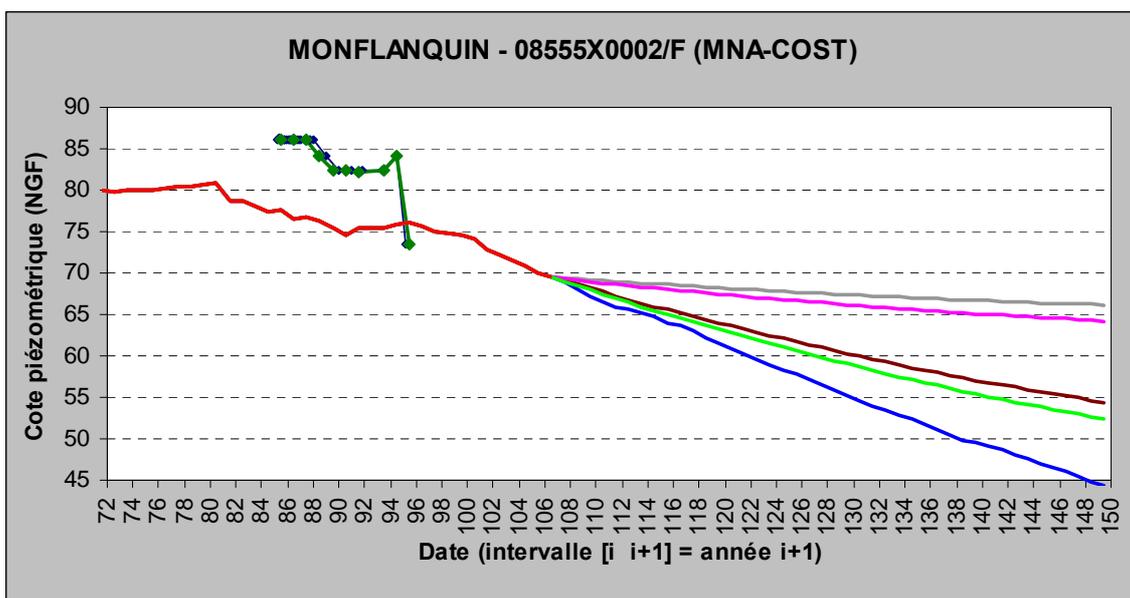
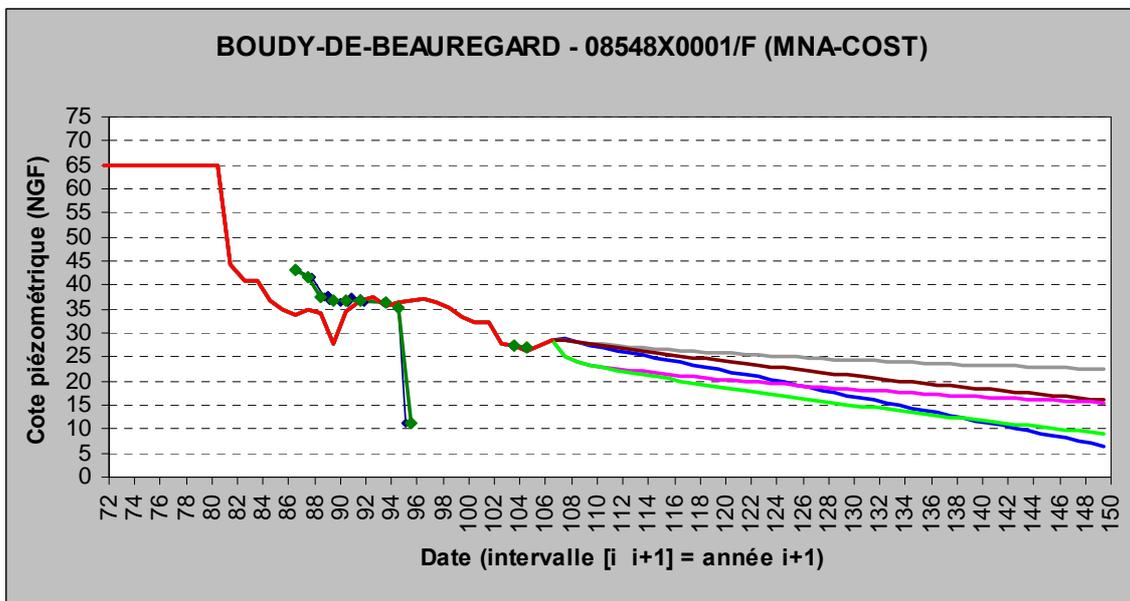
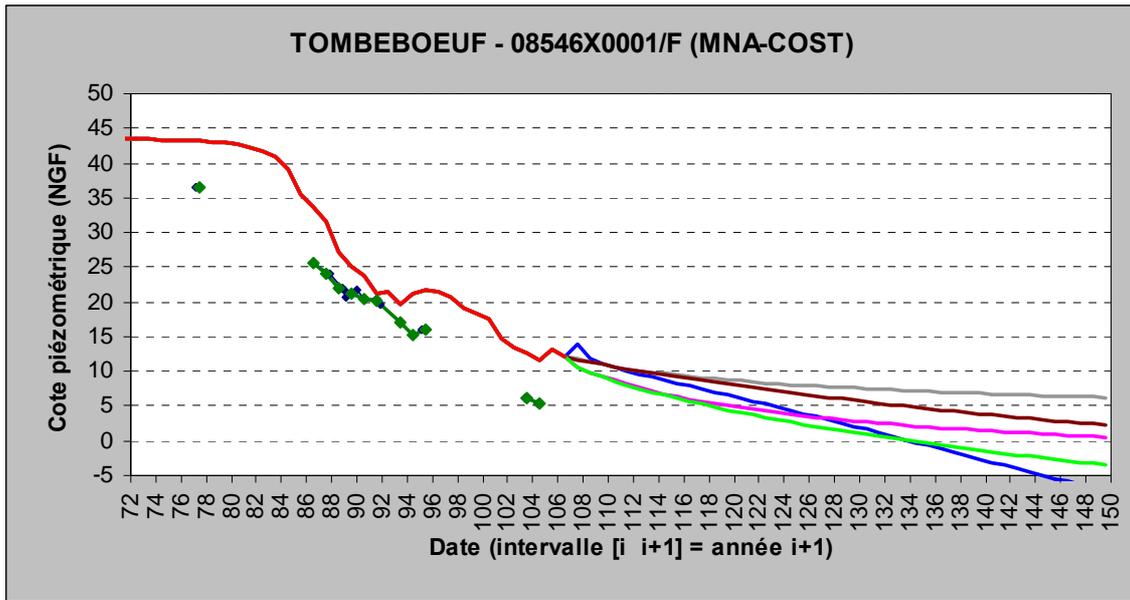
DORDOGNE (24)

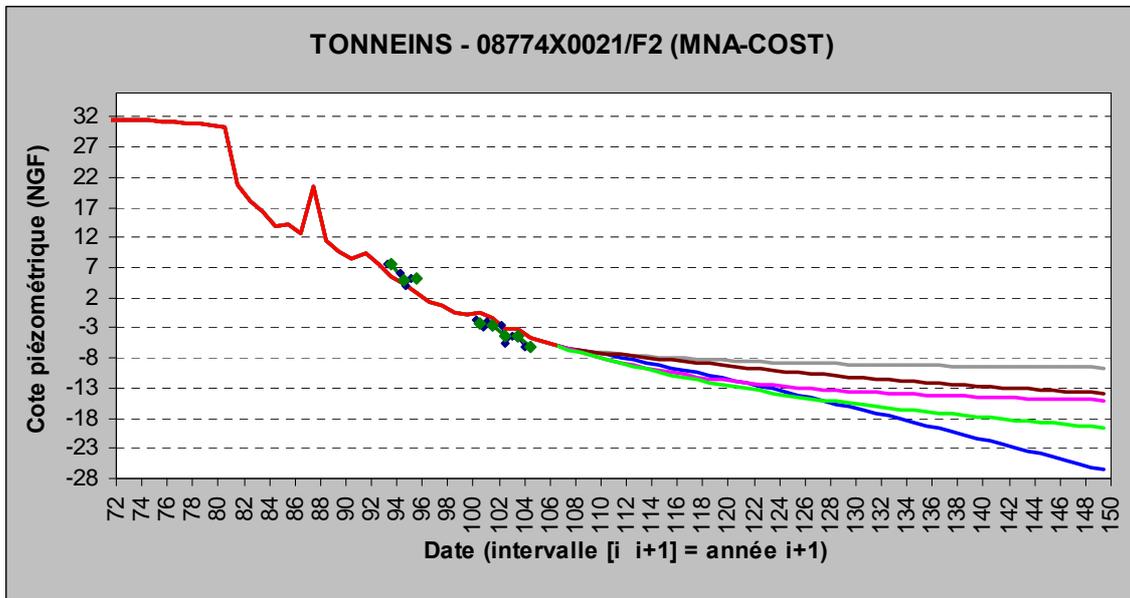
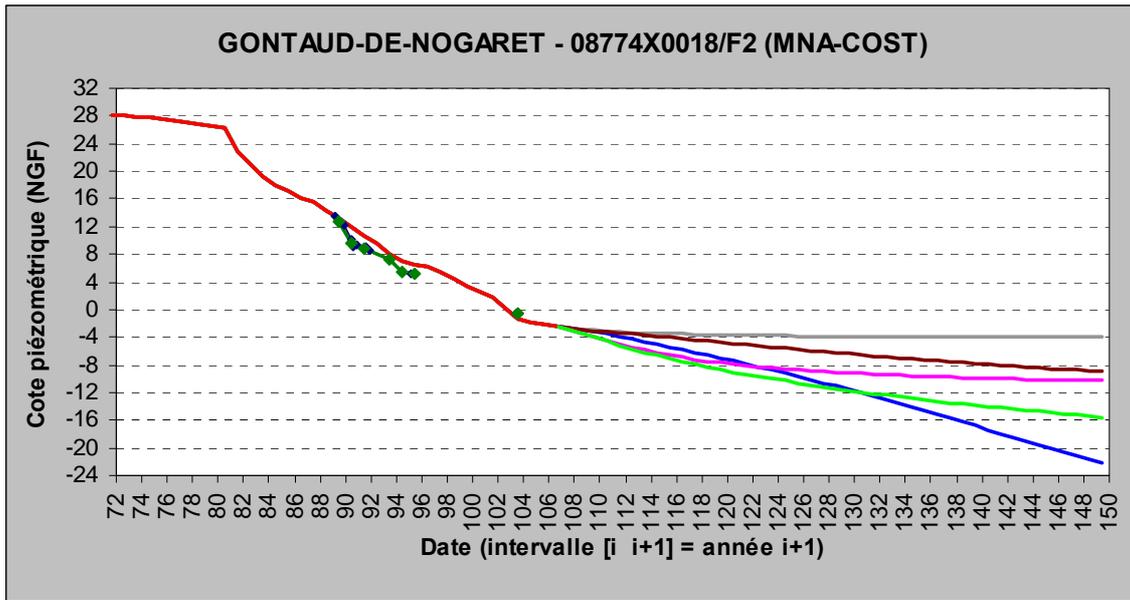




LOT-ET-GARONNE (47)



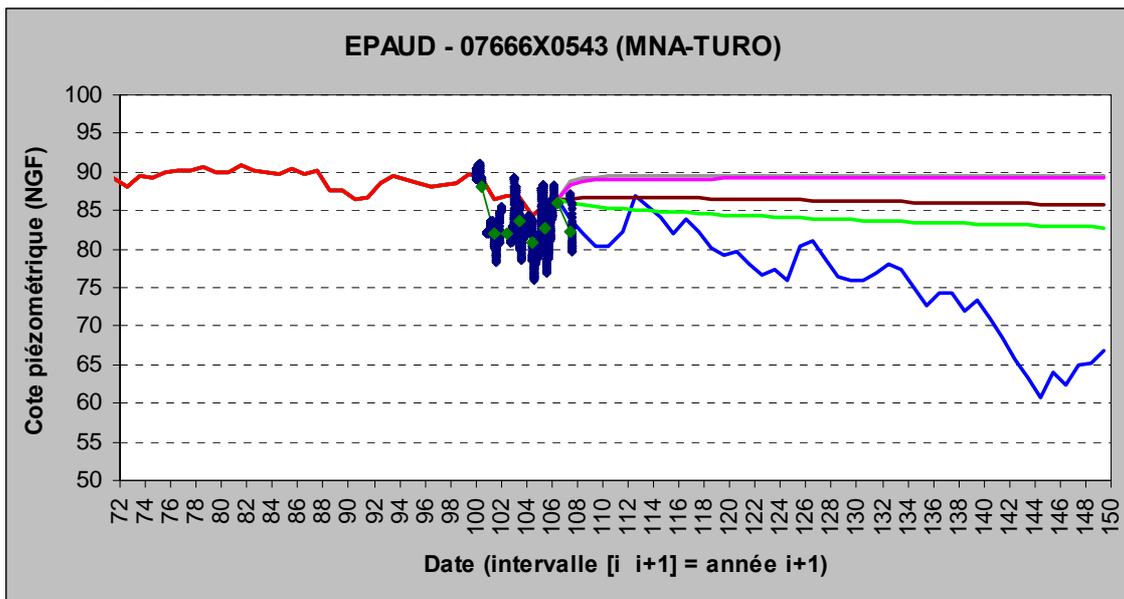




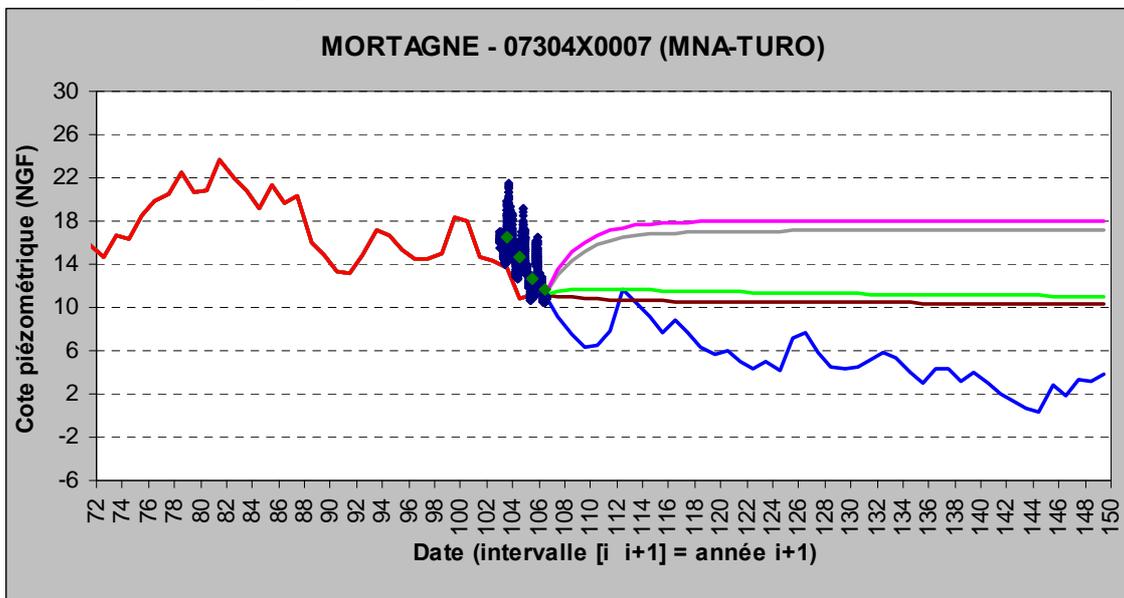
Nappe du Turonien

MNA-TURO

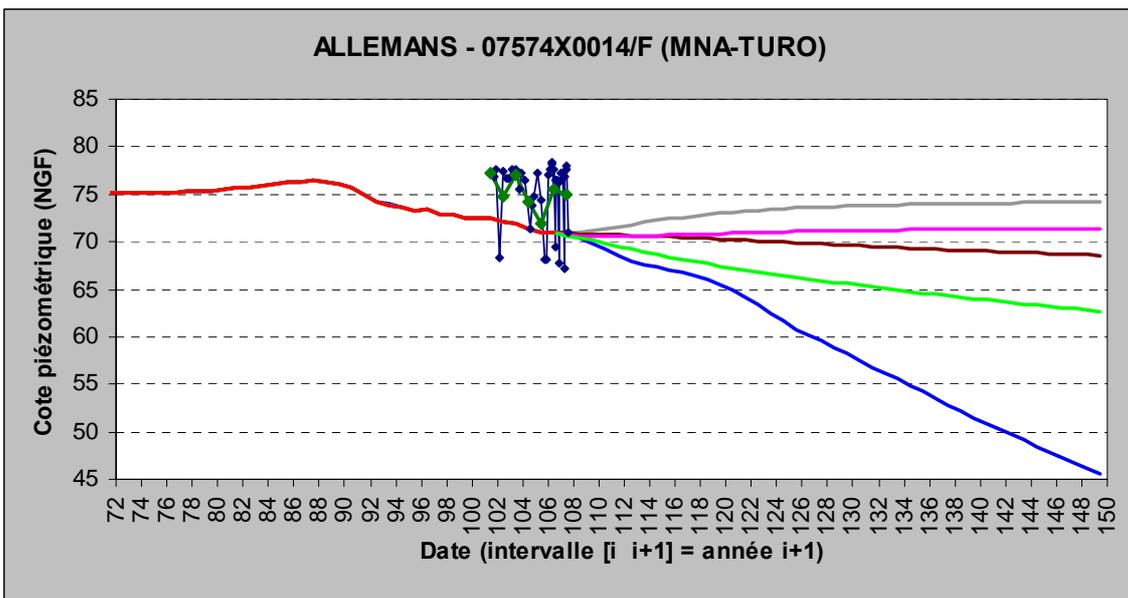
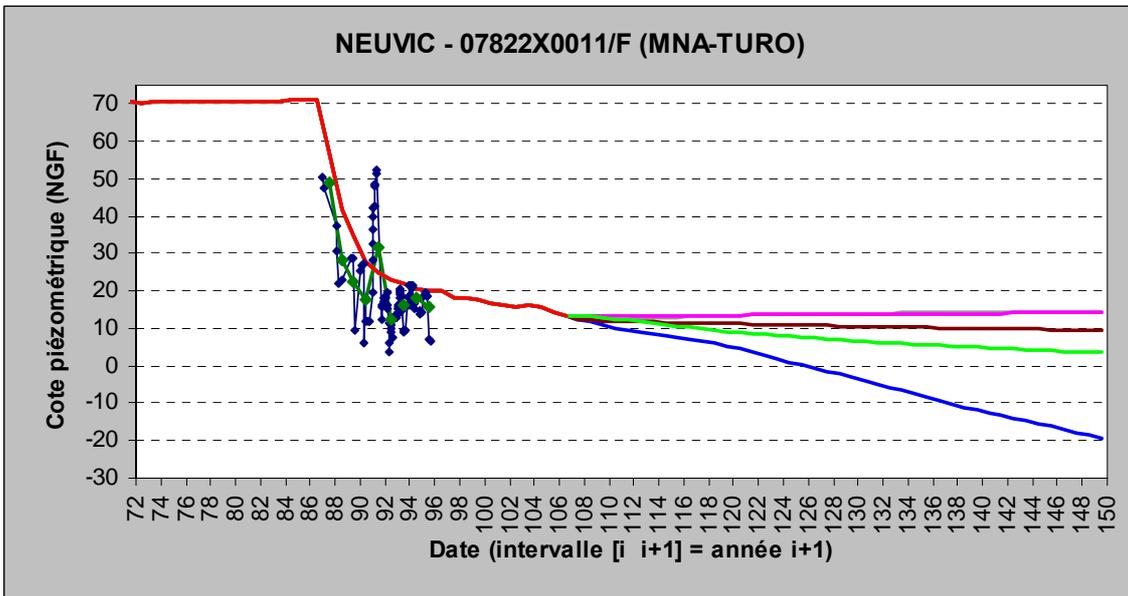
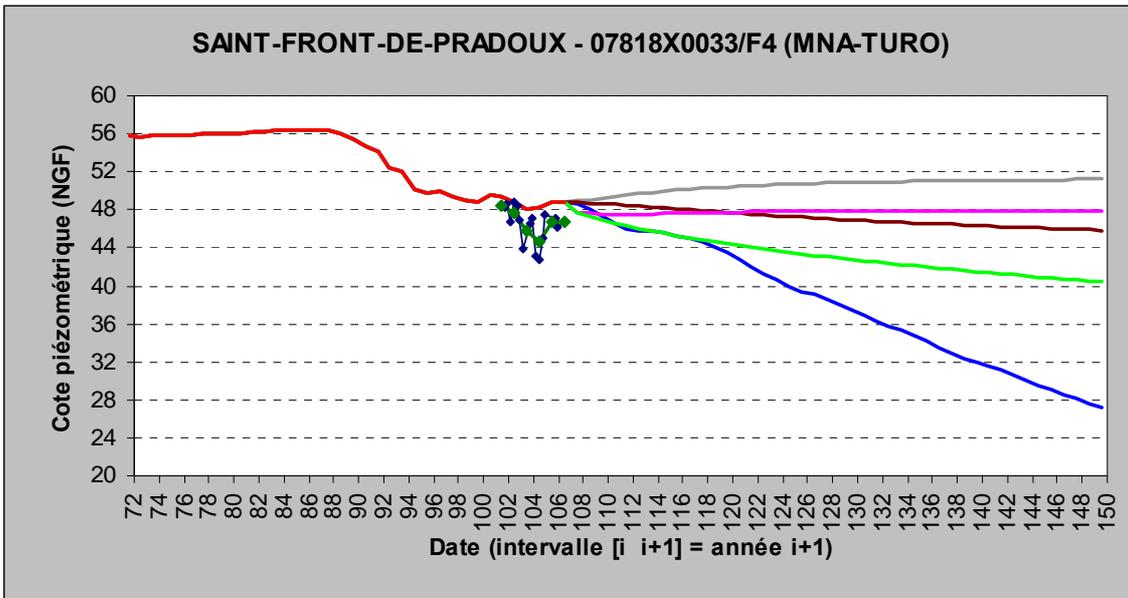
CHARENTE (16)

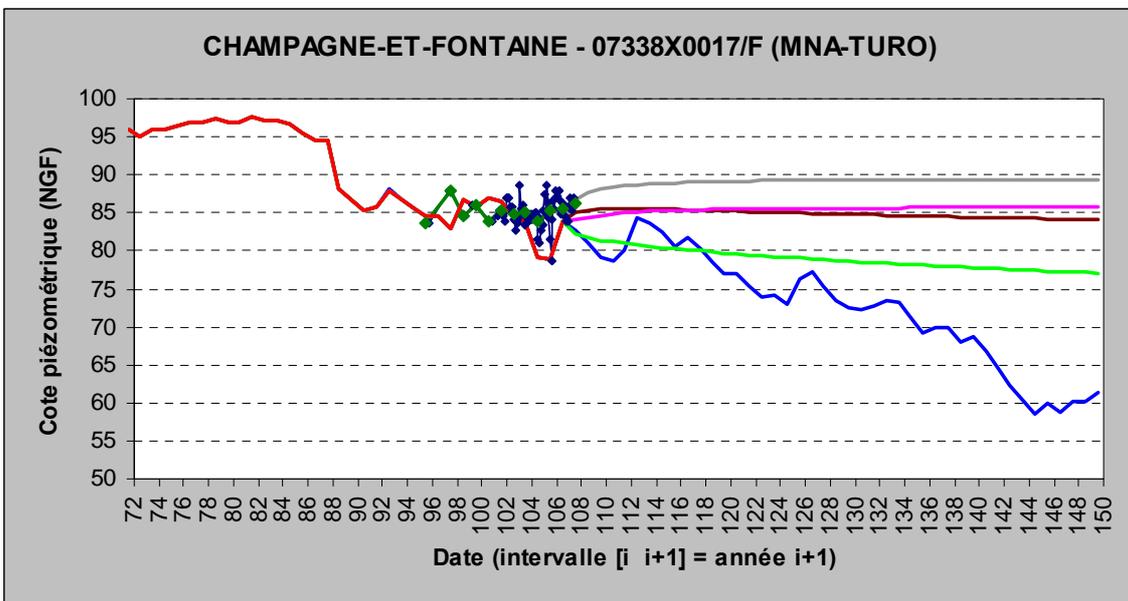
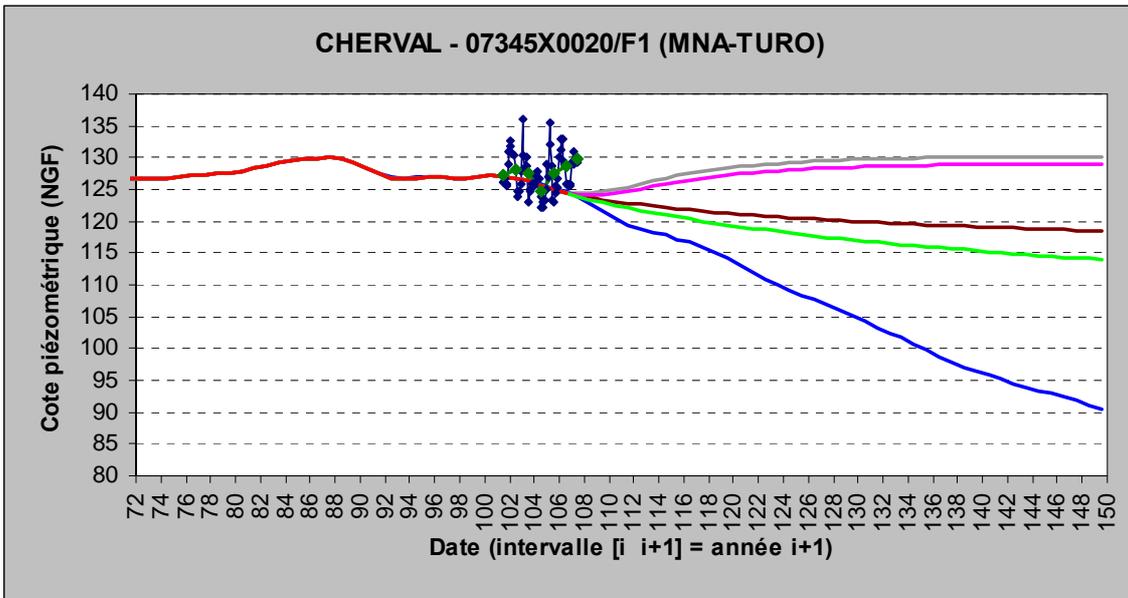


CHARENTE MARITIME (17)

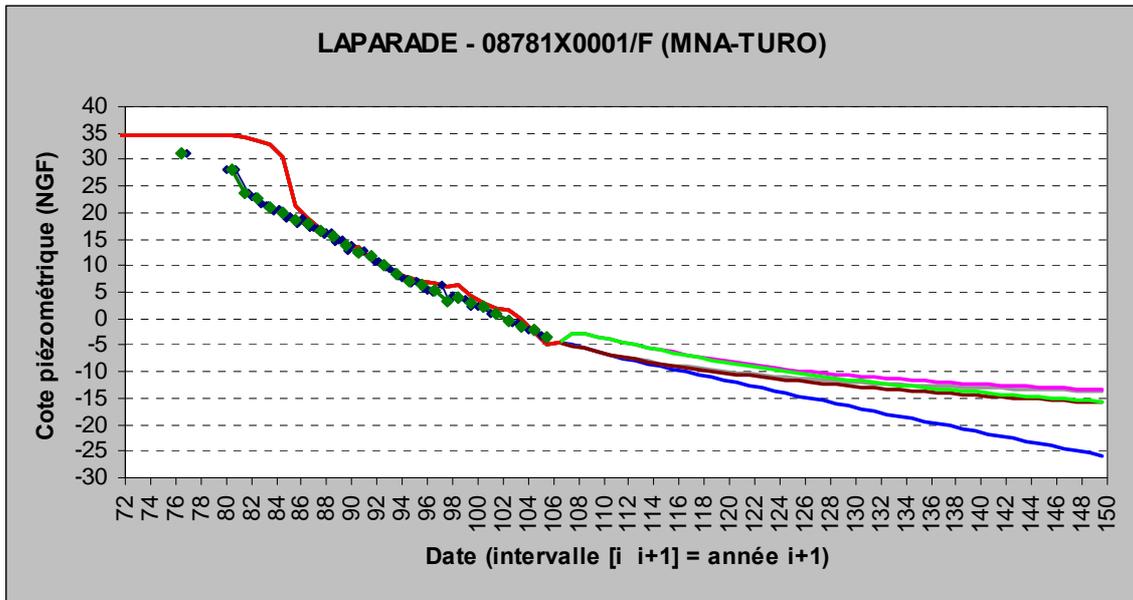


DORDOGNE (24)





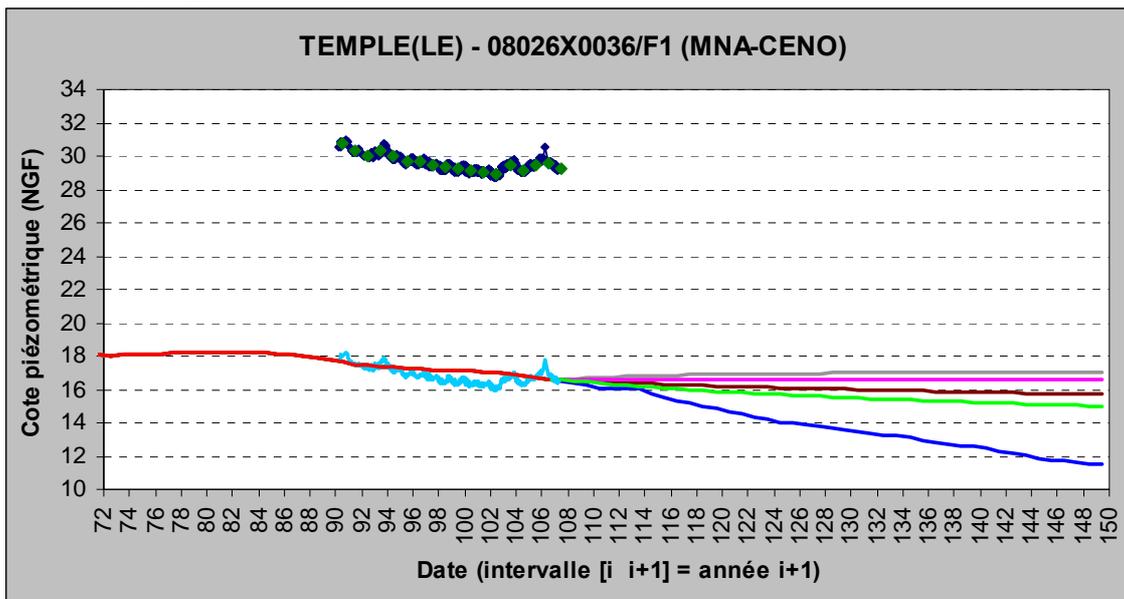
LOT-ET-GARONNE (47)



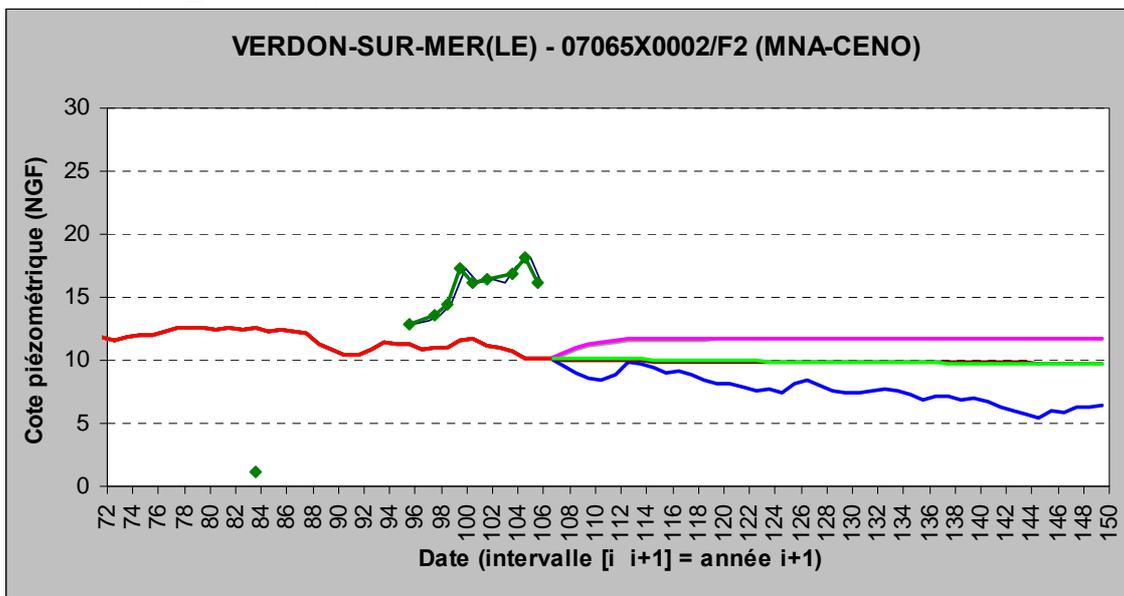
Nappe du Cénomanién

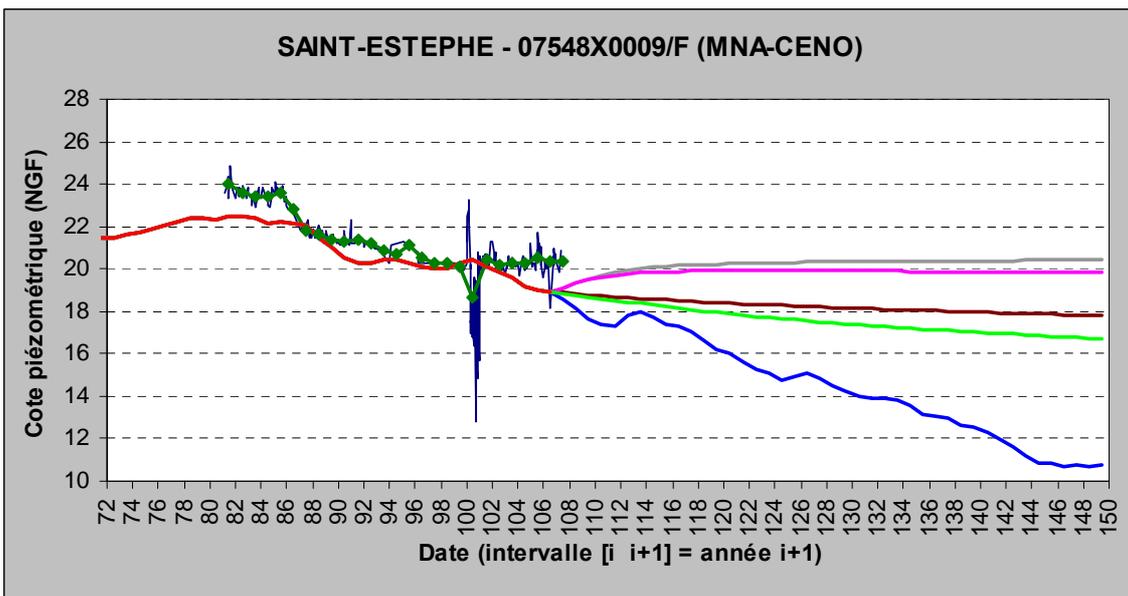
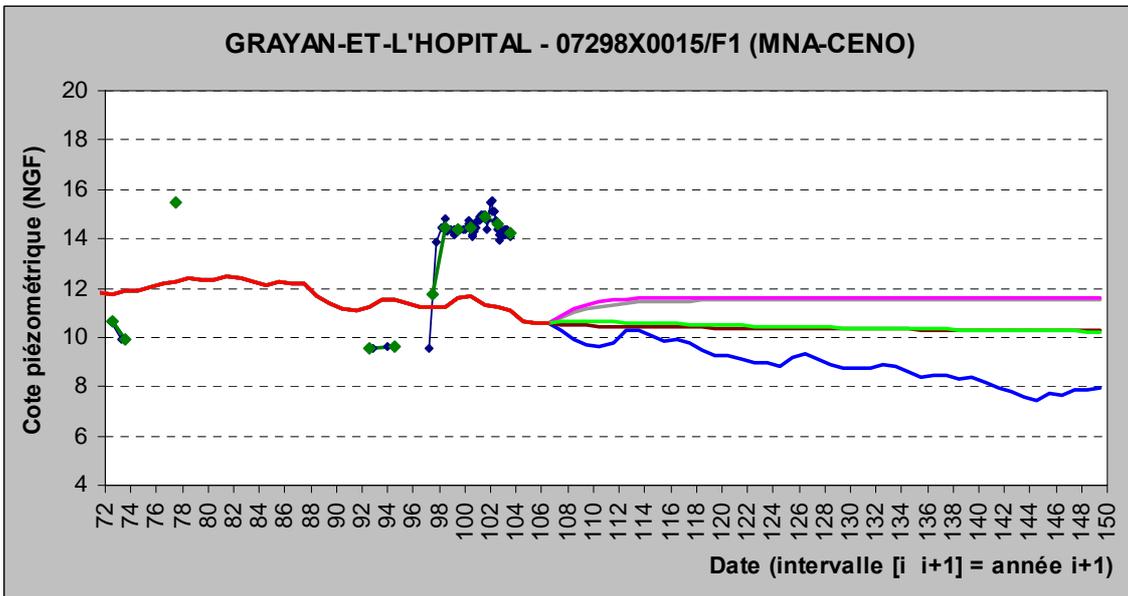
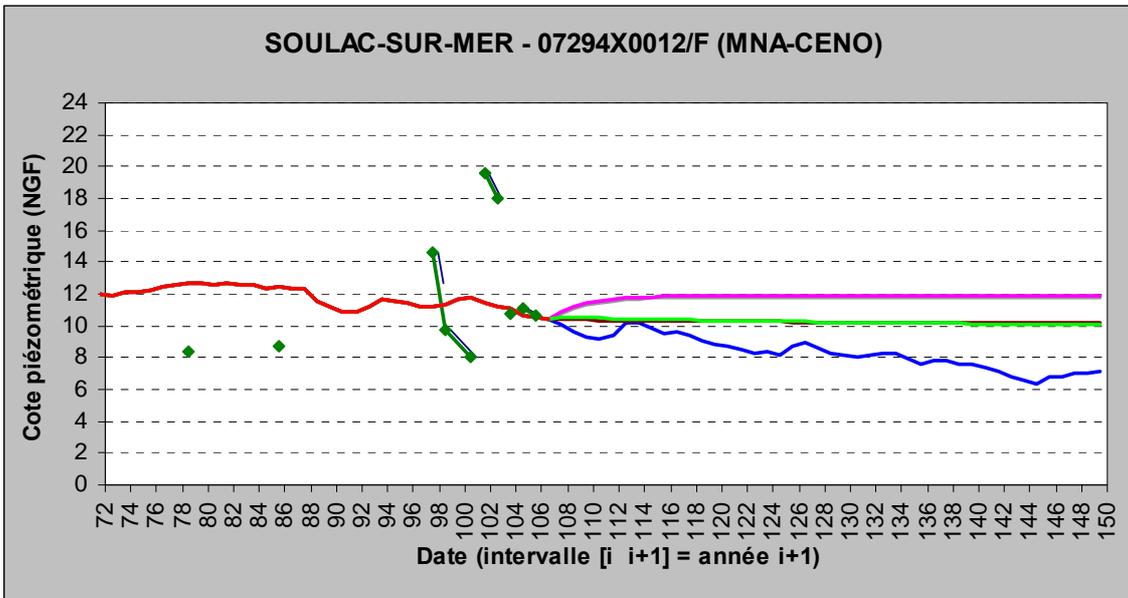
MNA-CENO

GIRONDE (33) (UG_LITTORAL)

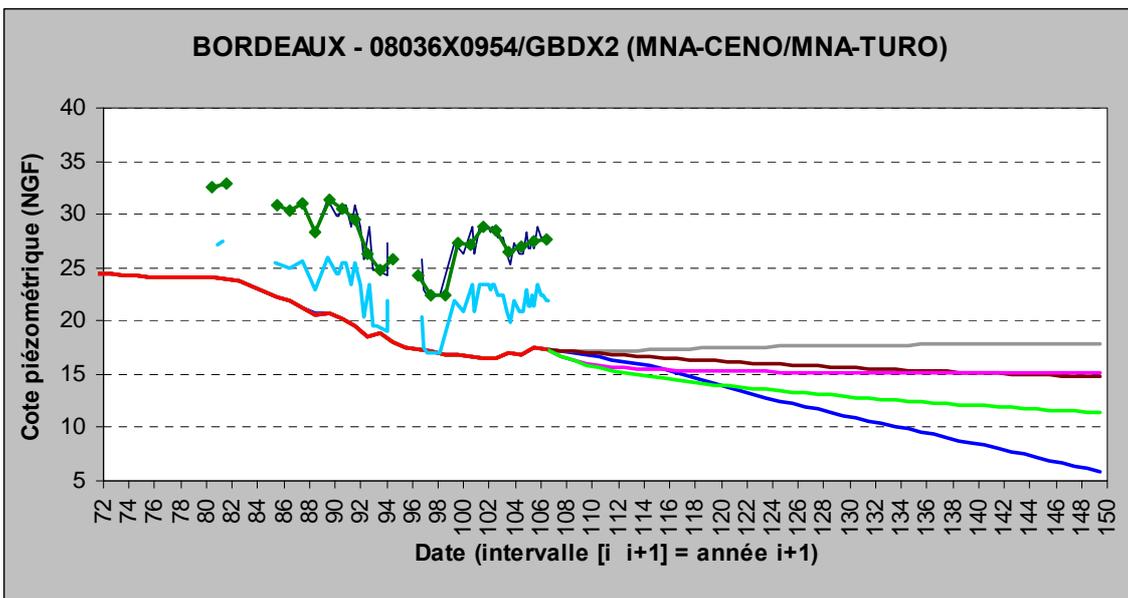
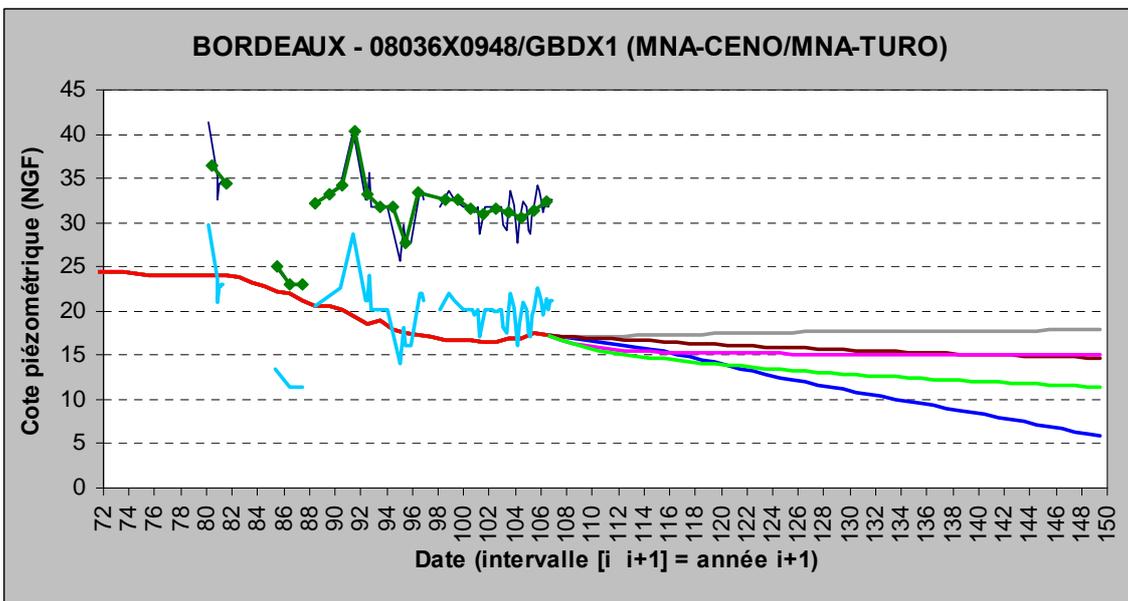
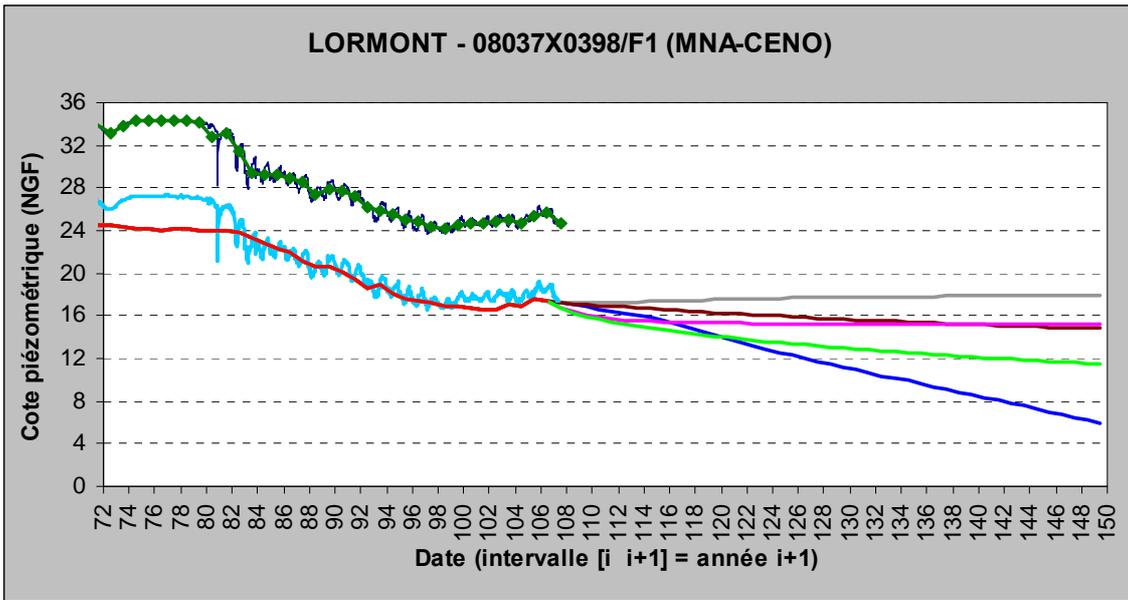


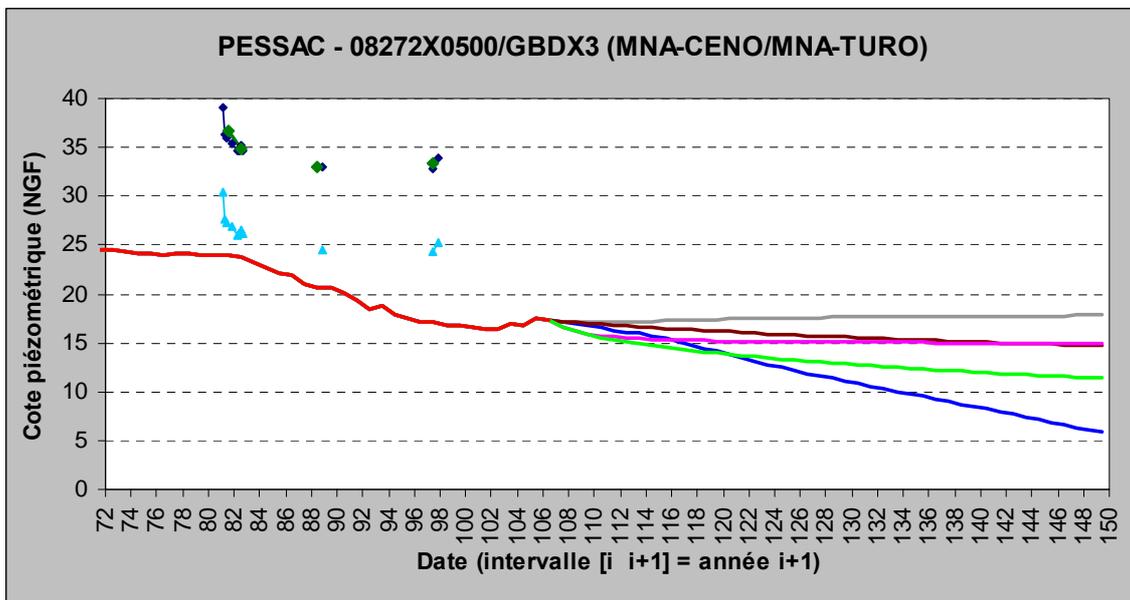
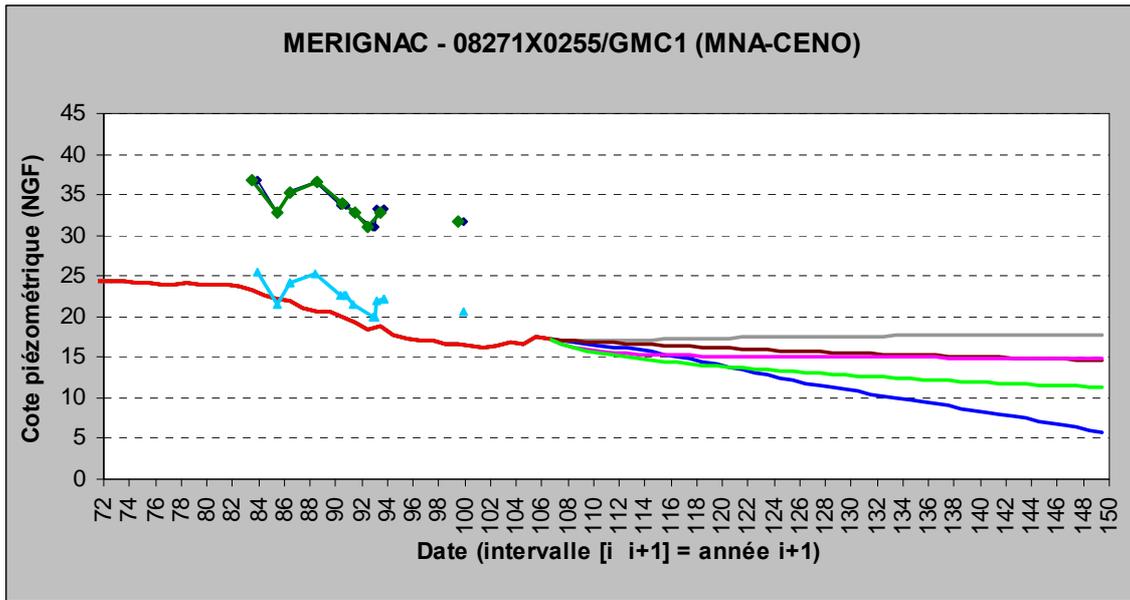
GIRONDE (33) (UG_MEDOC)



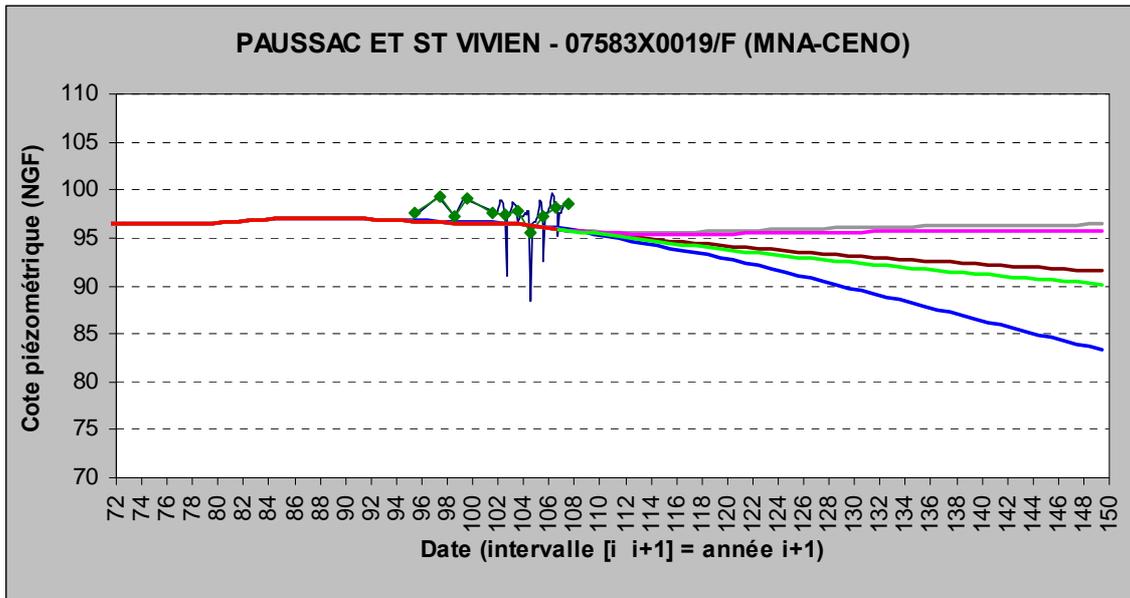


GIRONDE (33) (UG_CENTRE)





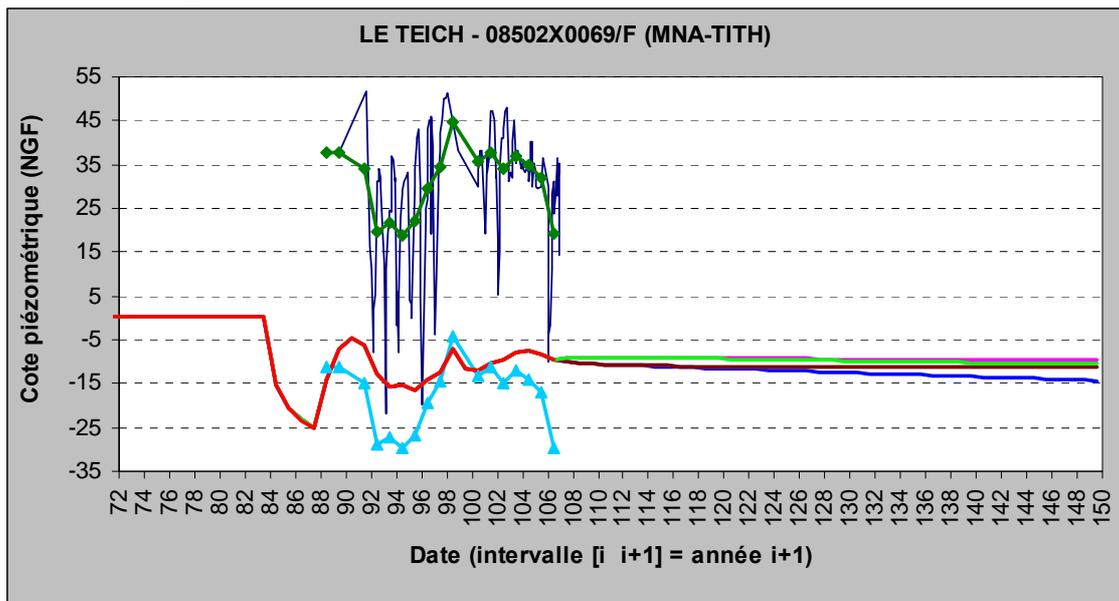
DORDOGNE (24)



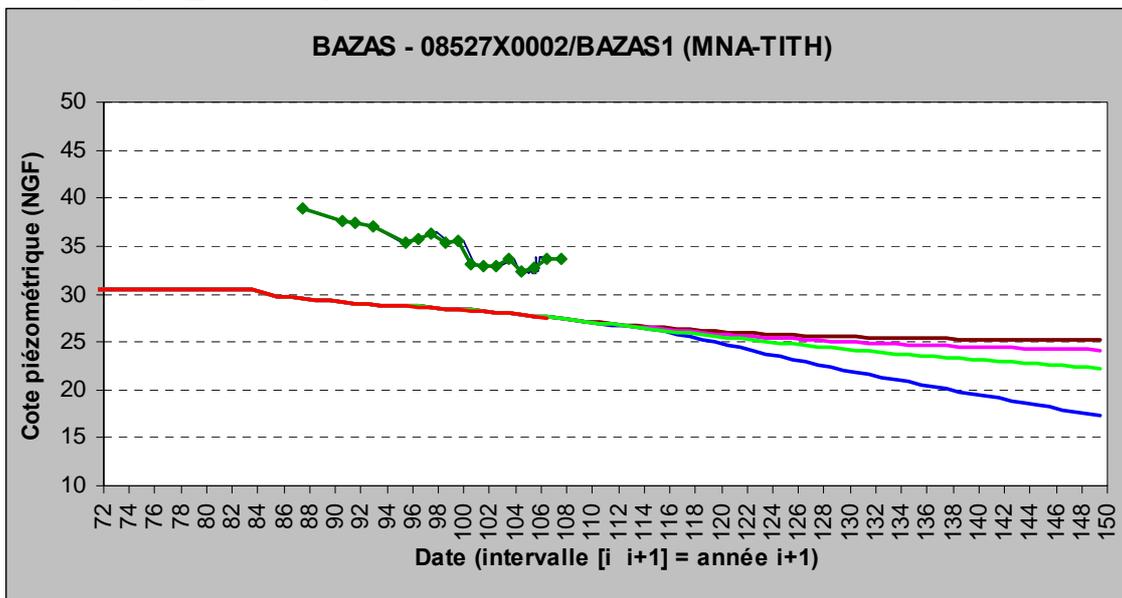
Nappe du Tithonien

MNA-TITH

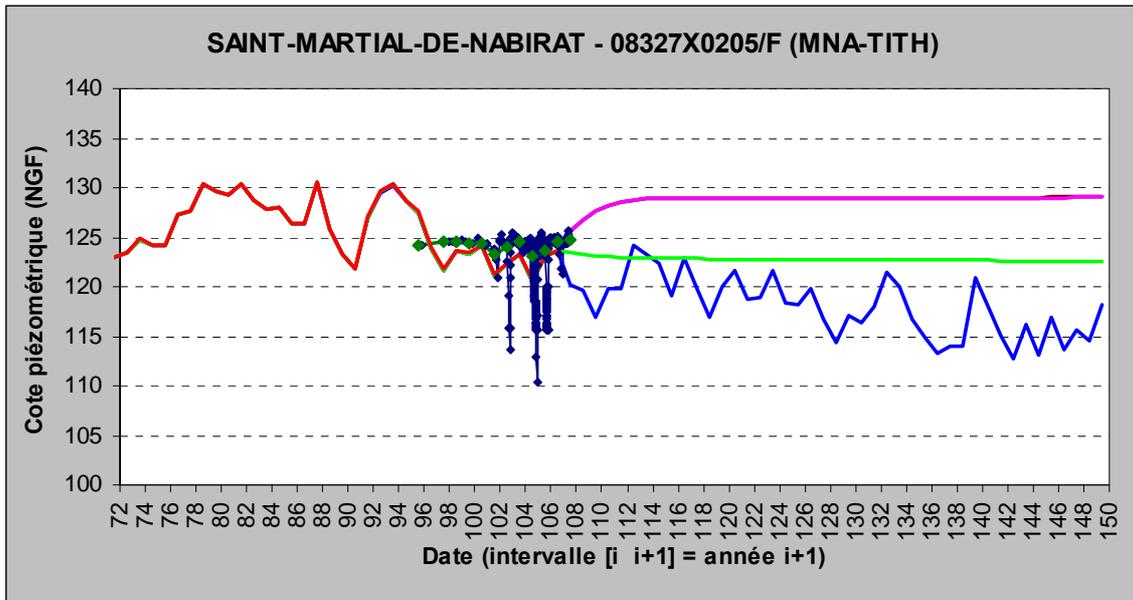
GIRONDE (33) (UG_LITTORAL)



GIRONDE (33) (UG_CENTRE)



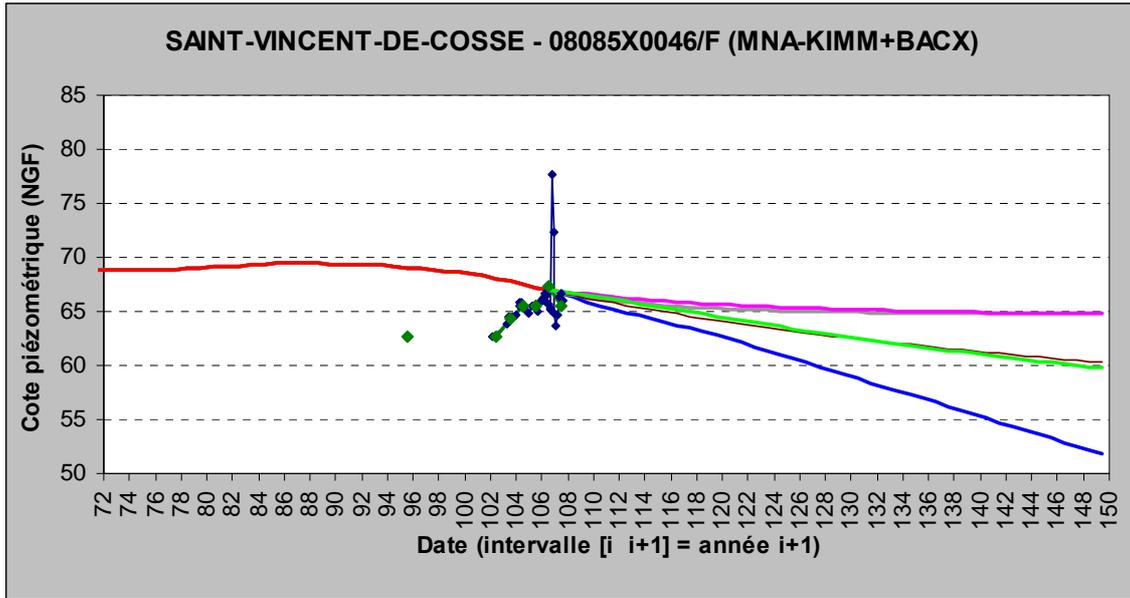
DORDOGNE (24)



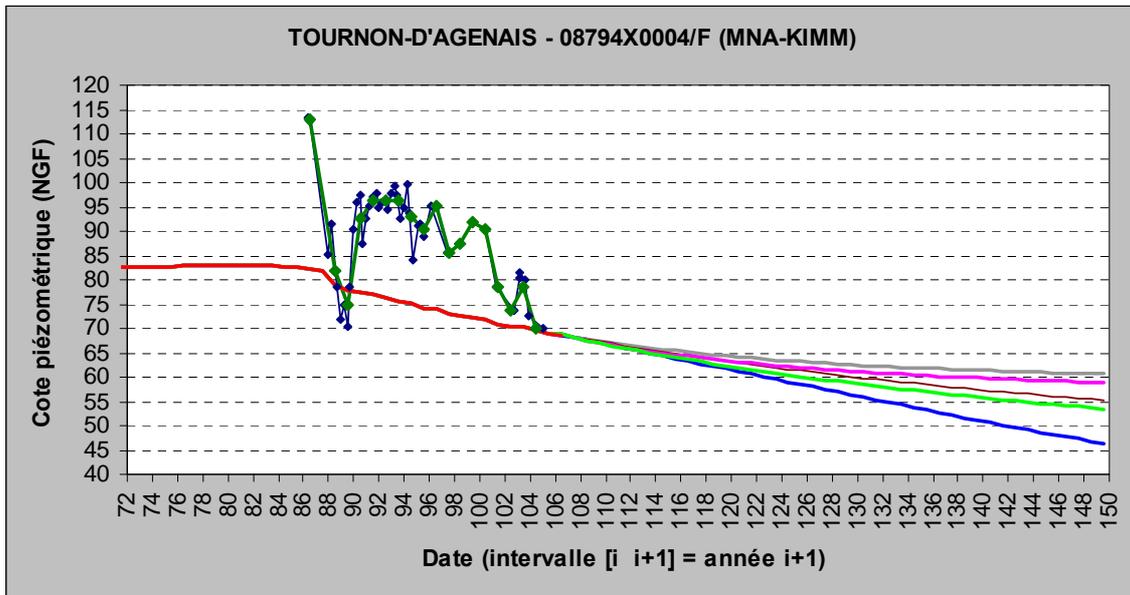
Nappe du Kimméridgien

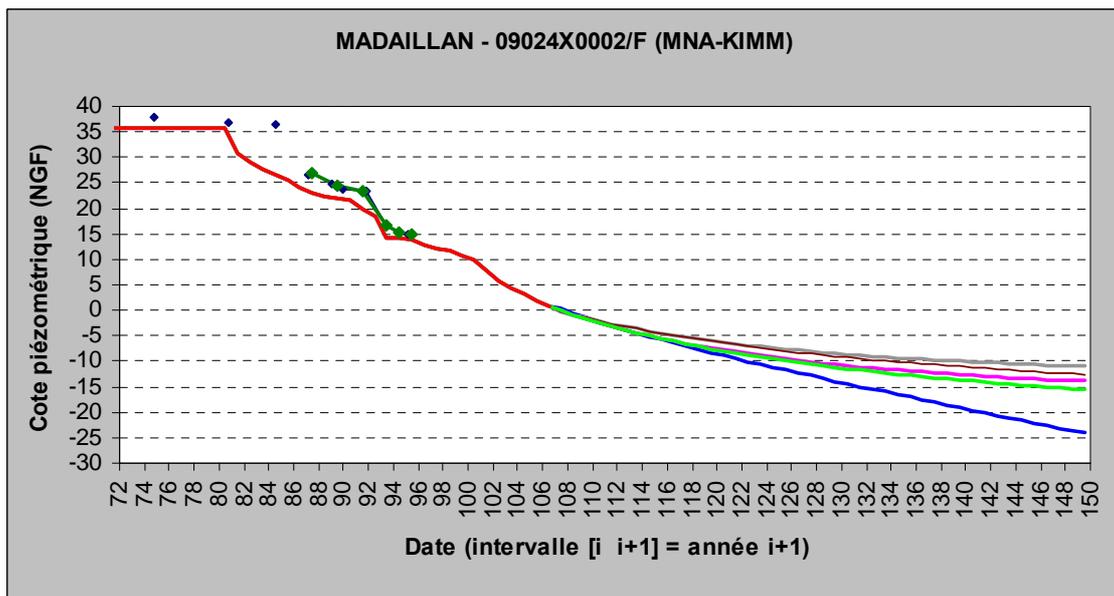
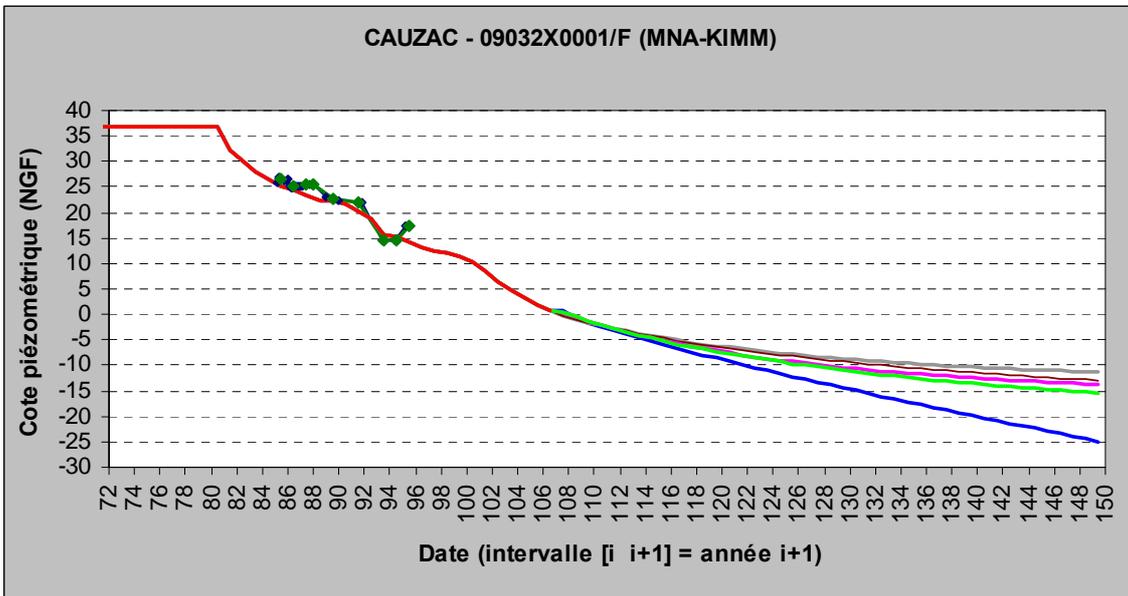
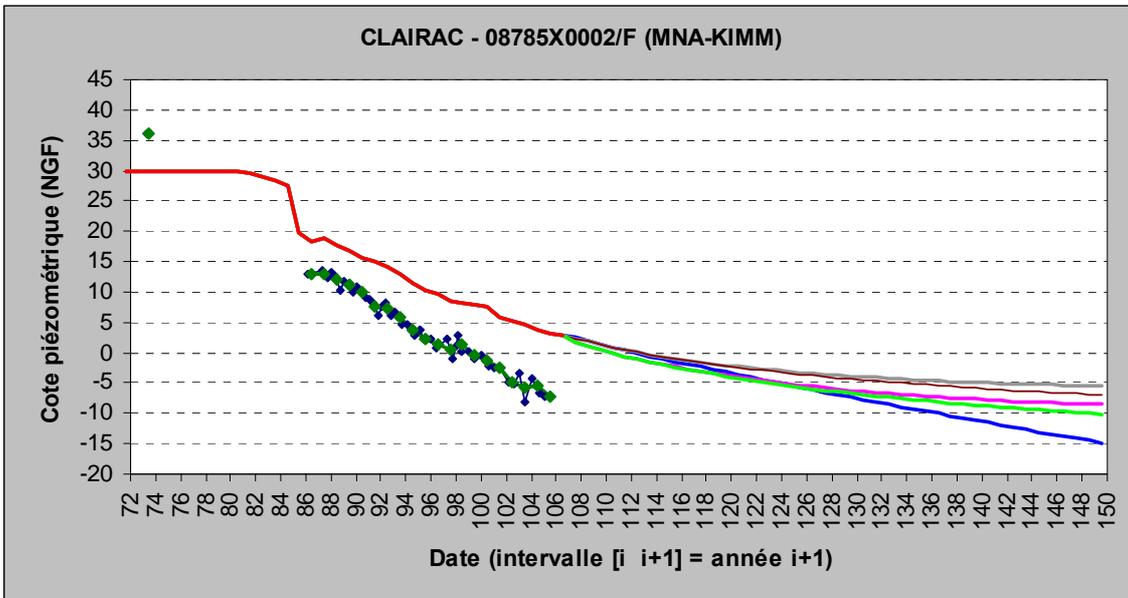
MNA-KIMM

DORDOGNE (24)



LOT-ET-GARONNE (47)

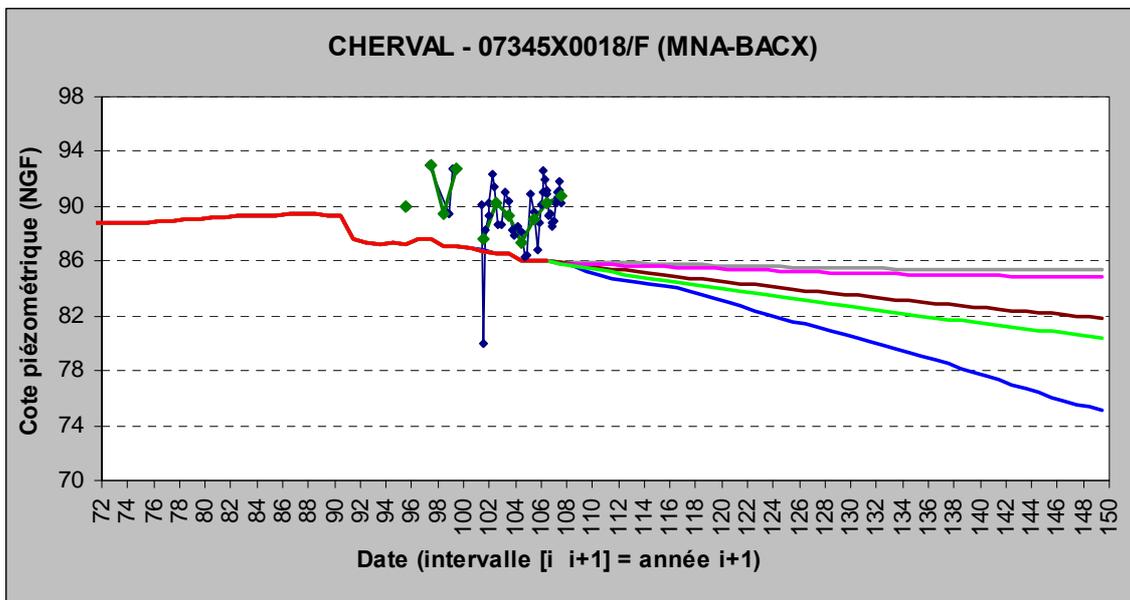
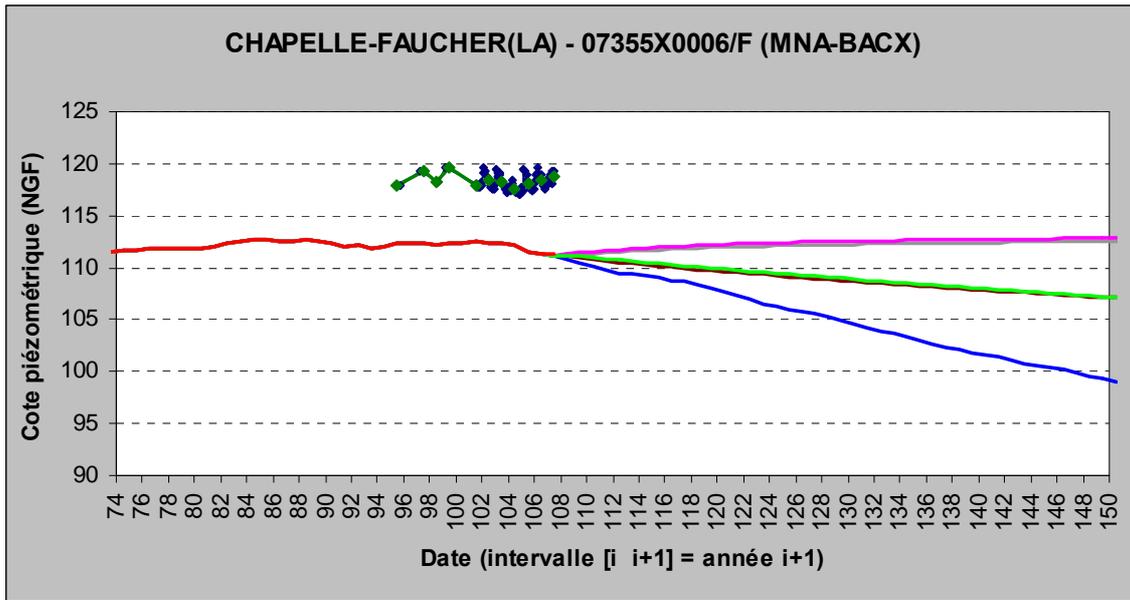


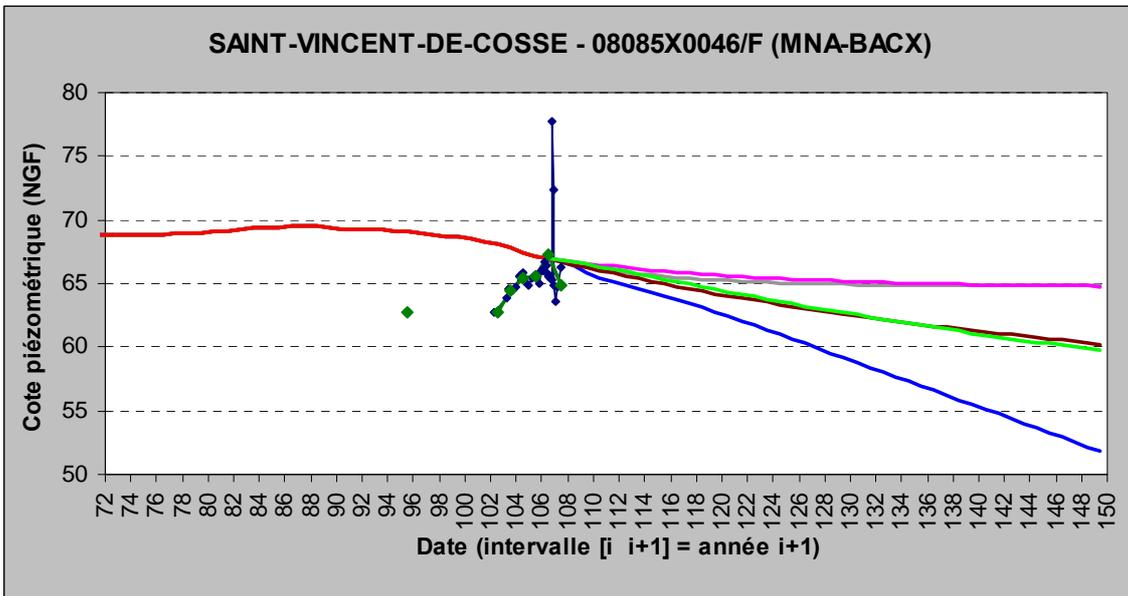
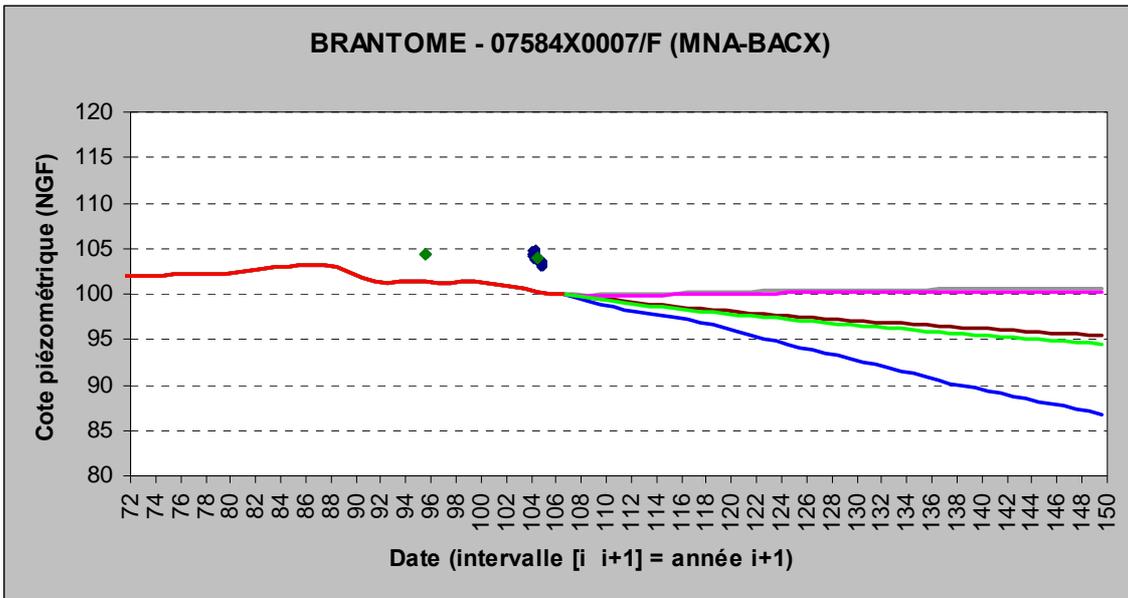


Nappe du Bathonien-Callovo-Oxfordien

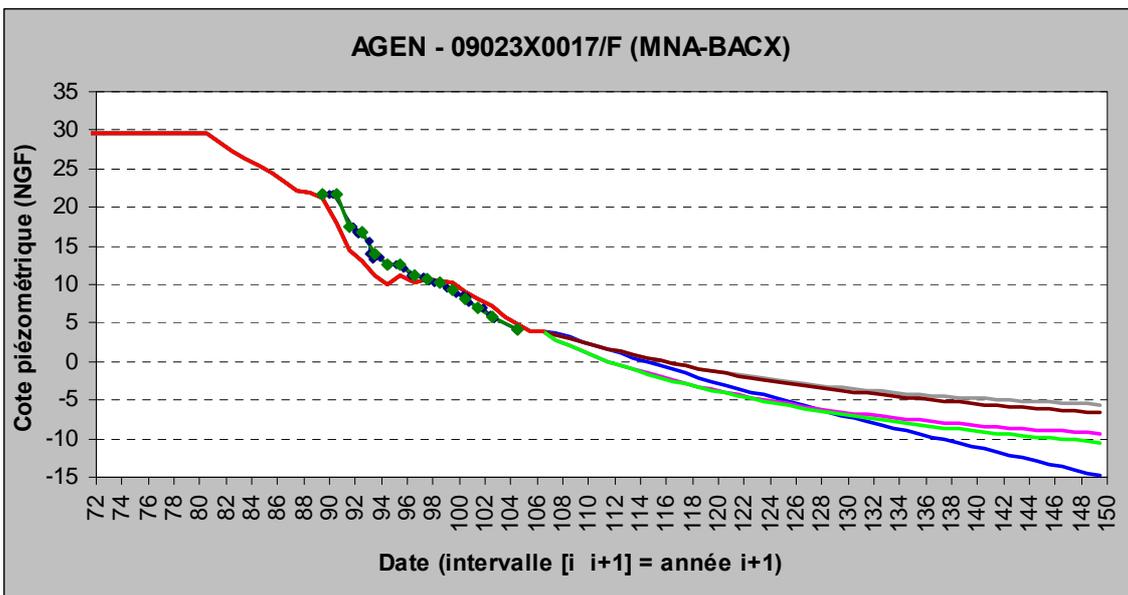
MNA-BACX

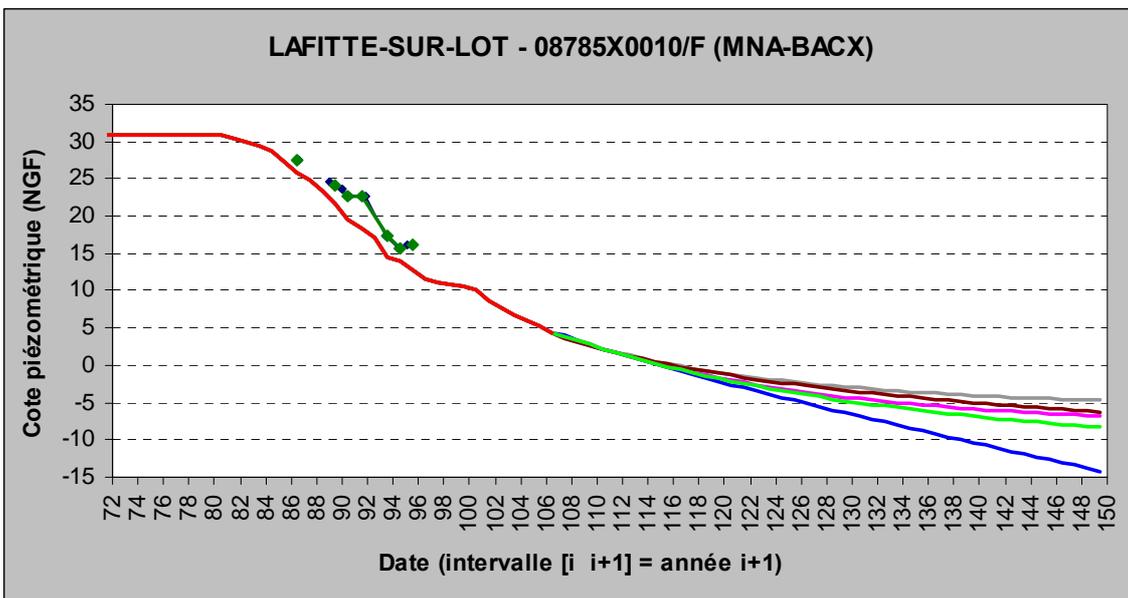
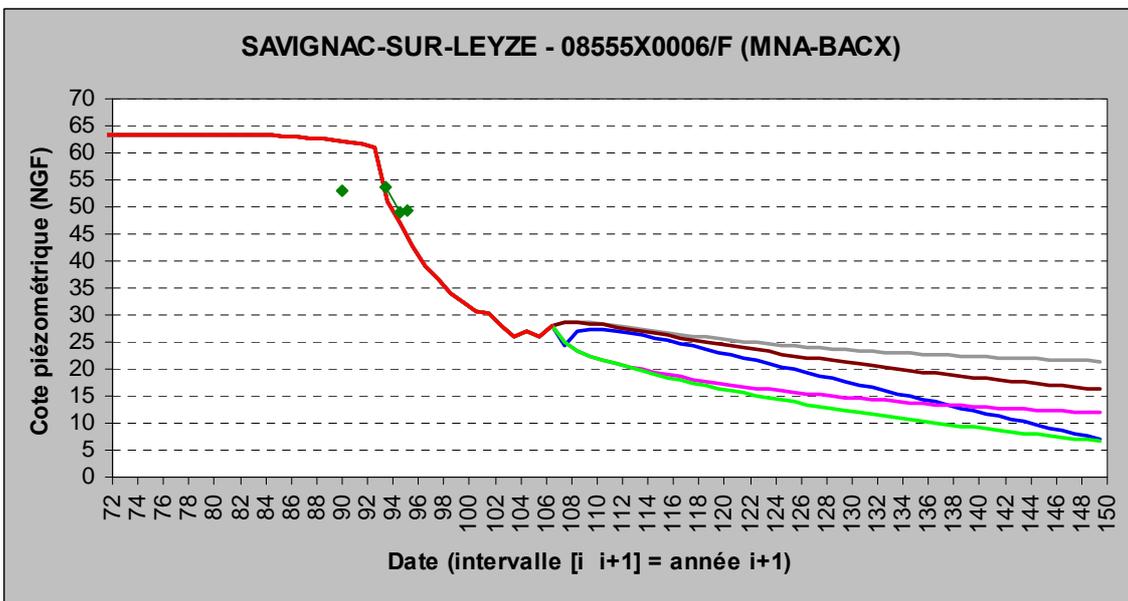
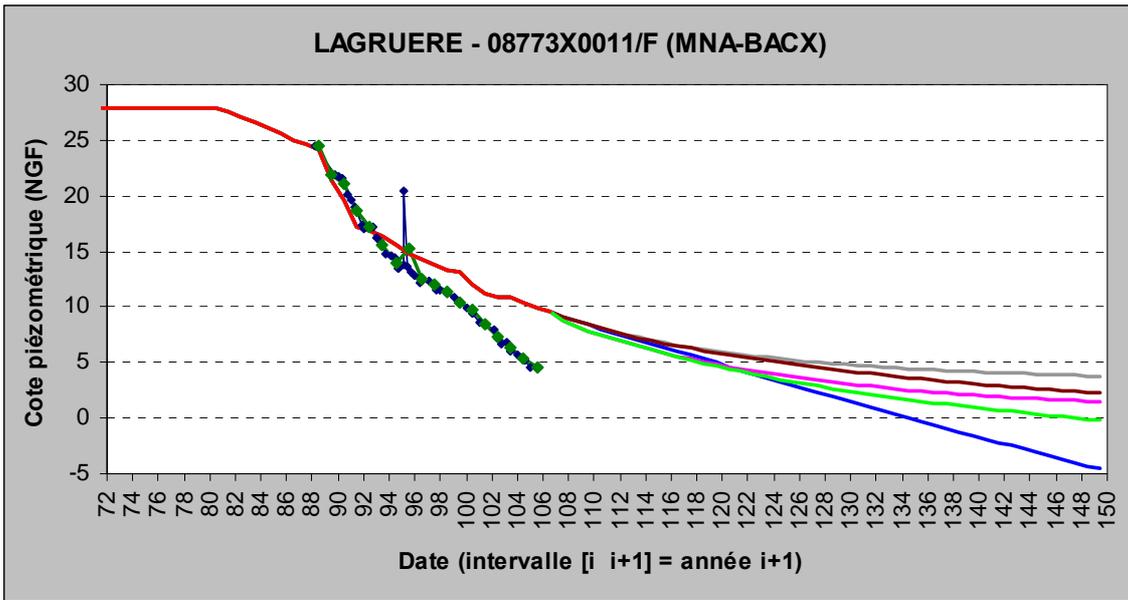
DORDOGNE (24)

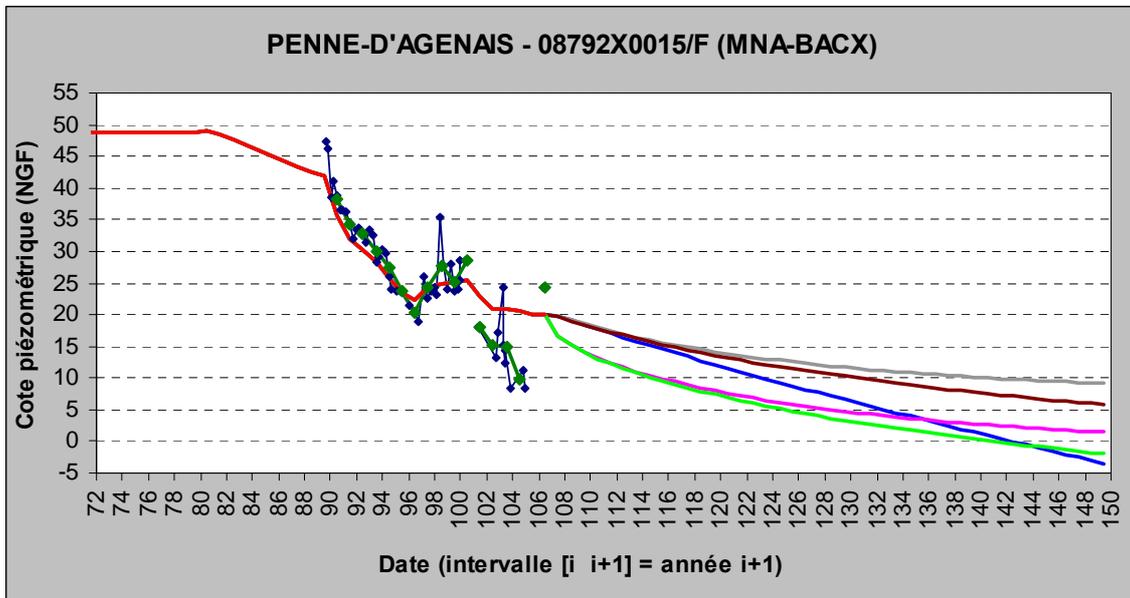
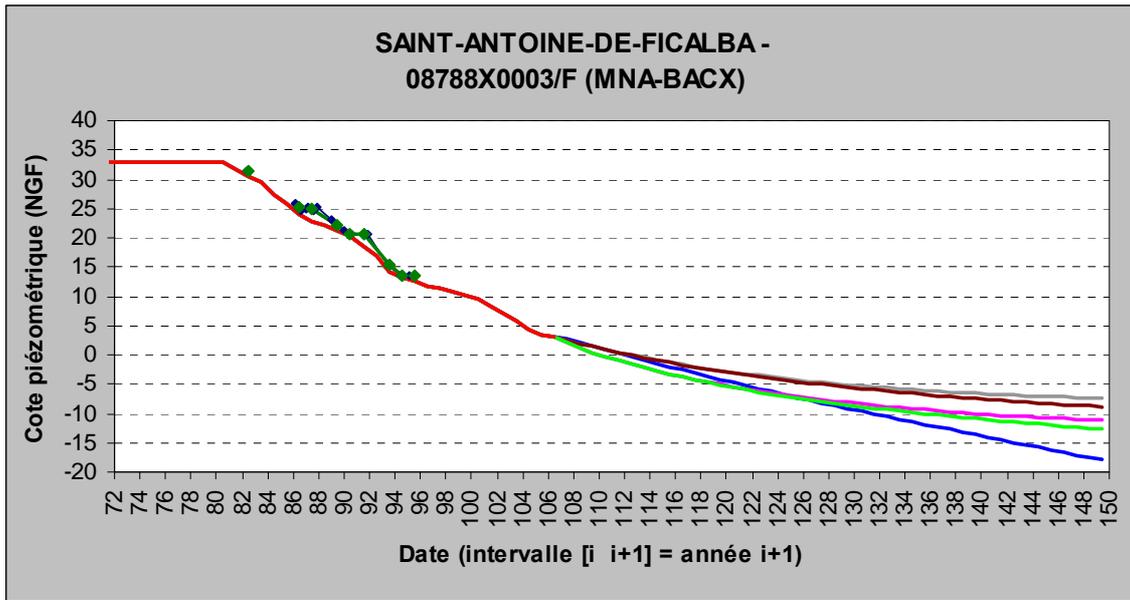


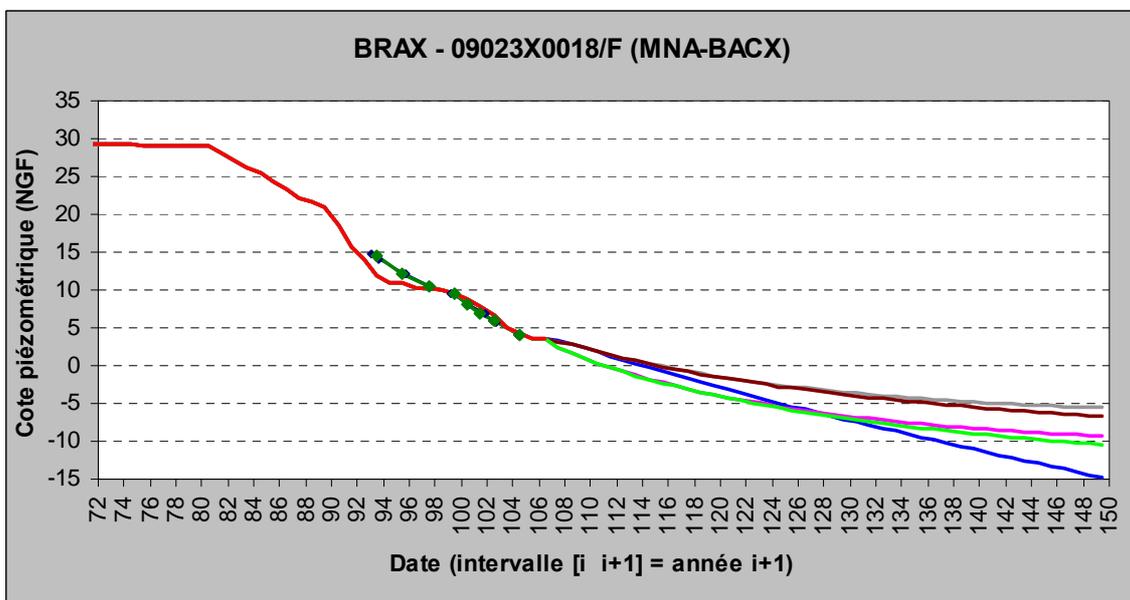
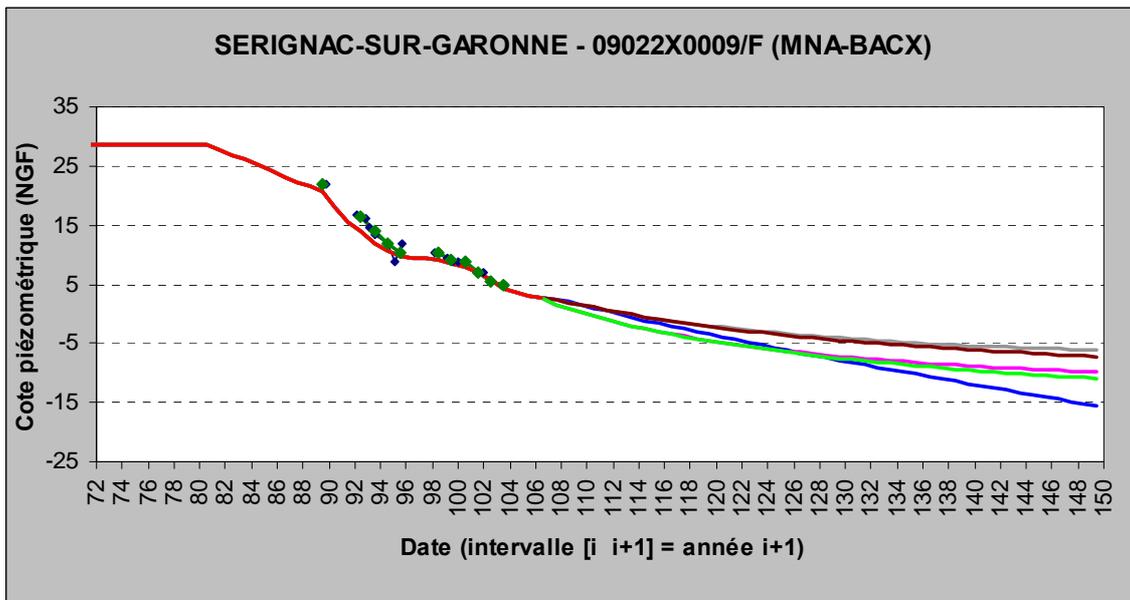


LOT-ET-GARONNE (47)





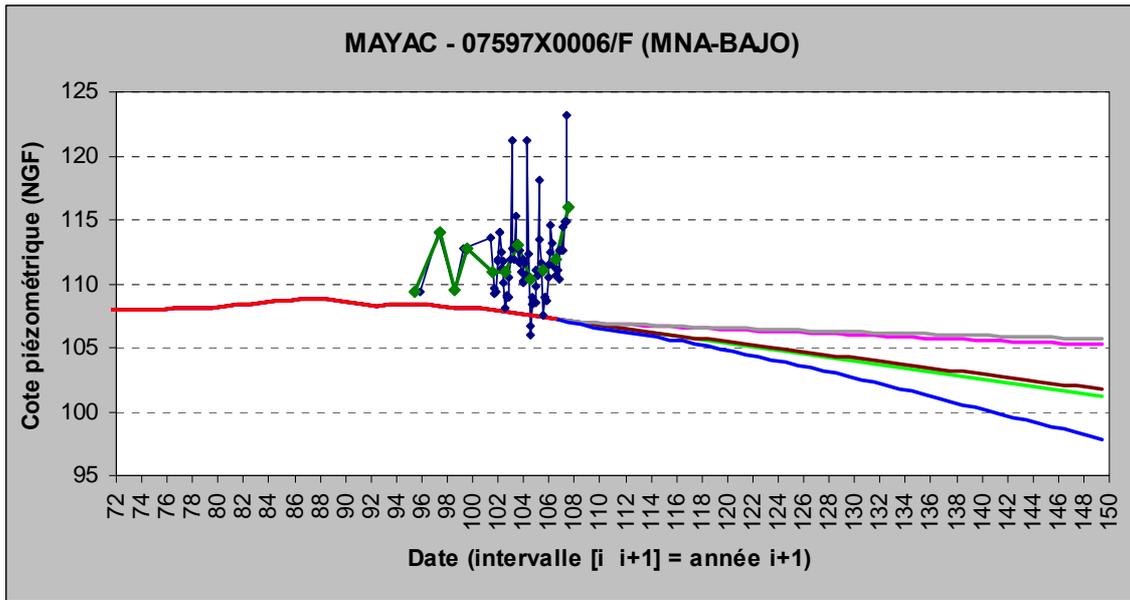




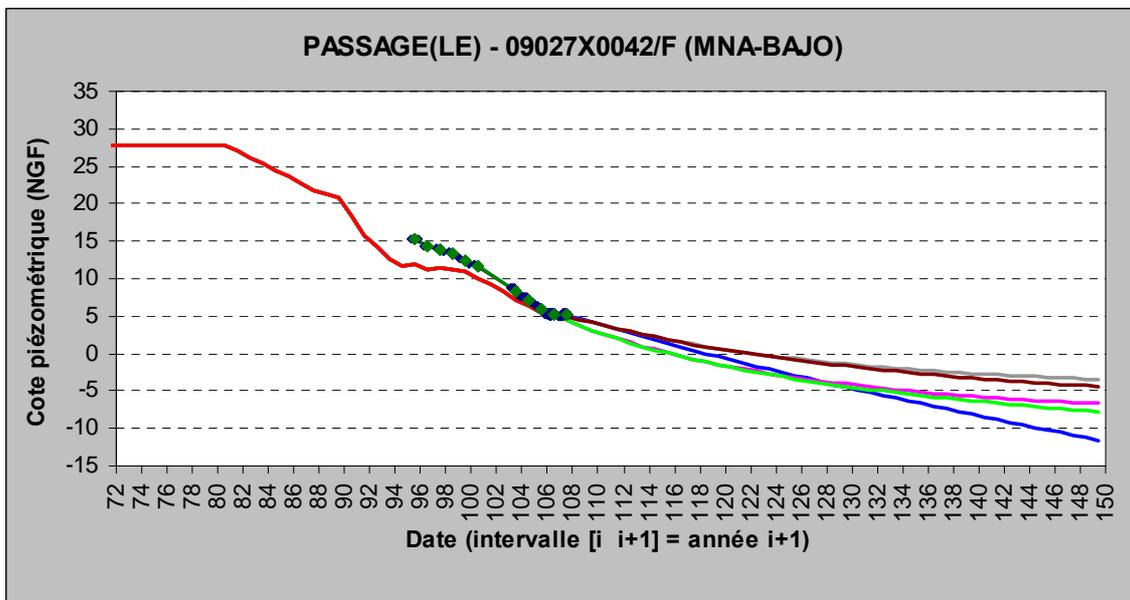
Nappe du Bajocien

MNA-BAJO

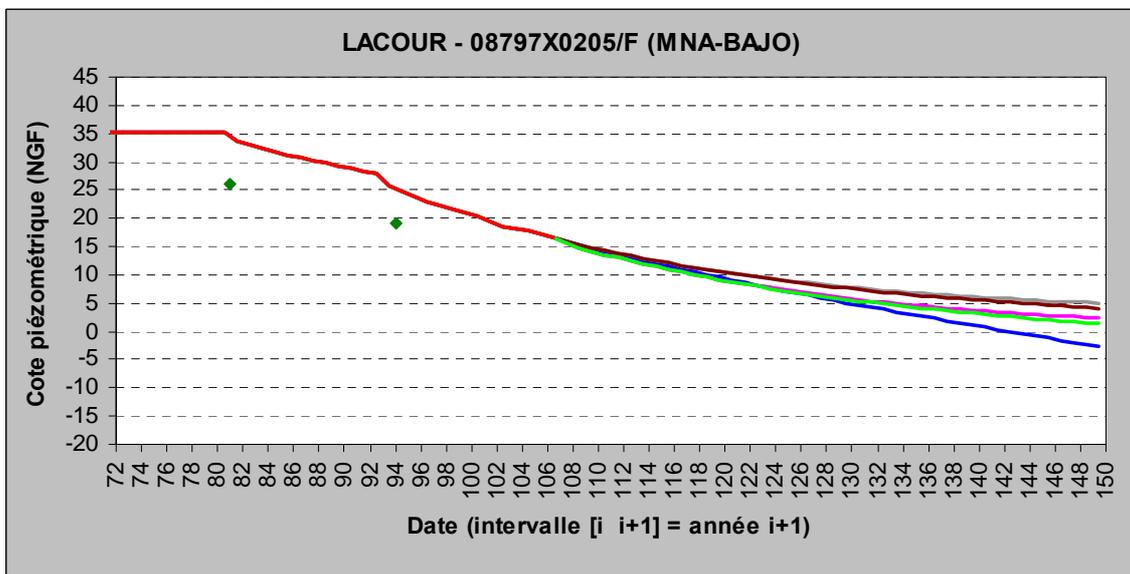
DORDOGNE (24)



LOT-ET-GARONNE (47)



TARN-ET-GARONNE (82)





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