

Document public



# Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine

## Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes

- Module 4 – Année 2 -

Rapport final

BRGM/RP-53659-FR  
octobre 2005



Préfecture de la région Aquitaine  
Secrétariat général pour les affaires régionales



Direction Régionale de l'Environnement  
AQUITAINE



Agence de l'Eau  
Adour Garonne



Géosciences pour une Terre durable

brgm



Document public

# Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine

## Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Module 4 – Année 2 -

Rapport final

**BRGM/RP-53659-FR**  
octobre 2005

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 2003-EAU-C27

**N. Pédron**  
avec la collaboration de  
**JP. Platel, B. Lopez**



Prefecture de la région Aquitaine  
Secretariat général pour les affaires régionales



Direction Régionale de l'Environnement  
AQUITAINE



**Vérificateurs :**

**Original signé par :**

**B. MAUROUX  
JJ. SEGUIN**

**Approbateur :**

**Original signé par :**

**J. DUBREUILH**

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001 : 2000



Mots clés : modélisation hydrodynamique, régime transitoire, calage, Bassin Nord-Aquitain, Helvétien, Burdigalien-Aquitainien, Oligocène, Eocène supérieur, Eocène moyen, Eocène inférieur, Campano-Maastrichtien, Turonien-Coniacien-Santonien.

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

**N. Pédron** avec la collaboration de **JP. Platel, B. Lopez** (2005)

Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine.

Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes –  
Module 4 – Année 2 – BRGM/RP-53659-FR, 96 pages, 43 figures, 8 tableaux,  
8 annexes.

## Synthèse

Cette étude est réalisée dans le cadre de l'année 2 de la convention "Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine" signée entre l'État, la Région Aquitaine et le BRGM pour la période 2002-2006 avec le concours financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et de l'Europe (fonds FEDER). Elle correspond au module 4 de cette convention qui en compte six.

Ce travail s'inscrit dans le prolongement des travaux de modélisation des aquifères de la région Aquitaine engagés par le Service Géologique Régional (SGR) depuis près de 15 ans en particulier dans le cadre de la précédente convention régionale (1996-2001). Ces actions ont pour but d'élaborer des outils d'aide à la décision destinés à définir au mieux les stratégies d'exploitation des ressources souterraines de la région.

Certaines nappes sont en effet très sollicitées et requièrent donc une gestion stricte afin d'en préserver la productivité sur le long terme.

Depuis 1993, le BRGM dispose d'un modèle régional de gestion de la ressource, le Modèle Nord-Aquitain. Celui-ci couvre la totalité du département de la Gironde, le sud de la Charente et de la Charente Maritime, les trois-quarts sud-ouest de la Dordogne, le nord et l'ouest du Lot-et-Garonne et une grande partie des Landes. Cet outil permet aujourd'hui de simuler les écoulements au sein de neuf couches aquifères ainsi que les échanges entre elles au travers de chacune des épontes qui les séparent. Les niveaux aquifères pris en compte sont : le Plio-Quaternaire, le Miocène (Helvétien et Burdigalien-Aquitainien), l'Oligocène, l'Eocène (inférieur, moyen et supérieur individualisés), le Campano-Maastrichtien et le Turonien-Coniacien-Santonien.

Le présent module a pour objectif le développement du Modèle Nord-Aquitain pour obtenir une plus grande finesse de représentation des aquifères et mieux traiter ainsi les problèmes posés à une échelle plus locale : ceux soulevés par le SAGE "Nappes profondes de Gironde", mais aussi ceux qui émergent dans les départements voisins de Lot-et-Garonne et de la Dordogne.

Le travail mené au cours de la première année d'étude (Rapport BRGM/RP-52602-FR, 2003) a permis d'affiner le Modèle Nord-Aquitain en passant d'une maille carrée de 5 km de côté à une discrétisation au pas de 2 km.

Un modèle numérique géologique complet et actualisé de l'Eocène a été réalisé et intégré aux modèles géologiques du Miocène (développé au cours des années 4 et 5 du précédent CPER) et du Campano-Maastrichtien/Turonien-Coniacien-Santonien. La cohérence de l'ensemble ainsi constitué a été vérifiée par des coupes systématiques et des représentations 3D.

A l'issue de l'année 2, la mise à jour de la géométrie de la couche Oligocène à partir de données géologiques récentes et de celles acquises en 2000 (rapport BRGM/RP-

50468-FR, *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*) a permis de finaliser le travail géologique entamé au cours de l'année 1.

La construction du modèle numérique hydrogéologique Nord-Aquitain dans sa version **MONA** V3.1<sup>1</sup> est à présent terminée. Les dernières données de prélèvements des trois couches éocènes ont été récupérées et réaffectées à chacune des formations. Pour cela, un référentiel hydrogéologique simplifié de l'Eocène a été constitué de façon à assurer la cohérence des affectations à l'échelle du réservoir. Les zones d'échange Nappe-Estuaire pour l'Eocène supérieur, moyen et inférieur ont été redéfinies.

Le calage des trois couches de l'Eocène et celle de l'Oligocène a été effectué sur 112 chroniques piézométriques (37 dans l'Oligocène, 6 dans l'Eocène supérieur, 53 dans l'Eocène moyen et 16 dans l'Eocène inférieur). Au terme du calage, la très grande majorité de ces chroniques est bien reproduite en phase, en amplitude, en pente et en niveau. Cette constatation visuelle est confortée par l'évaluation statistique du calage réalisée sur ces chroniques (hormis celles de l'Eocène supérieur en nombre insuffisant). Elle ne montre pas de biais significatifs sur les périodes considérées. De plus, l'analyse de l'écart type des écarts au cours du temps indique que la précision du modèle ne se dégrade pas et tend même à s'améliorer.

Au niveau spatial, les piézométries de l'Oligocène et de l'Eocène moyen sont également bien restituées. Les grandes figures d'écoulement (dômes, dépressions...) sont bien reproduites.

Le modèle dans sa version **MONA** V3.1-2000<sup>1</sup> est à présent opérationnel et peut donc être utilisé pour la réalisation de simulations.

Parallèlement à cela, une première collecte des données disponibles pour la couche Jurassique a été engagée. Il est prévu de l'intégrer au modèle en année 4 du projet.

---

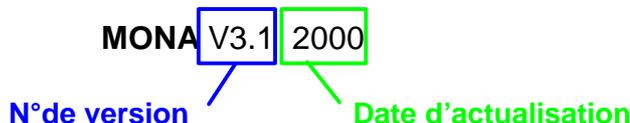
<sup>1</sup> Nouvelle nomenclature pour la désignation des versions du Modèle Nord-Aquitain (Cf ci-après préambule)

## Préambule

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

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

Il a donc été décidé de désigner le **MO**dèle **N**ord-**A**quitain par **MONA** et d'y adjoindre systématiquement le numéro de version du modèle et son année d'actualisation (dernière date pour laquelle tous les paramètres (recharge, prélèvements, piézométrie) du modèle sont mis à jour). Cette nouvelle nomenclature est illustrée par l'exemple ci-dessous :



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

### Historique du Modèle Nord-Aquitain

#### MONA V1

Elaboration d'un 1<sup>er</sup> modèle régional à mailles carrées de 5 km de côté au début des années 90 (Rapports BRGM R 37322 BOR AQI 93, R 37361 AQI SP 93 et R 38006 SGN SP 94) fonctionnant en régime transitoire sur la période 1972-1992 et simulant les écoulements au sein de 4 couches aquifères : Mio-Plio-Quaternaire (à potentiels imposés), Oligocène, Eocène et Campano-Maastrichtien.

En 1996, L'Agence de l'Eau Adour-Garonne, la Communauté Urbaine de Bordeaux et le Conseil Général de la Gironde ont décidé la mise en place d'un schéma directeur de gestion des ressources en eau de la Gironde, proposant des solutions alternatives permettant de limiter les prélèvements dans l'Eocène. Les partenaires ci-dessus ont

demandé au BRGM d'utiliser le MONA V1 pour tester les différentes solutions proposées par les cabinets d'étude du schéma. En 1998, une expertise du modèle réalisée à la demande de l'Agence de l'Eau a montré qu'il devait être amélioré pour arriver à un niveau de représentativité du milieu souterrain suffisant pour fonder des décisions d'investissements lourds, nécessaires pour mettre en œuvre les solutions du schéma. La prise en compte des différentes recommandations de l'expertise a permis de faire évoluer le modèle et d'aboutir à la version 2 décrite ci-dessous.

### **MONA V2**

Version du modèle au pas de 5 km fonctionnant en régime transitoire sur la période 1972-1996 (**MONA V2-1996**) et simulant les écoulements au sein de 5 couches aquifères : Mio-Plio-Quaternaire (à potentiels imposés), Oligocène, Eocène, Campano-Maastrichtien, Turonien-Coniacien-Santonien (Rapport BRGM R-40224,1999).

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

- en 1999 (Rapport BRGM R-40760) avec les données 1997 et 1998 (**MONA V2-1998**). Cette version du modèle a permis de reprendre les simulations du Schéma Directeur de Gestion des Ressources en Eau de la Gironde pour tester différents scénarios d'exploitation des nappes et de réduction des prélèvements dans l'Éocène.
- en 2001 (Rapport BRGM/RP-51758-FR) avec les données 1999 et 2000 (**MONA V2-2000**). Le modèle ainsi actualisé a été utilisé dans le cadre du SAGE "Nappes profondes de Gironde" pour simuler différents scénarios d'économie d'eau, aider à la définition des VMPO (Volumes Maximum Prélevables Objectifs) pour chacune des nappes visées par le SAGE, et proposer des indicateurs de l'état de la ressource.

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

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

### **MONA V3 :**

Développements réalisés dans le cadre de l'actuelle convention régionale « Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine ». Au cours de l'année 1 (Rapport BRGM/RP-52602-FR), les améliorations suivantes ont été apportées :

- Passage du modèle à mailles carrées de 5 km de côté (**MONA V2-2000**) à une version 2 km avec adjonction de l'Aquitaniens-Burdigaliens, de l'Helvétien et du

Plio-Quaternaire en remplacement de l'ancienne couche Mio-Plio-Quaternaire à potentiels imposés (**MONA** V3-2000).

- Subdivision l'Eocène en 3 couches distinctes et réajustement de la géométrie de l'Oligocène (**MONA** V3.1-2000).

La version **MONA** V3.1-2000 du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes intègre donc 9 couches : Plio-Quaternaire, Helvétien, Aquitanien-Burdigalien, Oligocène, Eocène supérieur, Eocène moyen, Eocène inférieur, Campano-Maastrichtien et Turonien-Coniacien-Santonien.

C'est actuellement la plus récente et elle fait l'objet du présent rapport qui rend compte des travaux de finalisation de la géométrie de l'Oligocène et du calage des trois couches de l'Eocène et de celle de l'Oligocène.



## Sommaire

<b>1. Introduction.....</b>	<b>15</b>
<b>2. Actualisation de la géométrie de l'Oligocène .....</b>	<b>17</b>
2.1. SOURCES DES DONNEES.....	17
2.1.1.Le modèle géologique de l'Oligocène en région bordelaise.....	17
2.1.2.Informations géologiques récentes sur le secteur de Sainte-Hélène ....	17
2.2. METHODOLOGIE D'INTEGRATION DES DONNEES .....	19
2.2.1.Modèle géologique de l'Oligocène en région bordelaise .....	19
2.2.2.Secteur de Sainte-Hélène .....	21
2.3. RESULTATS .....	22
<b>3. Finalisation du modèle hydrogéologique MONA V3.1 .....</b>	<b>23</b>
3.1. REFERENTIEL HYDROGEOLOGIQUE SIMPLIFIE DE L'EOCENE .....	23
3.1.1.L'Eocène du Bas-Médoc (Zone 1) : .....	26
3.1.2.L'Eocène de la zone littorale (zone 2) : .....	27
3.1.3.L'Eocène au sud du Bassin d'Arcachon (zone 3) : .....	29
3.1.4.L'Eocène du Haut-Médoc et Confins Charentais (Zone 4) : .....	33
3.1.5.L'Eocène dans la zone des Graves et Landes girondines (zone 5) : ....	35
3.1.6.L'Eocène du Bordelais-Est (zone 6) : .....	37
3.1.7.L'Eocène entre Double et Marmandais (zone 7) : .....	38
3.1.8.L'Eocène dans le Bergeracois (zone 8) : .....	40
3.1.9.L'Eocène au Sud de Monbazillac (zone 9) : .....	41
3.1.10. L'Eocène de la Haute Lande (zone 10) : .....	42
3.2. FINALISATION DE L'AFFECTATION DES PRELEVEMENTS DANS LES TROIS COUCHES DE L'EOCENE .....	43
3.2.1.Analyse des données de prélèvements.....	43
3.2.2.Les prélèvements dans l'Eocène inférieur.....	44
3.2.3.Les prélèvements dans l'Eocène moyen.....	46
3.2.4.Les prélèvements dans l'Eocène supérieur.....	47
3.2.5.Usages.....	48

3.2.6. Introduction des données dans le modèle .....	52
<b>3.3. NOUVELLE CODIFICATION DES ZONES METEOROLOGIQUES .....</b>	<b>53</b>
3.3.1. Rappels.....	53
3.3.2. Nouvelle codification des zones météorologiques (ZMTO) .....	54
<b>3.4. CONDITIONS AUX LIMITES .....</b>	<b>54</b>
3.4.1. Charges et flux imposés.....	55
3.4.2. Flux nuls.....	55
3.4.3. Conditions d'échange Nappe-Estuaire .....	55
3.4.4. Conditions internes (cotes de débordement) .....	56
<b>4. Calage du modèle Nord-Aquitain .....</b>	<b>59</b>
4.1. RAPPELS.....	59
4.1.1. Représentation numérique .....	59
4.1.2. Logiciel utilisé.....	60
4.2. DEMARCHE DE CALAGE.....	60
4.3. DONNEES UTILISEES.....	62
4.3.1. Piézométrie .....	62
4.3.2. Paramètres hydrodynamiques.....	63
4.3.3. Précipitations efficaces.....	64
4.4. RESULTATS : CHRONIQUES PIEZOMETRIQUES ET ANALYSE DES ECARTS.....	66
4.4.1. comparaisons visuelles .....	66
4.4.2. Analyse des écarts.....	69
4.5. RESULTATS : PARAMETRES RESTITUES PAR LE MODELE.....	80
4.5.1. Recharge .....	80
4.5.2. Paramètres hydrodynamiques.....	85
<b>5. Collecte de données du Jurassique.....</b>	<b>91</b>
<b>6. Conclusion.....</b>	<b>93</b>
<b>7. Références bibliographiques .....</b>	<b>95</b>

## Liste des figures

Figure 1: Limites du modèle géologique de l'Oligocène au pas de 200 m .....	18
Figure 2 : Illustration de la plus grande précision de représentation des limites avec un maillage plus fin .....	19
Figure 3 : Extension du maillage 200 m au sein du maillage 2km – Couche Oligocène.....	20
Figure 4 : Calcul des cotes du toit et du mur du réservoir oligocène pour les mailles situées sur la limite ouest du modèle géologique au pas de 200 m .....	21
Figure 5 : Secteur Oligocène de Sainte-Hélène dont la géométrie a été révisée .....	22
Figure 6 : Zones du référentiel hydrogéologique simplifié de l'Eocène pour le Modèle Nord-Aquitain dans sa version MONA V3.1 .....	24
Figure 7 : Localisation des logs et coupes géologiques nécessaires à l'argumentation du référentiel hydrogéologique simplifié de l'Eocène pour le modèle MONA V3.1 .....	25
Figure 8 : Log lithologique du sondage pétrolier de Jau 1 (07305X0022/F1).....	26
Figure 9 : Log lithologique du sondage d'Arès (08254X0010/ARES1) .....	28
Figure 10 : Coupe schématique Nord-Sud au sud du Bassin d'Arcachon .....	31
Figure 11 : Coupe géologique transversale à l'estuaire de la Gironde entre Blaye et Moulis (rapport BRGM/RP-52514-FR, 2003) .....	33
Figure 12 : Log lithologique du forage de Pauillac (07548X0197/F4).....	34
Figure 13 : Log lithostratigraphique du sondage géothermique de Mériadeck (08036X0948/GBDX1) .....	36
Figure 14 : Coupe SSW-NNE des formations tertiaires entre Paillet et Branne.....	37
Figure 15 : Logs lithologiques des sondages 08044X0005/F de Petit-Palais-et-Cornemps (nord zone 7) et 08537X0001/F de Virazeil (sud zone 7). .....	39
Figure 16 : Log lithologique du sondage 08065X0023/F de Prignonrieux. ....	40
Figure 17 : Coupe SSW-NNE des formations tertiaires entre Miramont-de-Guyenne et Monbazillac.....	41
Figure 18 : Log lithologique du forage communal 08305X0002/F d'Eymet.....	42
Figure 19 : Répartition (en %) des prélèvements dans les différents aquifères de l'Eocène.....	43
Figure 20 : Evolution des prélèvements (en m <sup>3</sup> ) en fonction de l'aquifère capté de 1972 à 2000 .....	44
Figure 21 : Prélèvements dans l'Eocène inférieur en 2000 .....	45
Figure 22 : Prélèvements dans l'Eocène moyen en 2000 .....	46
Figure 23 : Prélèvements dans l'Eocène supérieur en 2000 .....	48
Figure 24 : Localisation des ouvrages prélevés en 2000 en fonction de leur utilisation et de la nappe captée .....	49
Figure 25: Répartition des 349 points d'eau prélevés en 2000 en fonction de leur utilisation .....	50

Figure 26 : Répartition des volumes prélevés en 2000 (en millions de m <sup>3</sup> ) dans l'Eocène nord-aquitain en fonction des usages.....	51
Figure 27 : Exemple de visualisation des prélèvements (m <sup>3</sup> /j) dans le Modèle .....	52
Figure 28 : Contrôle des prélèvements par année et par couche à partir du fichier bilan en sortie du modèle .....	53
Figure 29 : Schéma illustrant le mode de discrétisation du modèle .....	59
Figure 30 : Procédure de calage.....	61
Figure 31 : Évolution des précipitations efficaces annuelles à la station de Mérignac (33) .....	65
Figure 32 : Comparaison entre les niveaux observés et simulés sur le forage de Bouliac (Eocène moyen) .....	66
Figure 33 : Oligocène : histogramme des écarts individuels entre chroniques piézométriques observées et chroniques simulées.....	71
Figure 34 : Oligocène – évolution dans le temps des écarts moyens et de leur écart type .....	72
Figure 35 : Oligocène : histogramme des écarts moyens calculés pas de temps par pas de temps .....	73
Figure 36 : Eocène moyen : histogramme des écarts individuels entre chroniques piézométriques observées et chroniques simulées.....	75
Figure 37 : Eocène moyen – évolution dans le temps des écarts moyens et de leur écart type .....	76
Figure 38 : Eocène inférieur : histogramme des écarts individuels entre chroniques piézométriques observées et chroniques simulées.....	78
Figure 39 : Eocène inférieur – évolution dans le temps des écarts moyens et de leur écart type .....	79
Figure 40 : Localisation des zones d'affleurement du modèle pour chaque nappe et source des données de pluies efficaces utilisées pour le calcul de la recharge.....	82
Figure 41 : Carte indicative des perméabilités de l'Eocène moyen issues du calage .....	86
Figure 42 : Carte indicative des perméabilités de l'éponte supérieure de l'Eocène inférieur issues du calage .....	88
Figure 43 : Carte indicative des coefficients d'emmagasinement captifs de l'Eocène moyen issus du calage .....	89

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Répartition des volumes prélevés (en millions de m <sup>3</sup> et en %) dans l'Eocène nord-aquitain en 2000 en fonction de la nappe captée et de l'usage. ....	51
Tableau 2 : Nouvelle codification des zones météorologiques de chacune des couches du modèle MONA V3.1-2000 .....	54
Tableau 3 : Nombre de mailles et superficie de chaque couche du modèle.....	60
Tableau 4 : Nombre de chroniques piézométriques utilisés pour le calage (112 chroniques).....	62
Tableau 5 : Oligocène - statistiques sur les écarts entre piézométrie observée et piézométrie simulée calculés sur les chroniques de mesures disponibles .....	70
Tableau 6 : Eocène moyen - statistiques sur les écarts entre piézométrie observée et piézométrie simulée calculés sur les chroniques de mesures disponibles .....	74
Tableau 7 : Eocène inférieur - statistiques sur les écarts entre piézométrie observée et piézométrie simulée calculés sur les chroniques de mesures disponibles .....	77
Tableau 8 : Différences entre la recharge de l'Eocène moyen et inférieur du modèle MONA V3.1-2000 et celle de l'Eocène du modèle MONA V2-2000 sur la période 1972-2000.....	84

## Liste des annexes

- Annexe 1** Cartographies actualisées du toit, du mur et de l'épaisseur de l'Oligocène
- Annexe 2** Conditions imposées du modèle
- Annexe 3** Cartes de localisation des chroniques piézométriques de calage
- Annexe 4** Chroniques de calage
- Annexe 5** Comparaison des cartes piézométriques tracées à partir des observations et calculées par le modèle Nord-Aquitain (MONA V3.1-2000)
- Annexe 6** Zones météorologiques (ZMTO) du modèle
- Annexe 7** Numéros des zones météorologiques de l'Oligocène, de l'Eocène supérieur, moyen et inférieur et valeurs de recharge du régime permanent associées
- Annexe 8** Cartographie des paramètres hydrodynamiques issus du calage



# 1. Introduction

Cette étude est réalisée dans le cadre de l'année 2 de la convention "Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine" signée entre l'État, la Région Aquitaine et le BRGM pour la période 2002-2006 avec le concours financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et de l'Europe (fonds FEDER). Elle s'inscrit dans le prolongement des travaux de modélisation des aquifères de la région Aquitaine engagés par le Service Géologique Régional (SGR) depuis près de 15 ans pour élaborer des outils d'aide à la décision destinés à définir au mieux les stratégies d'exploitation des ressources souterraines de la région.

Certaines nappes sont en effet très sollicitées et parfois en situation de déséquilibre avec des prélèvements excédant leur possibilité de renouvellement. Elles requièrent donc une gestion stricte afin d'en préserver la productivité sur le long terme.

Depuis 1993 le SGR Aquitaine dispose d'un modèle régional de gestion de la ressource, le Modèle Nord-Aquitain. Celui-ci couvre la totalité du département de la Gironde, le sud de la Charente et de la Charente Maritime, les trois-quarts sud-ouest de la Dordogne, le nord et l'ouest du Lot-et-Garonne et une grande partie des Landes. Cet outil permet aujourd'hui de simuler les écoulements au sein de 9 couches aquifères ainsi que les échanges entre elles au travers de chacune des épontes qui les séparent. Les niveaux aquifères pris en compte sont le Plio-Quaternaire, l'Helvétien, l'Aquitain-Burdigalien, l'Oligocène, l'Éocène (inférieur, moyen et supérieur), le Campano-Maastrichtien, le Turonien-Coniacien-Santonien.

L'objectif du présent module est de développer le Modèle Nord-Aquitain pour obtenir une plus grande finesse de représentation des aquifères et mieux traiter ainsi les problèmes posés à une échelle plus locale, en particulier ceux soulevés par le SAGE "Nappes profondes de Gironde", mais aussi ceux qui émergent dans les départements voisins de Lot-et-Garonne et de la Dordogne.

En année 2, les tâches suivantes, décrites dans ce rapport, ont été réalisées :

- poursuite du travail d'actualisation, entamé au cours de l'année 1, de la géométrie de la couche Oligocène à partir des données géologiques récentes,
- finalisation du modèle numérique hydrogéologique (collecte et affectation des prélèvements dans chacune des trois couches Eocène, redéfinition des zones d'échange Nappe-Estuaire pour l'Eocène moyen et inférieur),
- calage des trois couches de l'Eocène et de celle de l'Oligocène,
- début de la collecte des données disponibles pour la couche Jurassique dont l'intégration au modèle est prévue en année 4 du projet.



## **2. Actualisation de la géométrie de l'Oligocène**

La géométrie de la couche Oligocène du Modèle Nord-Aquitain a été élaborée avec un maillage constitué de mailles carrées de 5 km de côté au début des années 90 (Rapports BRGM-R 37322 BOR AQI 93 et R 37361 AQI SP 93) puis révisée lors de la restructuration du modèle en 1998 (Rapport BRGM R40224). Le passage à une maille carrée plus fine de 2 km de côté a été réalisé au cours de l'année 5 de la précédente convention « Gestion des Eaux Souterraines en Région Aquitaine » (Rapport BRGM/RP-51176-FR, 2001) par simple interpolation bilinéaire et sans apport de données nouvelles. L'objectif est d'actualiser la géométrie à partir des connaissances géologiques acquises récemment et d'affiner les limites grâce à la discrétisation plus fine du modèle dans sa version 3.

### **2.1. SOURCES DES DONNEES**

#### **2.1.1. Le modèle géologique de l'Oligocène en région bordelaise**

Dans le cadre de la convention "Gestion des eaux souterraines en Aquitaine" pour la période 1996-2001, une étude sectorielle a été menée pour la protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise (Rapport BRGM/RP-50468-FR). Au cours de cette étude, réalisée en 2000 et 2001, une révision de l'ensemble des données géologiques (500 forages), entre Lesparre au Nord jusqu'à l'est de Langon, sur une largeur variant entre 12 et 30 km, a permis de construire un modèle géologique de l'aquifère au pas de 200 m. L'extension de ce modèle ainsi que la cartographie des valeurs du toit de l'Oligocène sont représentées sur la figure 1.

#### **2.1.2. Informations géologiques récentes sur le secteur de Sainte-Hélène**

Le SMEGREG (Syndicat Mixte d'Etudes pour la Gestion de la Ressource en Eau du département de la Gironde) est actuellement en charge d'une étude pour trouver de nouvelles ressources en eau dans le but d'alimenter la région bordelaise. Plusieurs forages de reconnaissance et d'exploitation relatifs aux aquifères captifs ont été réalisés dans le Médoc à Ste-Hélène (7 ouvrages), Brach (1 ouvrage) et Moulis-en-Médoc (1 ouvrage) (« Recherche de ressources nouvelles pour l'alimentation en eau potable dans l'aquifère de l'Oligocène dans les environs de Ste Hélène - Note de synthèse des phases 1 à 5 », GéoAquitaine, 2003). Ces investigations ont permis de recueillir des informations géologiques nouvelles sur ce secteur jusqu'à présent peu renseigné.

A la demande du SMEGREG, le géologue régional du BRGM a procédé, en 2001, 2003 et 2004, à une validation stratigraphique des coupes géologiques de ces forages à partir des cuttings récupérés au moment de la foration et des diagraphies réalisées.

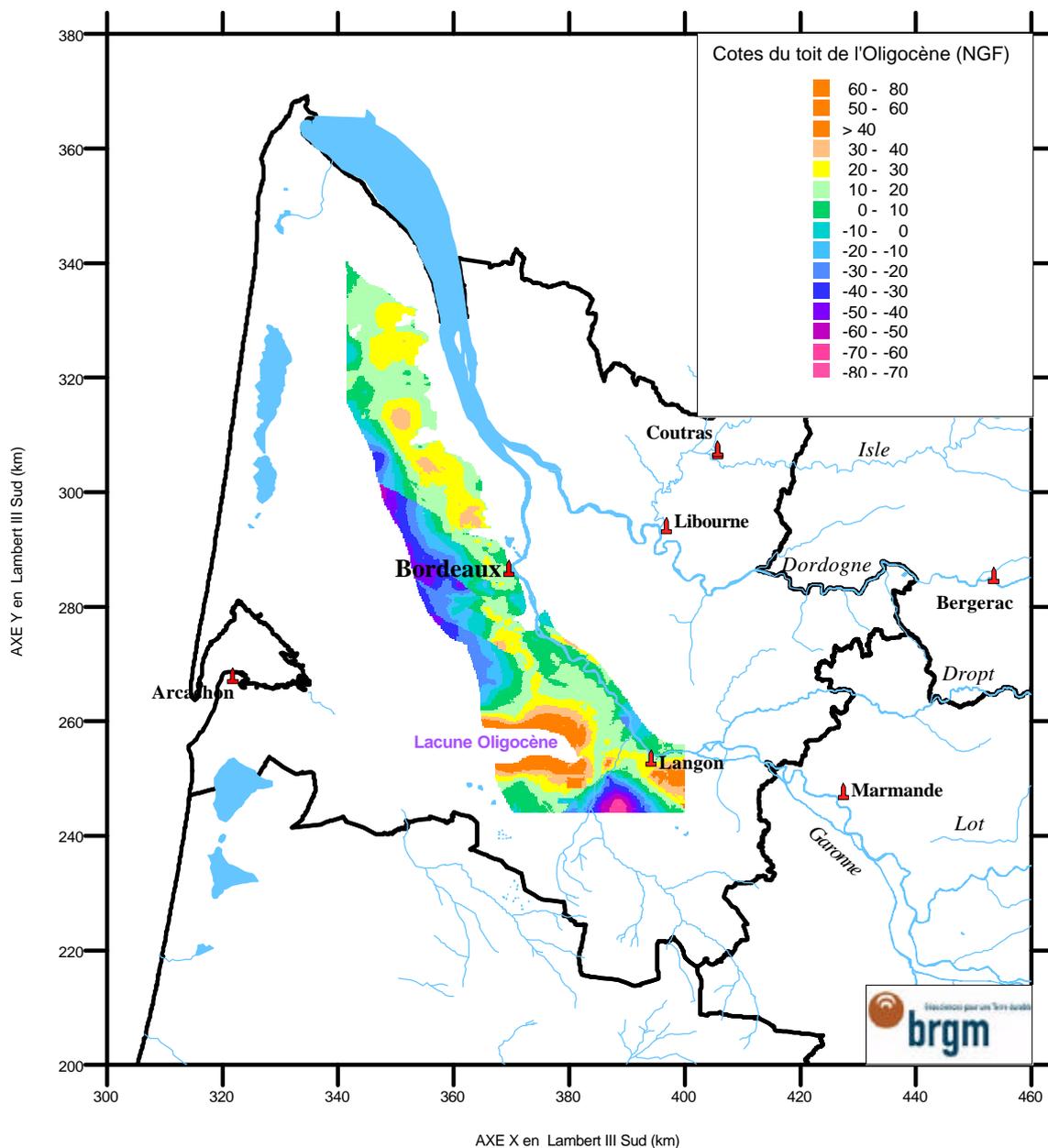


Figure 1: Limites du modèle géologique de l'Oligocène au pas de 200 m  
 (Rapport BRGM/RP-50468-FR)

## 2.2. METHODOLOGIE D'INTEGRATION DES DONNEES

### 2.2.1. Modèle géologique de l'Oligocène en région bordelaise

#### *Réajustement de la limite Oligocène*

L'extension initiale de la couche Oligocène avait été définie sur un maillage à mailles carré de 5 km de côté avec les imprécisions afférentes (Figure 2). Cette actualisation est l'occasion de réajuster la limite sur la base des contours du modèle géologique au pas de 200 m et des cartes géologiques.

Ce réajustement de la limite a entraîné la suppression d'une cinquantaine de mailles de 2 km de côté et la création de cinq autres sur les bordures nord et est du domaine Oligocène. D'autre part, une quinzaine de mailles ont été créées pour réduire l'étendue méridionale de la lacune Oligocène au niveau de l'anticlinal de Villagrains – Landiras. Une illustration des modifications apportées à la géométrie et aux limites de l'Oligocène est présentée en annexe 1.

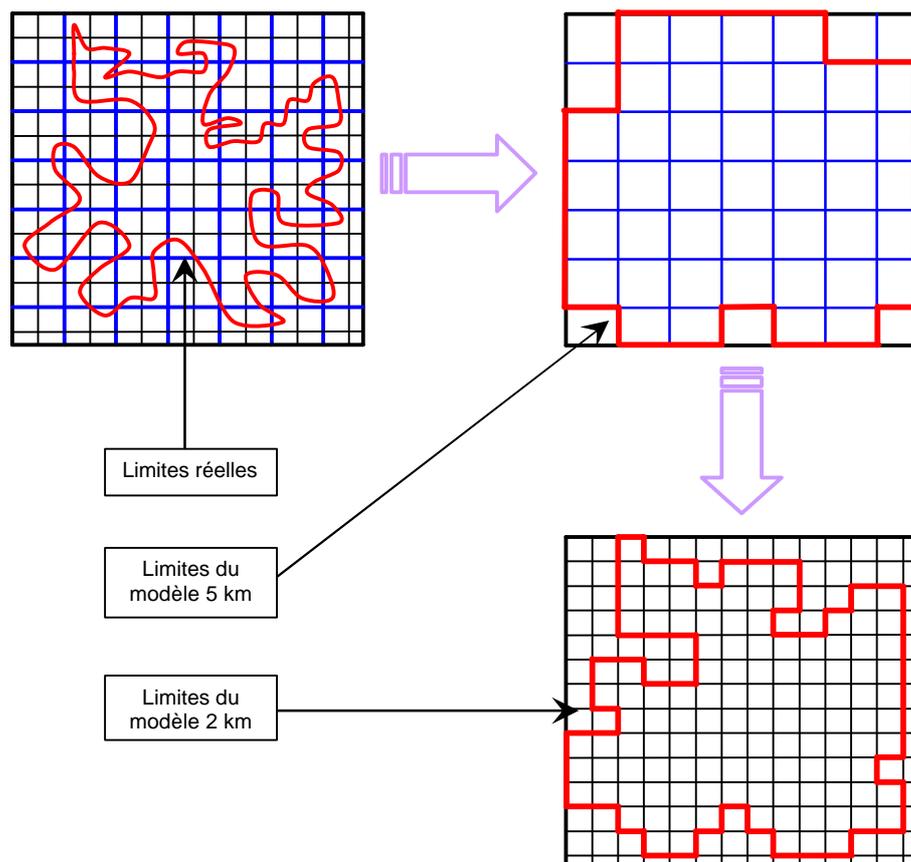


Figure 2 : Illustration de la plus grande précision de représentation des limites avec un maillage plus fin

### **Intégration des cotes du toit et du mur du réservoir oligocène**

L'intégration de la géométrie du modèle géologique au pas de 200 m dans le Modèle Nord-Aquitain a été réalisée en moyennant les valeurs des 100 mailles de 200 m comprises dans chaque maille de 2 km (Figure 3).

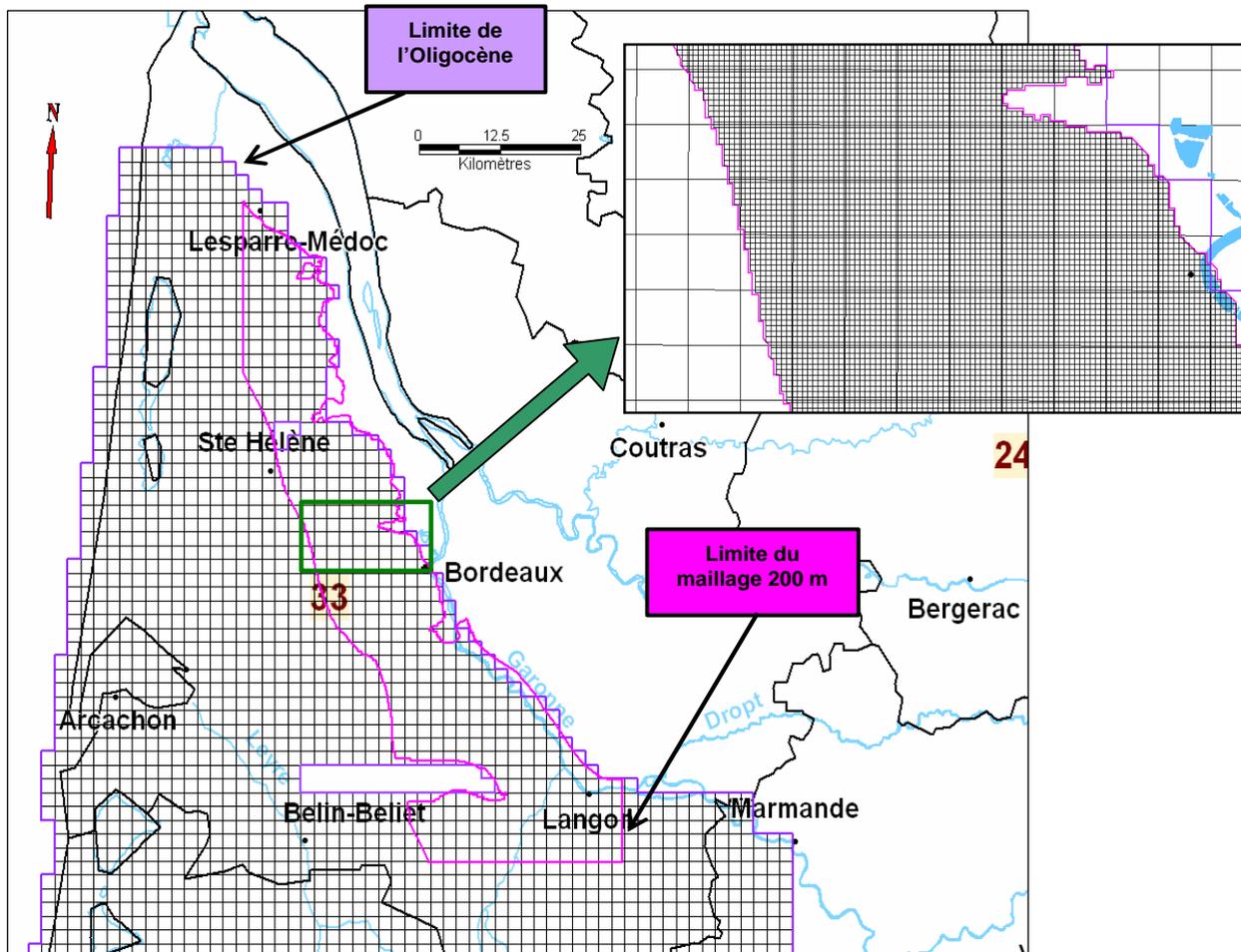


Figure 3 : Extension du maillage 200 m au sein du maillage 2km – Couche Oligocène

Pour éviter la création « d'un effet de bord » à la limite ouest du maillage 200 m, les cotes attribuées aux mailles 2 km situées sur cette limite correspondent à la moyenne des cotes fixées de part et d'autre (dans le sens du pendage E-W) de la maille considérée (Figure 4).

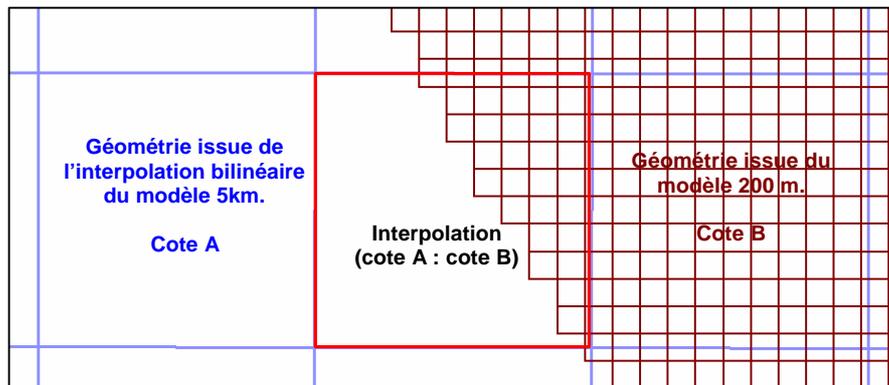


Figure 4 : calcul des cotes du toit et du mur du réservoir oligocène pour les mailles situées sur la limite ouest du modèle géologique au pas de 200 m

## 2.2.2. Secteur de Sainte-Hélène

Les nouvelles données issues des forages réalisés dans le cadre des recherches de substitution ont permis :

1. de déceler une lacune de l'Oligocène aquifère (secteur érodé ou de non dépôt) sur le forage de Moulis-en-Médoc au lieu-dit Sivaillan (07787X0011/MP1), au niveau de la partie occidentale du dôme de Listrac. L'extension de cette lacune (Figure 5) a été estimée à l'aide de coupes géologiques et des cartes géologiques à 1/50 000 Saint-Laurent-et-Benon (778) et Sainte-Hélène (802),
2. de réinterpréter certains ouvrages du secteur initialement mal décrits notamment le sondage pétrolier Sainte-Hélène 1 (07787X0001/F) sur lequel s'appuyait la validation géologique d'autres ouvrages (AEP de Brach 07786X0001/F, de Sainte-Hélène 08023X0039/F3 et de Saumos 08026X0034/F2 en particulier). Les erreurs relevées concernaient à la fois des problèmes d'attribution stratigraphique (formations considérées plus jeunes qu'elles ne l'étaient en réalité) et d'extension verticale des réservoirs. Sur la base de ces observations, des coupes géologiques de corrélation avec les nouveaux ouvrages ont été réalisées.

Les cotes du mur et du toit de l'Oligocène relevées sur une vingtaine de forages du secteur de Sainte-Hélène ont ainsi été réaffectées aux mailles correspondantes du modèle (en rouge sur la figure 5). Ces données ont été interpolées pour permettre de réajuster la géométrie de l'Oligocène (toit et mur) de tout ce secteur. Pour ce faire, la limite d'influence des nouvelles données a été appréciée sur le maillage existant (en vert sur la Figure 5). Au-delà de cette limite, la géométrie de la couche Oligocène n'a pas été modifiée.

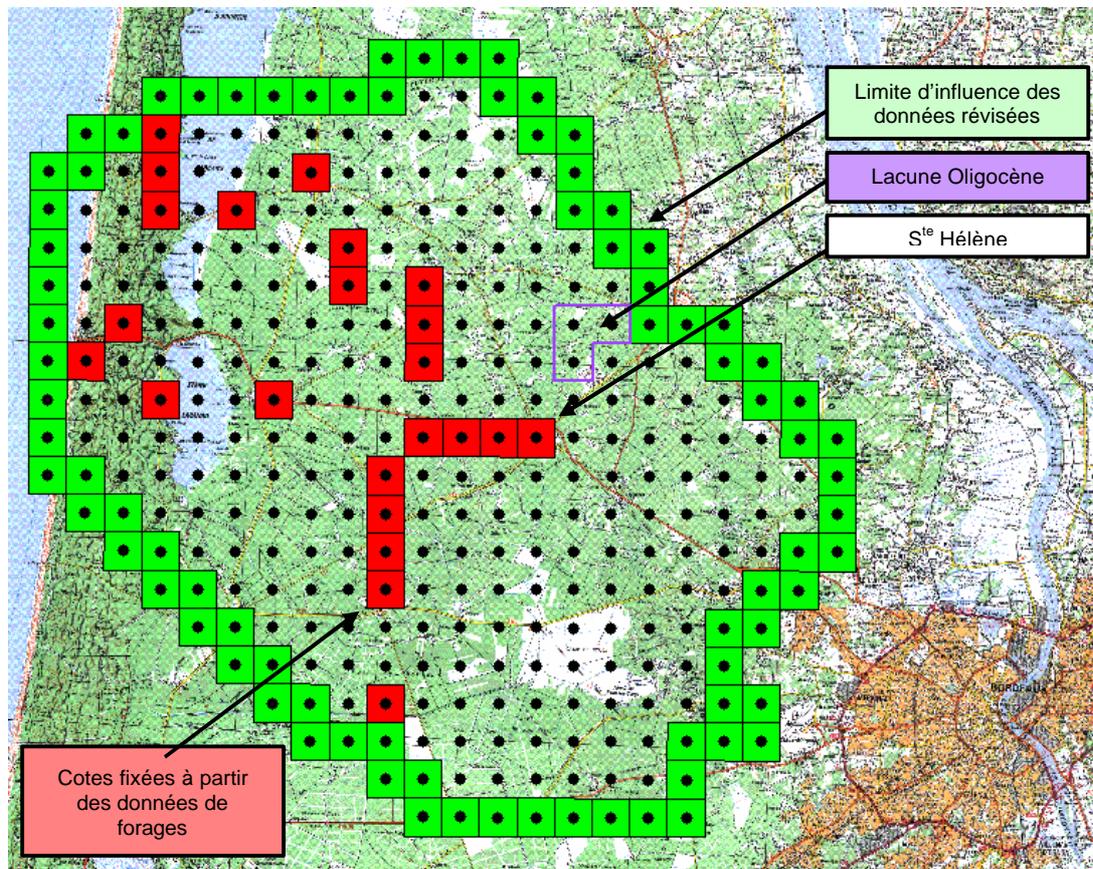


Figure 5 : Secteur Oligocène de Sainte-Hélène dont la géométrie a été révisée

### 2.3. RESULTATS

Les cartes réajustées du toit, du mur et de l'épaisseur (déduite des grilles de toit et de mur) de la couche Oligocène du Modèle Nord-Aquitain sont fournies en annexe 1 et comparées à celles de l'ancienne version pour permettre de visualiser les modifications apportées à la géométrie et aux limites.

Le réajustement de la géométrie n'a porté que sur la partie nord de la couche Oligocène pour laquelle de nouvelles données géologiques étaient disponibles. La géométrie de la partie sud de la couche provient du Modèle Sud Adour-Garonne (MSAG) qui a été élaborée en 1998 en concertation avec de nombreux acteurs (Total-Stockage, GDF, Universités, BRGM). Un réajustement devra néanmoins être envisagé dans les années à venir au niveau de la jonction des deux modèles géologiques (axe Y Lambert 3 = 218 km).

## **3. Finalisation du modèle hydrogéologique MONA V3.1**

### **3.1. REFERENTIEL HYDROGEOLOGIQUE SIMPLIFIE DE L'EOCENE**

Au cours de cette année 2, l'attribution des prélèvements dans chacune des trois couches de l'Eocène<sup>2</sup> devait être finalisée pour pouvoir procéder à leur calage. Les points restant à attribuer disposant de très peu d'informations géologiques, l'affectation a dû se faire sur la simple information de leur profondeur. C'est pourquoi il est apparu important, dans un premier temps, de bien préciser le référentiel hydrogéologique de l'Eocène du modèle. Ce travail de synthèse permettra également par la suite, et notamment lors des phases d'actualisation future du modèle, d'assurer la cohérence spatiale des affectations de nouveaux prélèvements au sein de ce multicouche complexe.

Le référentiel s'appuie sur la définition de grandes zones (Figure 6) identifiées en fonction de la mise en évidence de caractères hydrogéologiques communs remarquables (absence ou présence d'épentes, variation latérale de faciès importante...) et résultant de l'étude lithologique, point par point, des nombreux forages traversant les formations de l'Eocène étudiés lors de l'année 1 du projet (BRGM/RP-52602-FR, 2003). La définition des 10 zones du référentiel repose aussi sur l'analyse de la paléogéographie de la région durant l'Eocène (J. Dubreuilh, 1989 repris dans le rapport BRGM/RP-52602-FR).

Compte tenu des besoins de l'étude, le découpage en 10 grandes zones est volontairement schématique et ne peut rendre compte que partiellement de la grande complexité des réservoirs tertiaires. La dénomination de chaque zone correspond sensiblement aux appellations géographiques classiquement utilisées. Elles peuvent néanmoins, par extension, être abusives mais ont pour seule vocation la définition simplifiée des secteurs identifiés.

Les caractères hydrogéologiques principaux de chaque zone sont présentés dans la suite du rapport et illustrés par des logs et coupes représentatifs localisés sur la figure 7.

---

<sup>2</sup> Rappel : la définition géométrique des aquifères s'est appuyé sur des aspects lithologiques. Cette définition n'obéit donc pas toujours aux subdivisions stratigraphiques habituelles (Eocène supérieur, moyen et inférieur) dont les dénominations ont cependant été conservées par souci de clarté et de simplification (cf. Rapport BRGM/RP-52602-FR).

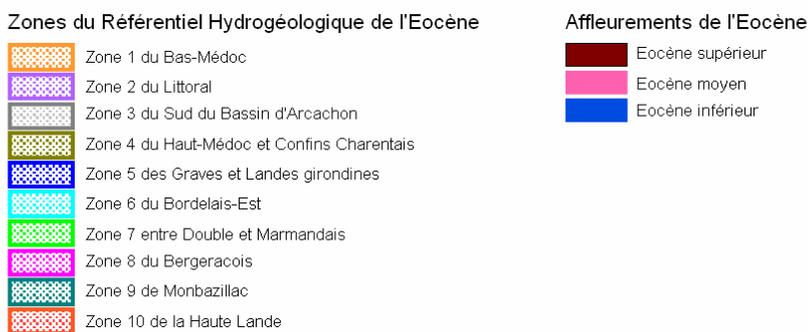
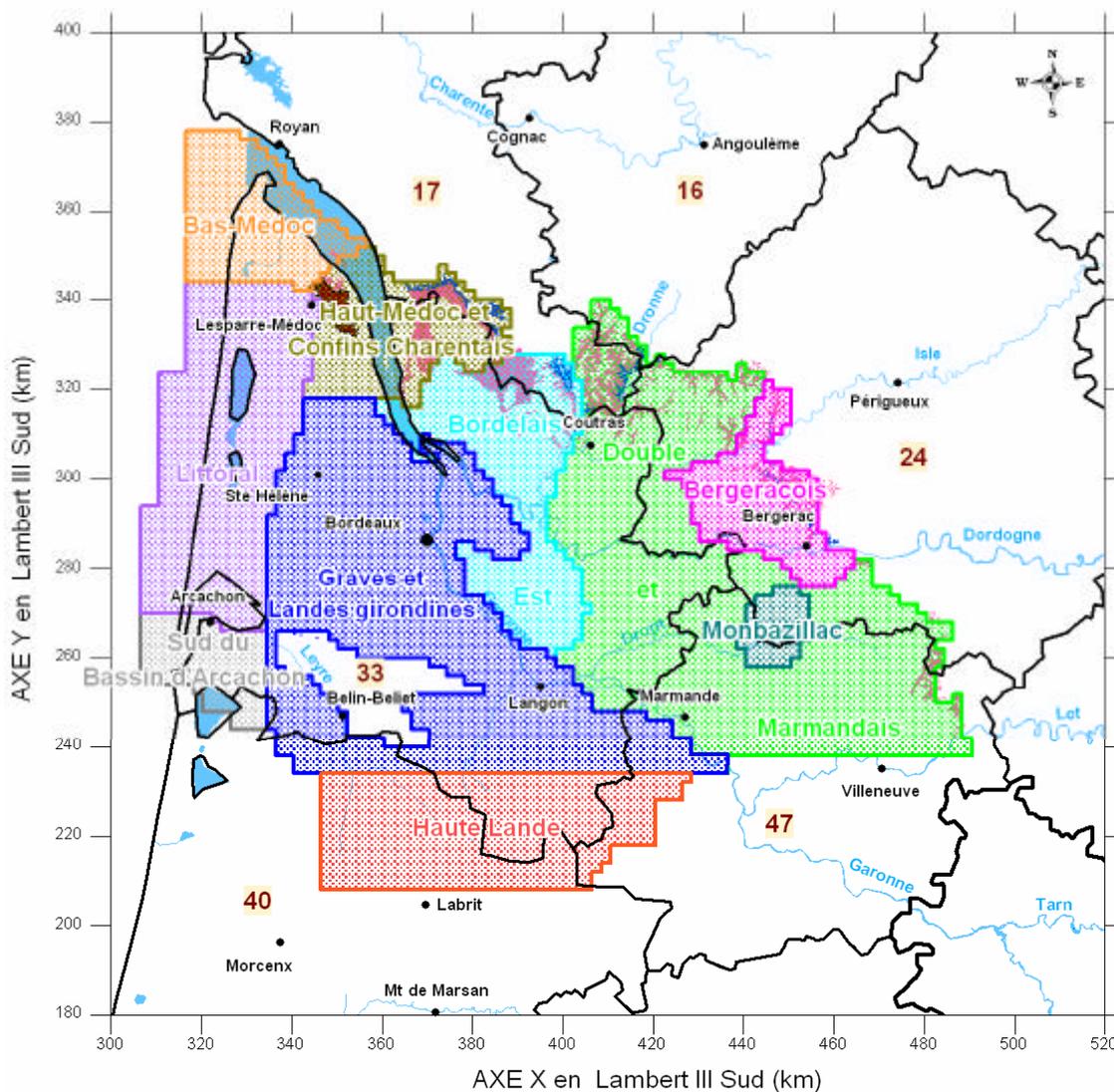


Figure 6 : Zones du référentiel hydrogéologique simplifié de l'Eocène pour le Modèle Nord-Aquitain dans sa version MONA V3.1

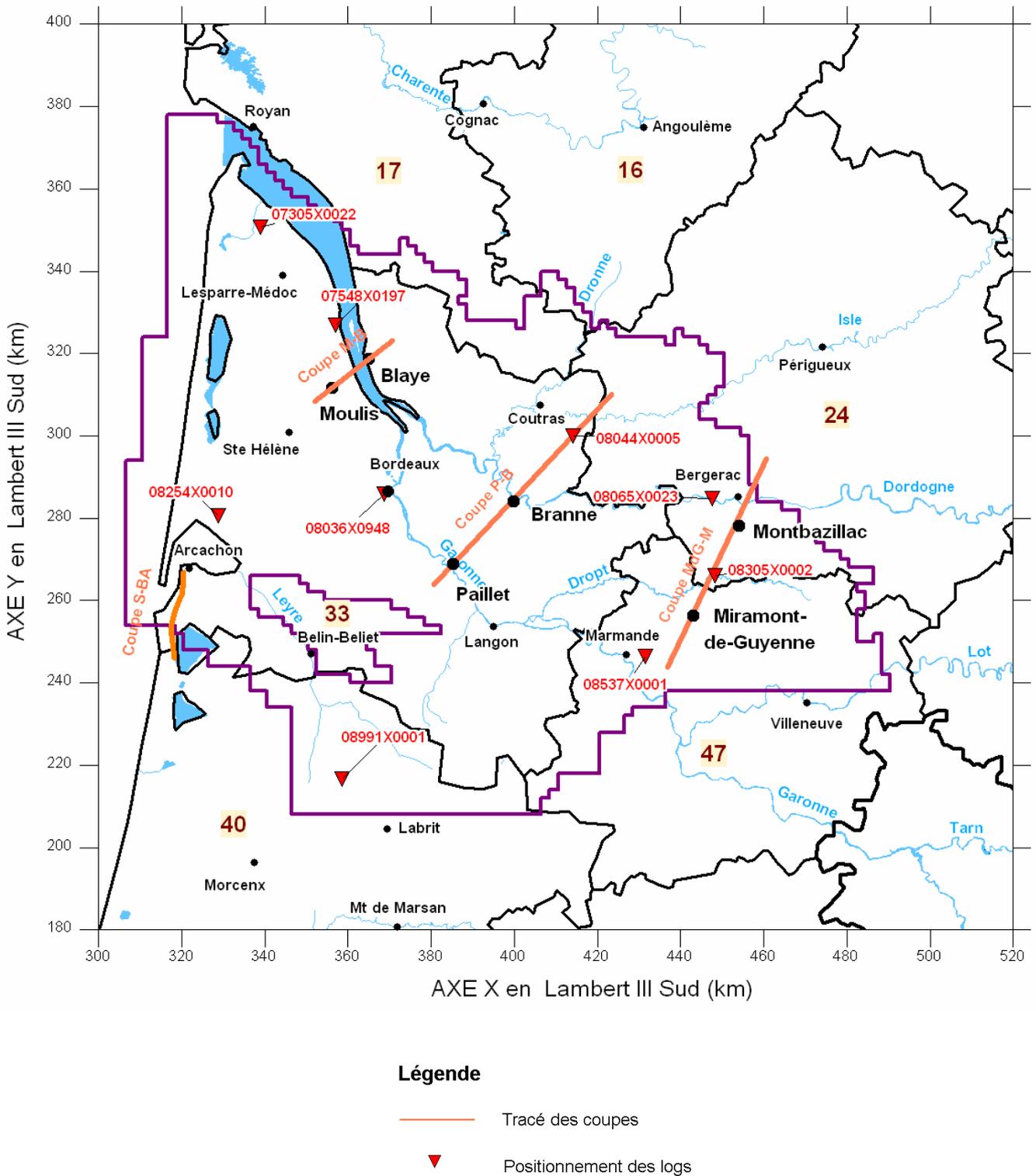


Figure 7 : Localisation des logs et coupes géologiques nécessaires à l'argumentation du référentiel hydrogéologique simplifié de l'Eocène pour le modèle MONA V3.1

### 3.1.1. L'Eocène du Bas-Médoc (Zone 1) :

- Le log présenté en figure 8 montre que l'aquifère Eocène supérieur dans le Médoc est relativement réduit. Il correspond aux calcaires de Saint-Estèphe à milioles. Cette entité est individualisée de l'aquifère Eocène moyen par des alternances d'argiles vertes de marnes (Argiles à *O.cucullaris*) et de calcaires crayo-marneux.

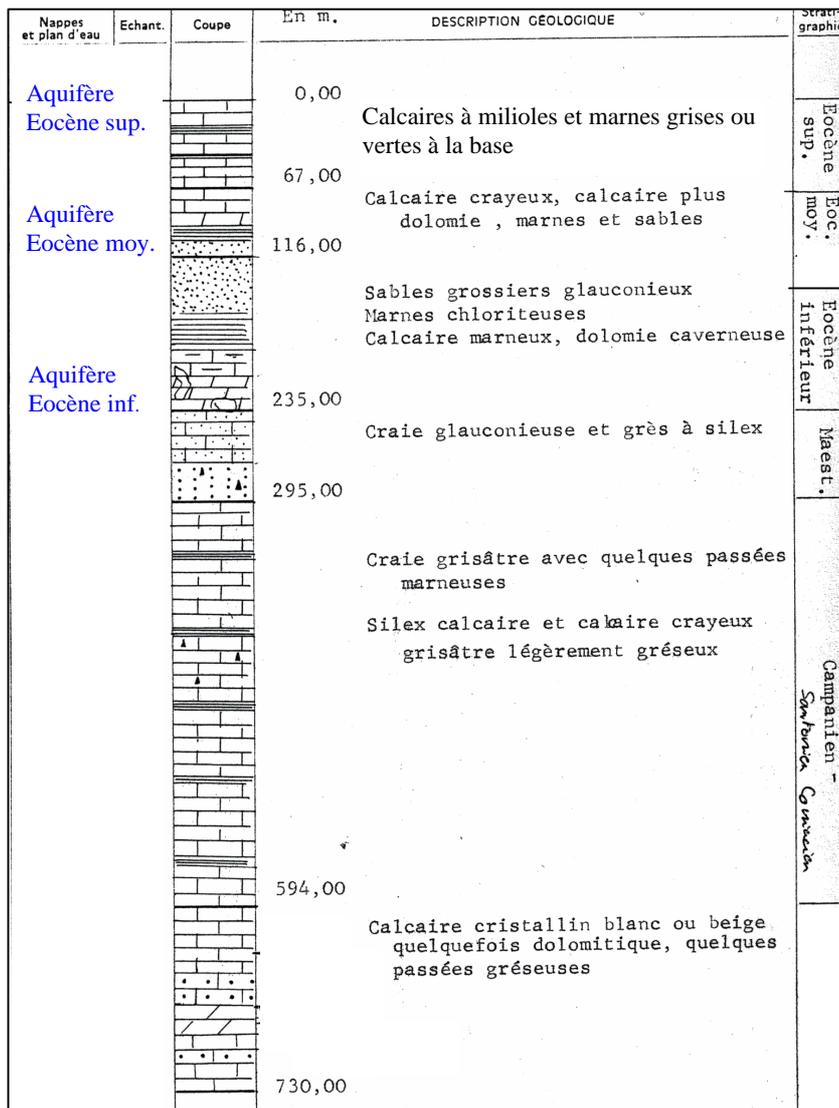


Figure 8 : Log lithologique du sondage pétrolier de Jau 1 (07305X0022/F1)

Dans le sud du Médoc, sur la carte géologique à 1/50 000 Lesparre-Médoc, à l'ouest d'une ligne passant approximativement par les communes de Lesparre-Médoc et de Saint-Laurent-Médoc, Les argiles vertes disparaissent mettant en contact direct l'aquifère Eocène supérieur avec l'aquifère Eocène moyen.

- L'aquifère « Eocène moyen » comprend schématiquement deux faciès dominants : au sommet, un ensemble de calcaires bioclastiques du Lutétien-Bartonien à orbitolites et alvéolines (Calcaires de Couquèques), localement gréseux à niveaux de marnes reposant directement sur des sables plus ou moins grossiers qui constituent la formation des « sables inférieurs du Bordelais ». La partie supérieure de cette formation est datée de l'Eocène moyen tandis que la partie inférieure est localement d'âge Eocène inférieur. D'est en ouest, ces sables passent latéralement à des formations calcaréo-dolomitiques.

Le contact des faciès calcaires et détritiques n'est pas isochrone. A l'ouest d'une ligne passant approximativement par Grayan et Vensac, l'aquifère Eocène moyen est entièrement carbonaté. Cette importante variation latérale de faciès marque l'avancée progressive de la transgression lutétienne qui s'est développée à partir de l'ouest.

- L'aquifère Eocène inférieur dans le Médoc est composé par des calcaires dolomitiques sableux marins au Nord qui passent progressivement, sur la feuille Lesparre-Médoc, à des grès à nummulites. Des niveaux de marnes à nummulites permettent la mise en charge de cet aquifère par rapport à celui de l'Eocène moyen.

Ces différentes entités s'individualisent moins franchement vers l'ouest. De plus, dans le sud du Médoc (carte géologique à 1/50 000 Lesparre-Médoc) les calcaires du Lutétien-Bartonien qui constituent le sommet de l'entité hydrogéologique Eocène moyen sont réduits à quelques mètres seulement.

Toutes ces formations s'épaississent du nord-est vers le sud-ouest.

### **3.1.2. L'Eocène de la zone littorale (zone 2) :**

Les dépôts de l'Eocène de la zone littorale sont essentiellement marins. Ils correspondent à une période transgressive amorcée par l'ouest dès le début de l'Eocène. Les différents niveaux de calcaires plus ou moins gréseux s'individualisent donc difficilement et les aquifères de l'Eocène moyen et supérieur sont, de ce fait, en communication hydraulique comme le montre le log caractéristique de la zone (Figure 9).

- L'aquifère Eocène supérieur de la zone littorale est constitué par des calcaires bioclastiques plus ou moins gréseux interstratifiés de niveaux plus marneux. Son épaisseur s'accroît vers le sud-ouest (jusqu'à 60 m). Comme l'éponte marneuse bien développée dans l'est du Médoc s'estompe progressivement, ou est remplacée par des dolomies gréseuses, l'Eocène supérieur repose en continuité hydraulique sur les calcaires de l'aquifère sous-jacent.
- Le réservoir Eocène moyen peut atteindre une épaisseur de 150 m en zone littorale. Il présente une partie supérieure composée par des calcaires bioclastiques qui reposent en continuité sur des calcaires gréseux zoogènes, l'équivalent latéral carbonaté de la série des sables inférieurs du Bordelais.

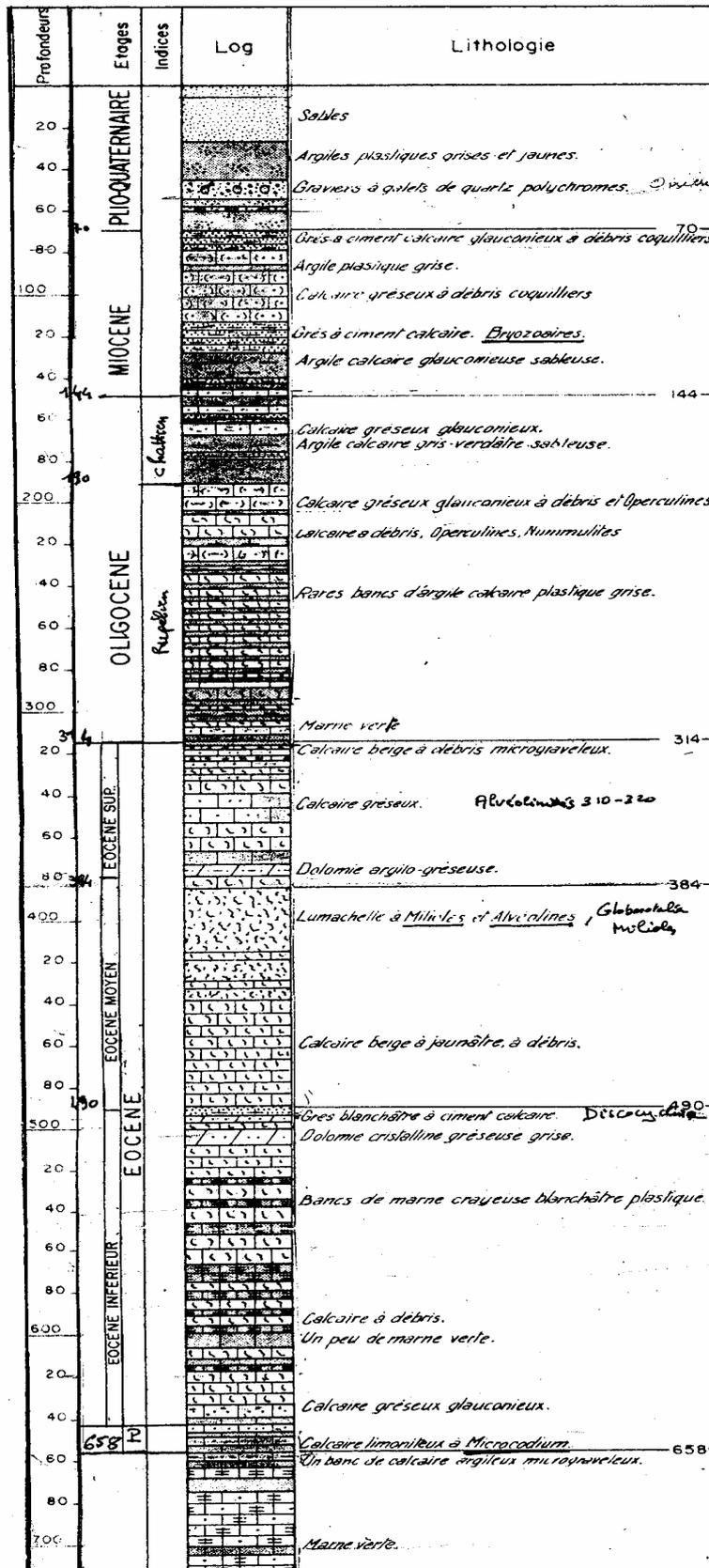


Figure 9 : Log lithologique du sondage d'Arès (08254X0010/ARES1)

- L'aquifère Eocène inférieur de la bande littorale est formé par des niveaux de calcaires à Nummulites intercalés dans les marnes à Nummulites. Cet aquifère est relativement réduit et sa perméabilité semble faible.

Les aquifères de l'Eocène disparaissent vers le Sud et le Sud-Ouest où l'environnement de plateforme distale a engendré des dépôts de calcaires argileux et de marnes très peu perméables.

### **3.1.3. L'Eocène au sud du Bassin d'Arcachon (zone 3) :**

Les faciès de l'Eocène inférieur, moyen et supérieur dans le sud du Bassin d'Arcachon sont très semblables entre eux. Ils correspondent à une sédimentation de plate-forme carbonatée proximale passant, vers le sud, le sud-ouest et l'ouest à un environnement de mer plus profonde. La limite entre les deux domaines passe sensiblement entre le Cap Ferret et la bordure nord-est de l'étang de Cazaux. Ce mode de dépôt, qui perdure durant la totalité de l'époque considérée, permet difficilement d'individualiser trois aquifères dans l'Eocène comme le montre l'ellipse rouge de la figure 10.



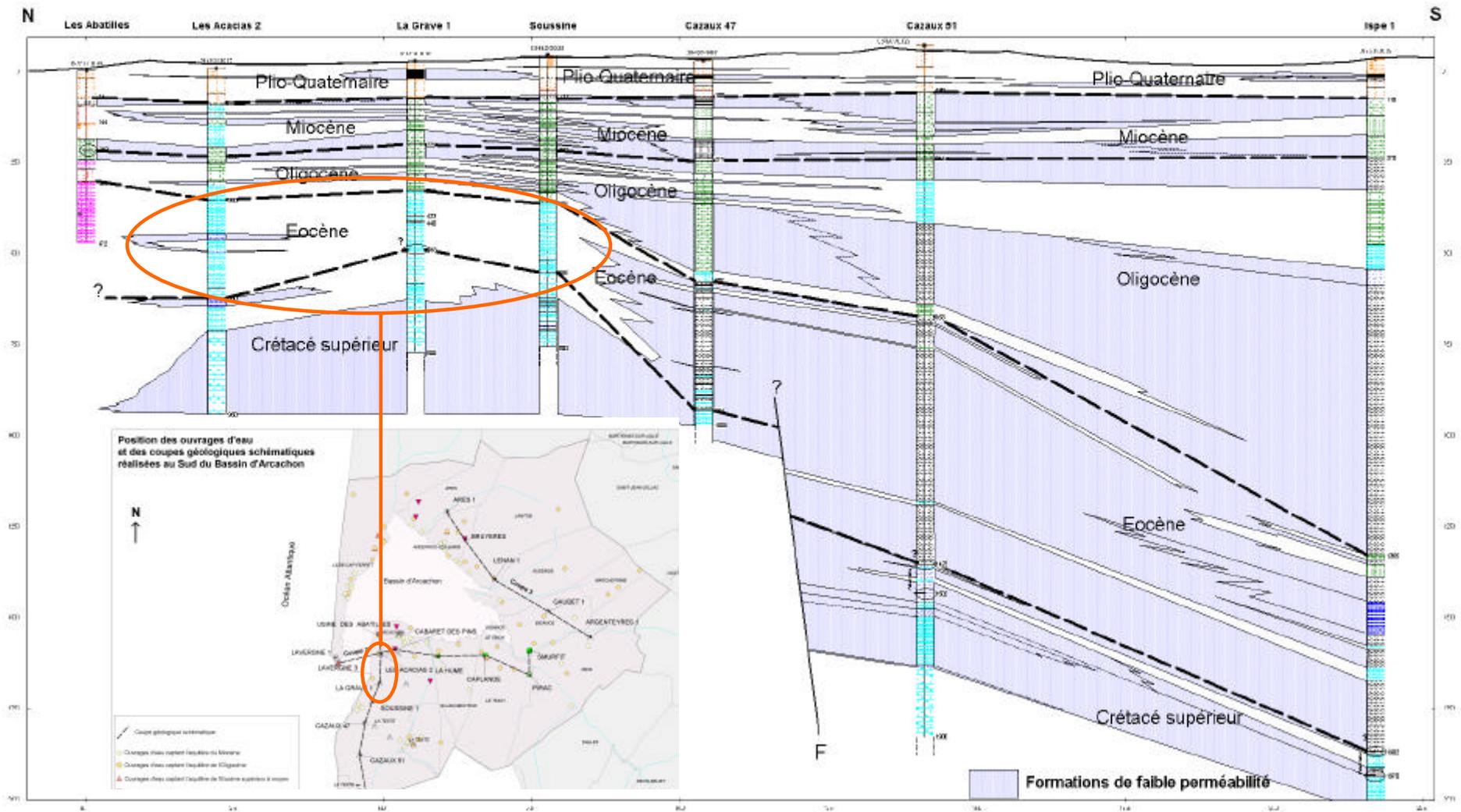


Figure 10 : Coupe schématique Nord-Sud au sud du Bassin d'Arcachon  
 (Rapport BRGM/RP-53756-FR « SAGE Nappes profondes de Gironde. Atlas des zones à risques », 2005.)



### 3.1.4. L'Éocène du Haut-Médoc et Confins Charentais (Zone 4) :

Les dépôts éocènes sont exclusivement marins en rive gauche de l'estuaire de la Gironde alors que la fraction détritique continentale devient prépondérante en rive droite (Figure 11).

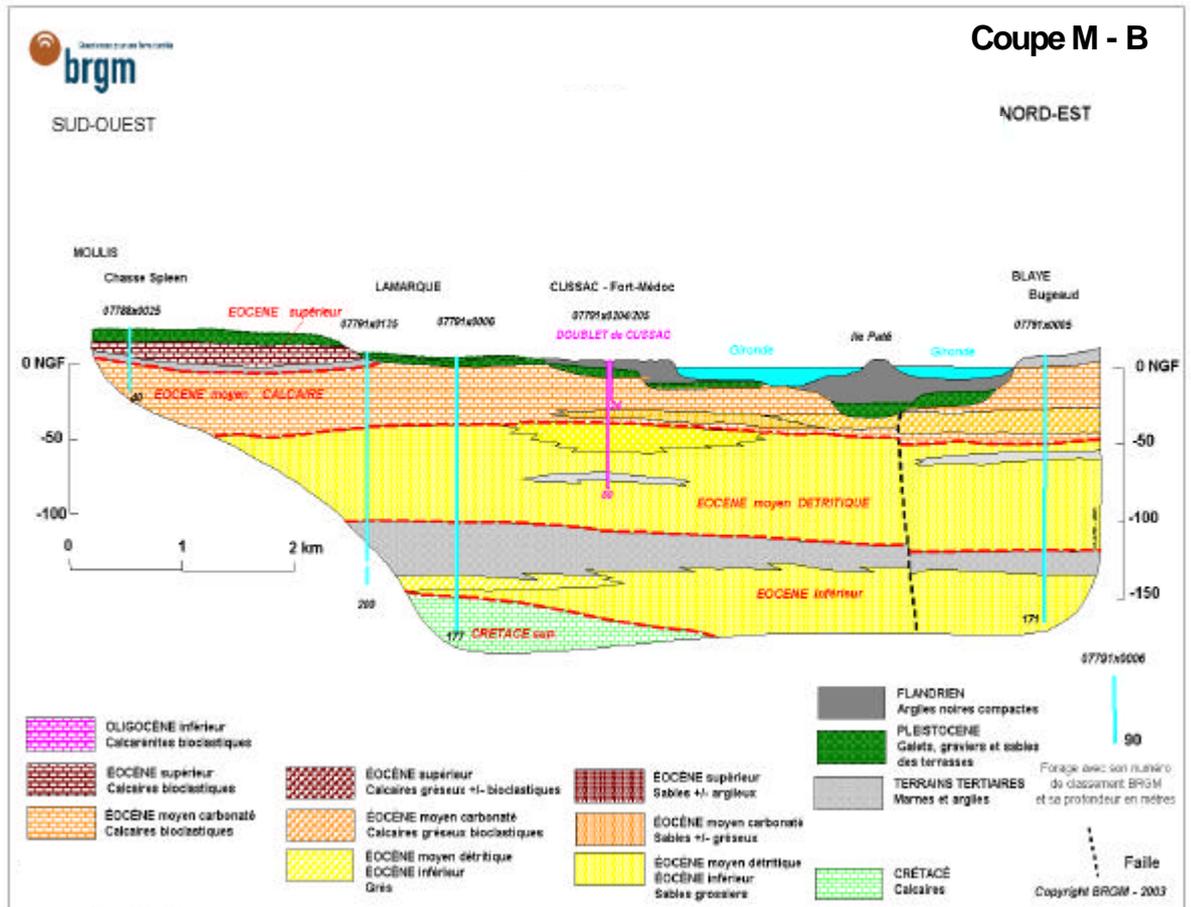


Figure 11 : Coupe géologique transversale à l'estuaire de la Gironde entre Blaye et Moulis (rapport BRGM/RP-52514-FR, 2003)

- L'Éocène supérieur aquifère n'est présent qu'en rive gauche de l'estuaire de la Gironde. Cet horizon affleure ou subaffleure sous les dépôts alluvionnaires dans la partie nord-ouest de la zone d'étude dans les environs de Bégadan et de Saint-Estèphe qui ont donné leur nom à différentes formations carbonatées de l'Éocène supérieur. Ces calcaires deviennent sablo-gréseux vers le sud-ouest pour passer à des calcaires bioclastiques en zone littorale.

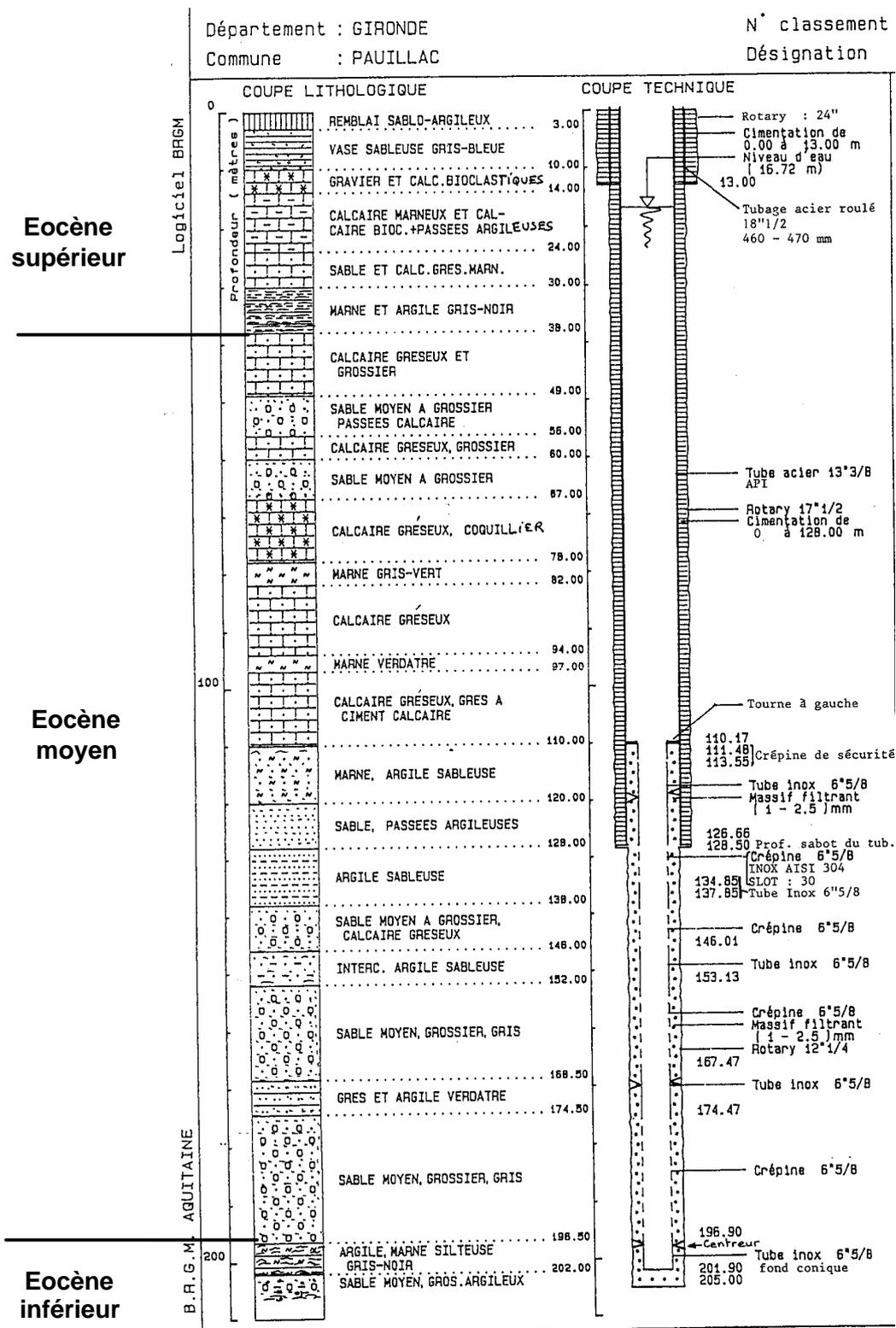


Figure 12 : Log lithologique du forage de Pauillac (07548X0197/F4)

- L'aquifère Eocène moyen est très puissant dans la zone Haut-Médoc. En regroupant les faciès carbonatés du Lutétien (calcaires de Couquèques et calcaires de Blaye) et ceux détritiques de l'Eocène moyen basal (Sables inférieurs du Bordelais), cette entité atteint une puissance supérieure à 100 mètres (130 m à Saint-Estèphe et 140 m à Pauillac (Figure 12)). Il est individualisé de l'aquifère supérieur par des dépôts d'argiles marneuses, peu épaisses (< 5 m), mais presque toujours présentes dans les sondages.
- L'aquifère Eocène inférieur correspond aux assises plus sableuses et gréseuses intercalées dans une série détritique de l'Eocène inférieur globalement argilo-sableuse. Les dépôts d'argiles et de marnes à nummulites du sommet de l'Eocène inférieur jouent le rôle d'éponte hydrogéologique entre le réservoir de l'Eocène inférieur et celui de l'Eocène moyen.

### **3.1.5. L'Eocène dans la zone des Graves et Landes girondines (zone 5) :**

Le log lithostratigraphique du sondage géothermique 08036X0948/BDX1 présenté en figure 13 apparaît très représentatif des terrains rencontrés sur l'ensemble de la zone 5.

- L'Eocène supérieur, relativement réduit en épaisseur, présente des niveaux sableux et calcaires (calcaires de Plassac et de Saint-Estèphe) au sein des molasses inférieures. Ces horizons productifs forment l'aquifère de l'Eocène supérieur.
- Le réservoir Eocène moyen est le niveau le plus développé et le plus productif de l'ensemble de la série éocène. A son sommet, l'épaisseur de la formation des calcaires de Blaye datés du Lutétien-Bartonien varie de 80 à plus de 120 mètres. Elle repose en continuité hydrogéologique sur la formation détritique de l'Eocène moyen basal représentée par les Sables inférieurs du Bordelais. Cette dernière passe rapidement à des formations marines sableuses et calcareo-gréseuses vers l'ouest et aux sables continentaux de la formation de Guizengeard vers l'est. Le toit de l'aquifère Eocène moyen est formé par les molasses inférieures et par les marnes à *Ostrea cucullaris* caractéristiques de la région. Les marnes à nummulites de l'Eocène inférieur jouent le rôle d'éponte entre les aquifères de l'Eocène moyen et de l'Eocène inférieur.
- L'aquifère Eocène inférieur est réduit à des passées sableuses de faible épaisseur, équivalent latéral des formations de Bernet et du Ramard nettement plus développées vers l'est, dans le Libournais et le Périgord.

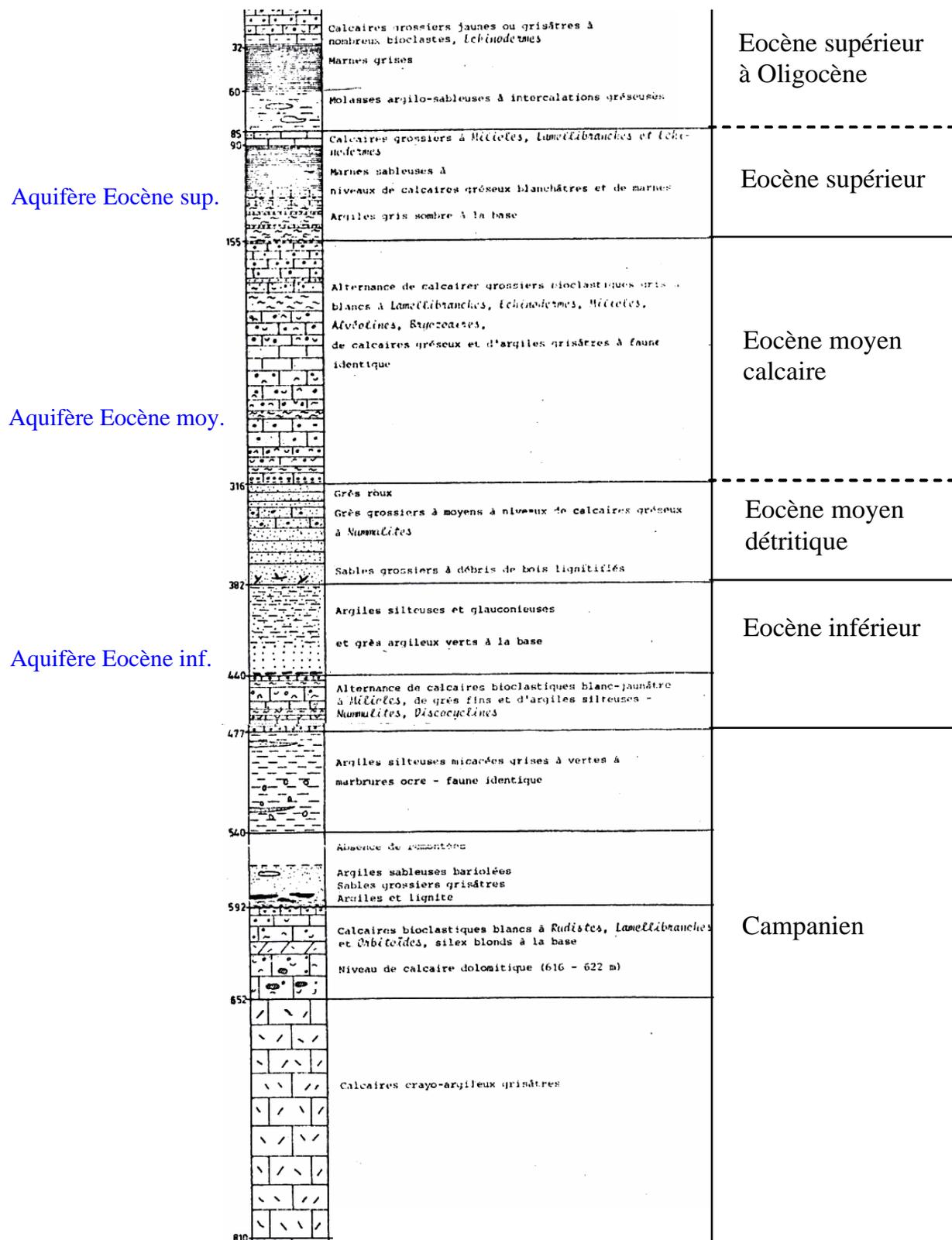
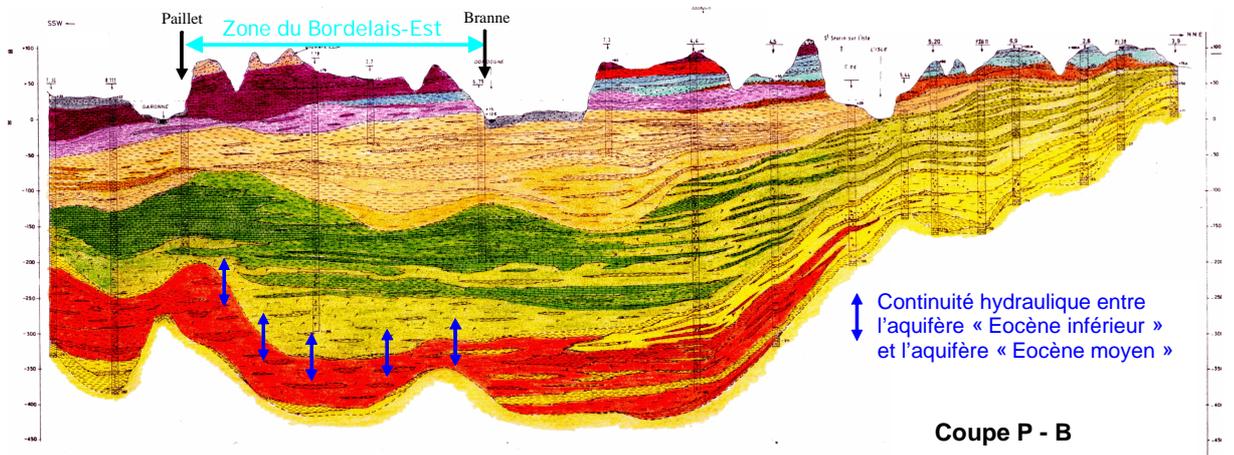


Figure 13 : Log lithostratigraphique du sondage géothermique de Mériadeck (08036X0948/GBDX1) (Rapport BRGM 81 SGN 236 AQI)

### 3.1.6. L'Eocène du Bordelais-Est (zone 6) :



OLIGOCENE		EOCENE MOYEN	
<b>MARIN</b>		<b>MARIN</b>	
Calcaires à Astéries		Calcaires de Blaye inférieur, supérieur et de l'Octroi	
Marnes à Ostrea Longirostris		Sables inférieurs à Nummulites	
<b>PALUSTRE ET LACUSTRE</b>		<b>FLUVIATILE ET LAGUNO-MARIN</b>	
Molasses de l'Agenais supérieures		Formation de Guizengeard supérieur et son équivalent latéral	
Calcaires de Montbazillac		<b>EOCENE INFÉRIEUR</b>	
Molasses de l'Agenais inférieures		<b>MARIN</b>	
Marnes vertes du Bordelais		Sables de Saint Bonnet, grès, calcaires et marnes à Nummulites	
Argiles, marnes et calcaires de Castillon		<b>PALUSTRE ET LACUSTRE</b>	
<b>FLUVIATILE</b>		Calcaires lacustres de la région du Dropt	
Formation de Boisbreteau supérieur		<b>FLUVIATILE ET LAGUNO-MARIN</b>	
Formation de Boisbreteau médian		Formations du Ramard, de Bernet et de Guizengeard inférieur et leur équivalent latéral	
<b>EOCENE SUPÉRIEUR</b>		<b>CRETACE ET PALEOCENE</b>	
<b>MARIN</b>		Calcaires crayeux, argiles et lignites	
Calcaires de St Estèphe			
Marnes à Ostrea Cucullaris			
<b>PALUSTRE ET LACUSTRE</b>			
Molasses du Fronsadais s.l.			
Calcaires d'Issigeac			
Calcaires des Ondes de Langles			
Molasses inférieures, Sables du Libournais, argiles à Palaeotherium et grès de Laussou			
Argiles et calcaires de Plassac			
<b>FLUVIATILE</b>			
Formation de Boisbreteau inférieur			

Figure 14 : Coupe SSW-NNE des formations tertiaires entre Paillet et Branne.  
 (Extrait de la thèse « Synthèse paléogéographique et structurale des dépôts fluviaux tertiaires du nord du bassin d'aquitaine » par J. Dubreuilh, 1989)

La succession des dépôts de la série éocène dans la zone Bordelais-Est est très semblable à celle observée dans la zone des Graves et des Landes girondines. Le critère d'appréciation principal retenu pour la création de cette zone 6 repose sur l'absence de dépôts des marnes à nummulites au sommet de l'Eocène inférieur. Comme le montre la figure 14 ci-dessus, l'aquifère Eocène inférieur sablo-gréseux se trouve donc en continuité hydraulique avec l'aquifère Eocène moyen.

De plus, cette zone représente, peu ou prou, la limite nord-est d'avancée de la plateforme carbonatée au Lutétien. Plus à l'est, les calcaires de Blaye passent ainsi latéralement à des dépôts fluvio-lacustres continentaux de calcaires, de marnes et de

sables. Cette limite suit un axe approximatif Libourne-Marmande qui représente la zone d'affrontement entre les différentes transgressions marines et les avancées deltaïques charriant du matériel détritique en provenance des zones surélevées de l'est et du nord-est (Massif central).

### **3.1.7. L'Eocène entre Double et Marmandais (zone 7) :**

L'Eocène de la zone située entre la Double et le Marmandais présente des faciès de dépôts continentaux. Comme indiqué précédemment, les transgressions marines de l'Eocène ont avancé du sud-ouest vers le nord-est de la région jusqu'à une ligne approximative Libourne-Marmande qui correspond à la limite sud-ouest de la zone 7.

La figure 15 montre les logs lithologiques de deux sondages représentatifs du Nord (sondage 08044X0005/F de Petit-Palais-et-Cornemps) et du Sud de la zone d'étude (sondage 08537X0001/F de Virazeil). L'analyse révèle une grande similitude entre la succession des dépôts de l'Eocène du nord et du sud.

- L'aquifère Eocène supérieur correspond aux sables fluviatiles de la formation de Boisbreteau reposant sur les argiles à Paleotherium et les molasses inférieures. Ces formations imperméables constituent le mur de l'aquifère supérieur. Dans le nord et le centre de la zone 7, les sables fluviatiles de la Formation de Boisbreteau reposent plus ou moins en continuité sur la Formation des Sables Fluviatiles du Libournais qui peuvent atteindre une épaisseur conséquente. Très localement, ces chenaux sableux ont érodé totalement les molasses inférieures. Les terrains de l'Eocène supérieur communiquent alors avec l'aquifère sous-jacent de l'Eocène moyen.
- Le sommet de l'aquifère Eocène moyen se compose de rares passées de calcaire marin de Blaye. Son épaisseur est très réduite à l'ouest. Il disparaît totalement vers le nord-est de la zone d'étude. La majeure partie de cet aquifère correspond aux sables fluviatiles de la Formation de Guizegard qui prennent le relais en latéral des Sables Inférieurs du Bordelais marins. Les niveaux argileux de ces séquences fluviatiles jouent le rôle d'épentes multiples et discontinues.
- Les niveaux perméables de sables fluviatiles des Formations de Bernet et du Ramard composent l'aquifère Eocène inférieur. Celui-ci est composite en raison de la présence de nombreux niveaux argileux au sommet des séquences.

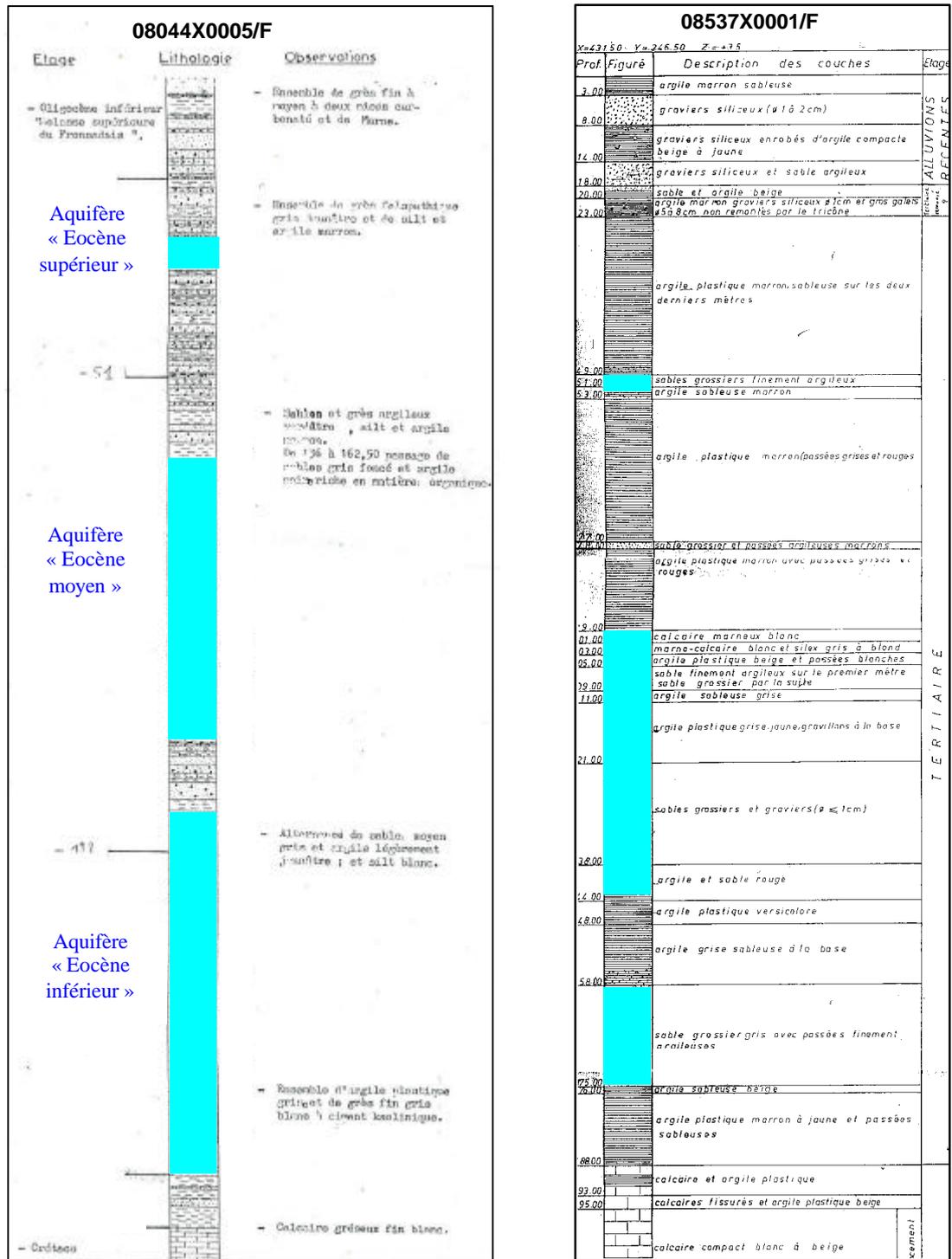


Figure 15 : Logs lithologiques des sondages 08044X0005/F de Petit-Palais-et-Cornemps (nord de la zone 7) et 08537X0001/F de Virazeil (sud de la zone 7).

### 3.1.8. L'Eocène dans le Bergeracois (zone 8) :

Dans cette zone, les formations de l'Eocène sont entièrement détritiques et de paléoenvironnement continental. Elles affleurent en bordure nord-est et plongent rapidement en direction du sud-ouest (cf. Figure 17).

- Les Sables Fluviaux du Libournais (S.F.L.) et les calcaires lacustres (calcaires de Ondes) intercalés dans les molasses inférieures et les argiles à Paleotherium de l'Eocène supérieur au sud composent l'aquifère de l'Eocène supérieur dans la zone du Bergeracois. Cet aquifère est relativement discontinu, les nombreuses passées argileuses pouvant jouer, localement, le rôle d'éponte hydrogéologique à l'intérieur même de l'entité réservoir.

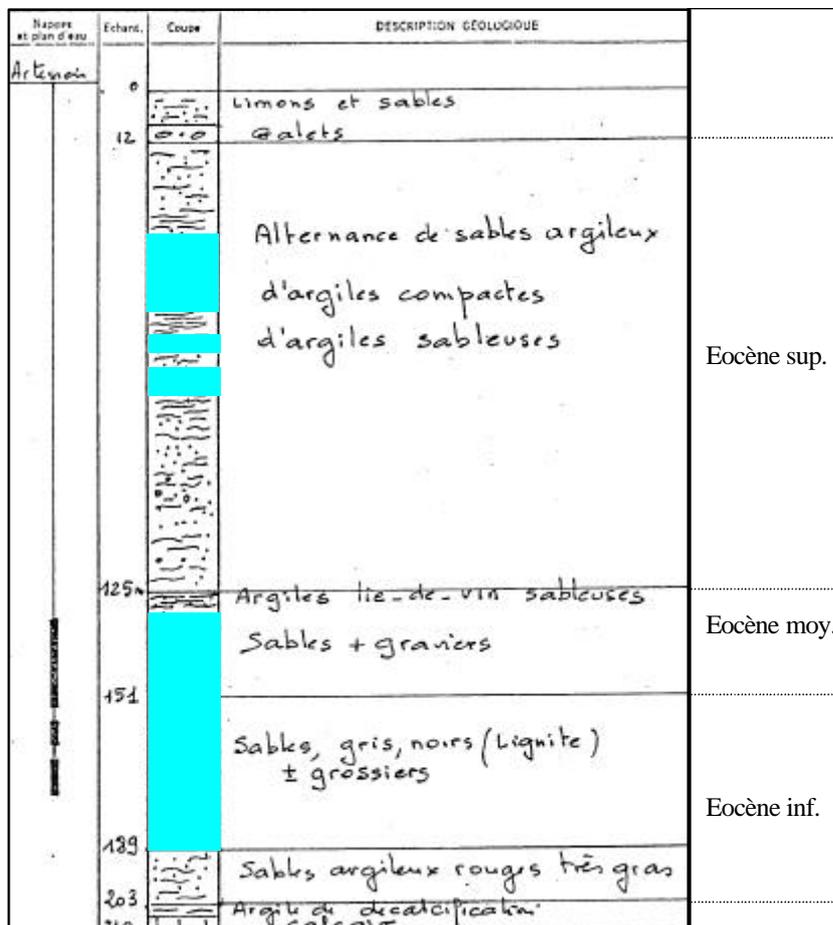
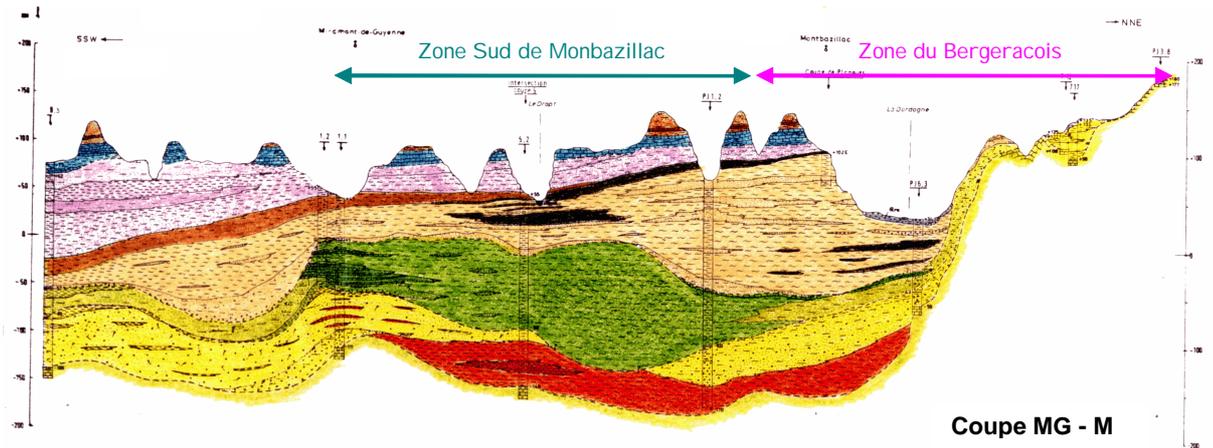


Figure 16 : Log lithologique du sondage 08065X0023/F de Prignonieux.

- L'aquifère Eocène moyen se compose de sables exclusivement fluviaux de la Formation de Guizengeard (équivalent latéral des calcaires de Blaye et des Sables Inférieurs marins du Bordelais). Il est en continuité hydraulique avec les sables de l'Eocène inférieur comme le montre la figure 16.

L'aquifère Eocène inférieur dans la zone du Bergeracois, constitué de sables grossiers et graviers très peu argileux (base des séquences fluviatiles), correspond à un complexe deltaïque qui a une épaisseur variable pouvant atteindre une cinquantaine de mètres.

### 3.1.9. L'Eocène au Sud de Monbazillac (zone 9) :



OLIGOCENE	EOCENE MOYEN
<b>MARIN</b>	<b>MARIN</b>
Calcaires à Astéries	Calcaires de Blaye inférieur, supérieur et de l'Octroi
Marnes à Ostrea Longirostris	Sables inférieurs à Nummulites
<b>PALUSTRE ET LACUSTRE</b>	<b>FLUVIATILE ET LAGUNO-MARIN</b>
Molasses de l'Agenais supérieures	Formation de Guizegeard supérieur et son équivalent latéral
Calcaires de Monbazillac	<b>EOCENE INFÉRIEUR</b>
Molasses de l'Agenais inférieures	<b>MARIN</b>
Marnes vertes du Bordelais	Sables de Saint Bonnet, grès, calcaires et marnes à Nummulites
Argiles, marnes et calcaires de Castillon	<b>PALUSTRE ET LACUSTRE</b>
<b>FLUVIATILE</b>	Calcaires lacustres de la région du Dropt
Formation de Boisbretreau supérieur	<b>FLUVIATILE ET LAGUNO-MARIN</b>
Formation de Boisbretreau médian	Formations du Ramard, de Bernet et de Guizegeard inférieur et leur équivalent latéral
<b>EOCENE SUPERIEUR</b>	<b>CRETACE ET PALEOCENE</b>
<b>MARIN</b>	Calcaires crayeux, argiles et lignites
Calcaires de St Estèphe	
Marnes à Ostrea Cucullaris	
<b>PALUSTRE ET LACUSTRE</b>	
Molasses du Fronsadais, s.l.	
Calcaires d'Issigeac	
Calcaires des Ondes, de Langles	
Molasses inférieures, Sables du Libournais, argiles à Palaeotherium et grès de Laussou	
Argiles et calcaires de Plassac	
<b>FLUVIATILE</b>	
Formation de Boisbretreau inférieur	

Figure 17 : Coupe SSW-NNE des formations tertiaires entre Miramont-de-Guyenne et Monbazillac. (Extrait de la thèse « synthèse paléogéographique et structurale des dépôts fluviatiles tertiaires du nord du bassin d'aquitaine » par J. Dubreuilh, 1989)

- L'aquifère de l'Eocène supérieur correspond aux assises de calcaires lacustres (calcaires des Ondes) intercalées entre les Molasses du Fronsadais et les Molasses inférieures. De rares passées de sables fluviatiles du Libournais peuvent, par endroit, compléter ces formations aquifères.

Comme le montrent les figures 17 et 18, l'Eocène moyen et inférieur sont très peu aquifères dans cette zone lui conférant un caractère particulier. Il n'existe pas de réservoirs réellement identifiés dans les terrains de l'Eocène moyen et inférieur entre Monbazillac et Miramont-de-Guyenne.

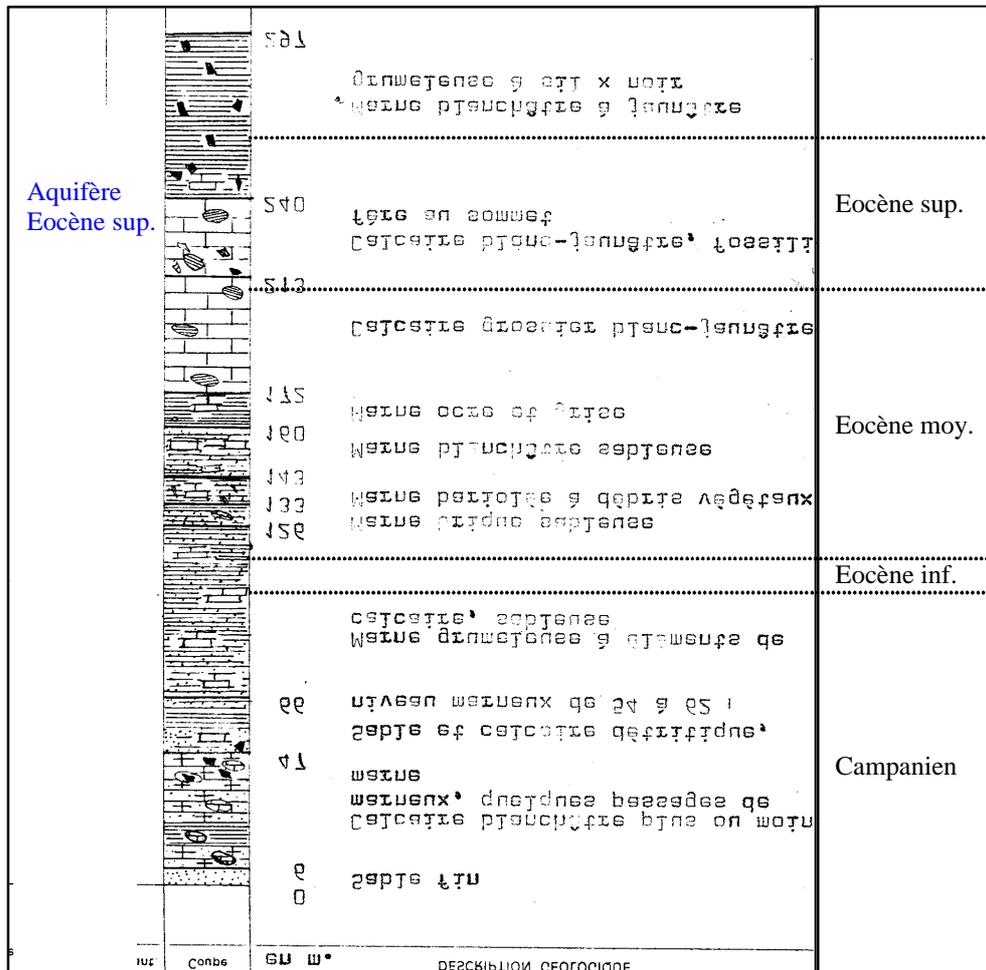


Figure 18 : Log lithologique du forage communal 08305X0002/F d'Eymet.

### 3.1.10. L'Eocène de la Haute Lande (zone 10) :

Cette zone est très peu renseignée sur la nature des terrains qui composent son sous-sol. Les ouvrages sont présents en très petit nombre et seul le forage pétrolier **08991X0001/TAQ1** (figure 7) de Trensacq traverse, sur la zone de l'étude, les formations de l'Eocène. La description très sommaire des niveaux rencontrés fait état d'une alternance de calcaires et de marnes bariolées entre 500 et 600 mètres de profondeur. L'Eocène est très peu productif et difficilement accessible dans une zone caractérisée par une faible densité de population. Aucun ouvrage d'exploitation d'eau dans l'Eocène n'est recensé sur cette zone.

### 3.2. FINALISATION DE L'AFFECTATION DES PRELEVEMENTS DANS LES TROIS COUCHES DE L'EOCENE

L'affectation et la validation hydrogéologique des ouvrages sollicitant l'Eocène a fait l'objet d'une étude complète (intégrant les données collectées auprès de différents organismes [AEAG, DDAF 24 et 33]) aujourd'hui finalisée. 465 forages ont ainsi été validés comme captant au moins un des trois aquifères de l'Eocène sur la période 1972-2000 et entrant dans les limites du modèle Nord-Aquitain Version 3.1. La répartition se fait comme suit :

- 45 ouvrages captent uniquement l'Eocène supérieur,
- 339 forages captent uniquement l'Eocène moyen,
- 20 captent uniquement l'Eocène inférieur,
- 61 captent au moins deux aquifères dont 35 l'Eocène moyen + l'Eocène inférieur.

Pour les forages captant deux réservoirs, les volumes ont été affectés arbitrairement pour moitié à chacun d'eux. La même logique a été adoptée lorsqu'un forage recoupe trois aquifères.

#### 3.2.1. Analyse des données de prélèvements

**349** ouvrages disposent de données de prélèvements **pour l'année 2000** : 15 captent strictement l'aquifère Eocène inférieur, 256 celui de l'Eocène moyen et 27 celui de l'Eocène supérieur. De plus, 51 ouvrages captent plusieurs aquifères à la fois.

Au total, le cumul de tous les prélèvements recensés dans l'Eocène en 2000 dans les limites du modèle aboutit à **69,3 millions de m<sup>3</sup>**.

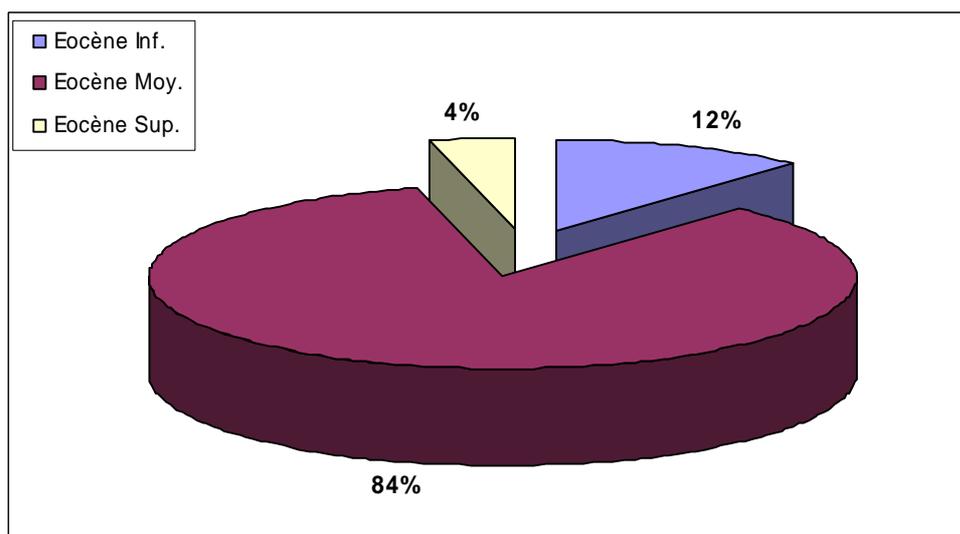


Figure 19 : Répartition (en %) des prélèvements dans les différents aquifères de l'Eocène.

Les volumes sont très inégalement répartis entre les trois nappes de l'Eocène (figure 19) :

- L'Eocène inférieur a fourni 8,2 millions de m<sup>3</sup>, soit 12% du volume total
- L'Eocène moyen a fourni 58,5 millions de m<sup>3</sup>, soit 84% du volume total
- L'Eocène supérieur a fourni 2,7 millions de m<sup>3</sup>, soit 4% du volume total.

Cette répartition montre la prépondérance de l'exploitation du réservoir de l'Eocène moyen au sein du multicouche Eocène.

### Evolution

La figure 20 ci-dessous montre que cette répartition est à peu près constante depuis 1972. L'évolution des soutirages globaux dans l'Eocène dépend essentiellement des variations de prélèvements dans l'Eocène moyen. Les prélèvements dans les aquifères de l'Eocène inférieur et supérieur fluctuent dans de faibles proportions sur la période considérée. L'exploitation de l'Eocène n'a cessé d'augmenter jusqu'en 1989, date à partir de laquelle les prélèvements se stabilisent pour amorcer une légère baisse à partir de 1992.

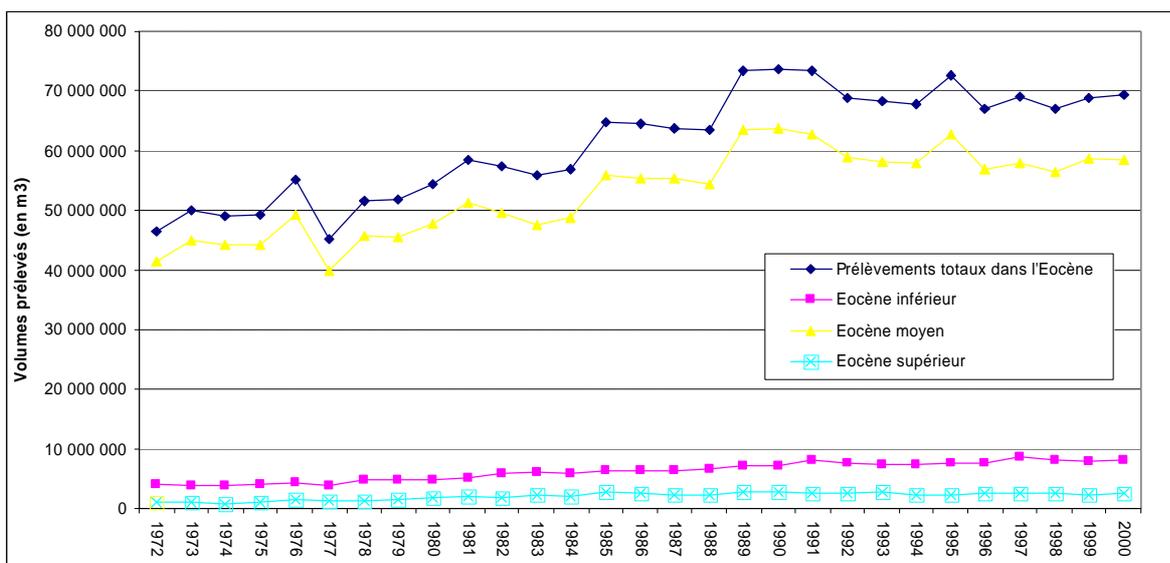


Figure 20 : Evolution des prélèvements (en m<sup>3</sup>) en fonction de l'aquifère capté de 1972 à 2000

### 3.2.2. Les prélèvements dans l'Eocène inférieur

La figure 21 regroupe les 48 données de prélèvements dans l'Eocène inférieur aquifère (certains ouvrages captant plusieurs nappes). La majorité se situe à l'est d'une ligne Bordeaux-Langon du fait de l'approfondissement progressif de ces formations vers l'ouest. Les niveaux productifs de l'Eocène inférieur se situent déjà, sous Bordeaux centre, à plus de 400 m de profondeur.

Trois pôles principaux de prélèvements s'individualisent :

- Le secteur ouest de Bergerac, le long de la Dordogne, cumule 37% des volumes soutirés à l'Eocène inférieur en 2000 soit environ 3 millions de m<sup>3</sup>.
- Le secteur de Coutras, dans la vallée de l'Isle, totalise 17% des volumes prélevés dans l'aquifère de l'Eocène inférieur soit environ 1,4 millions de m<sup>3</sup>.
- Au nord de Marmande, dans la vallée du Dropt, les prélèvements s'élèvent à environ 1,3 millions de m<sup>3</sup> ce qui correspond à 16% du volume total fourni par cet aquifère.

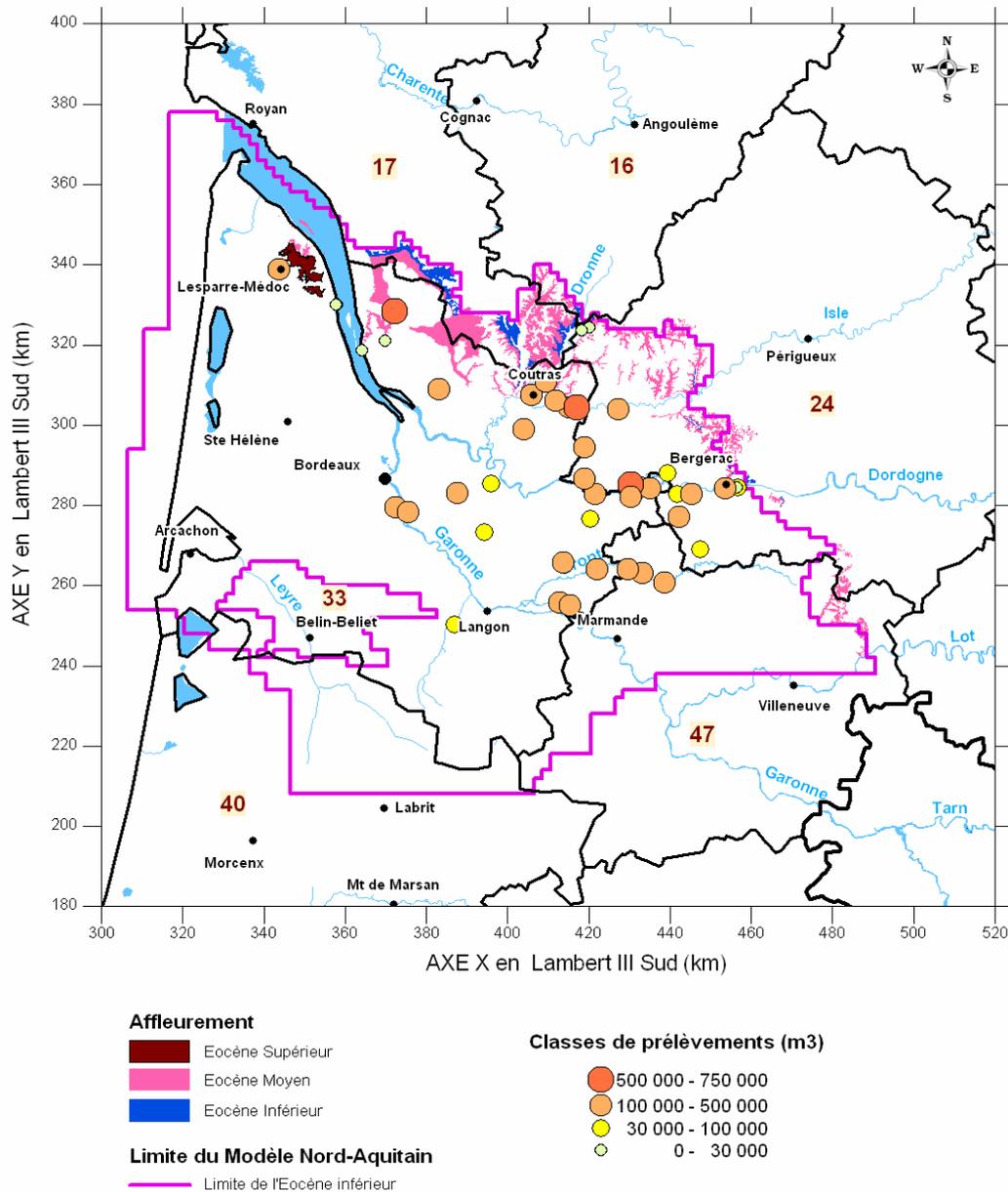


Figure 21 : Prélèvements dans l'Eocène inférieur en 2000

### 3.2.3. Les prélèvements dans l'Eocène moyen

L'Eocène moyen représente la principale ressource de l'Eocène. L'épaisseur cumulée de ces niveaux productifs peut être très importante notamment dans le Bordelais où l'Eocène moyen aquifère atteint une puissance de 220 m (forage 08036X0948/GBDX1 à Mériadeck).

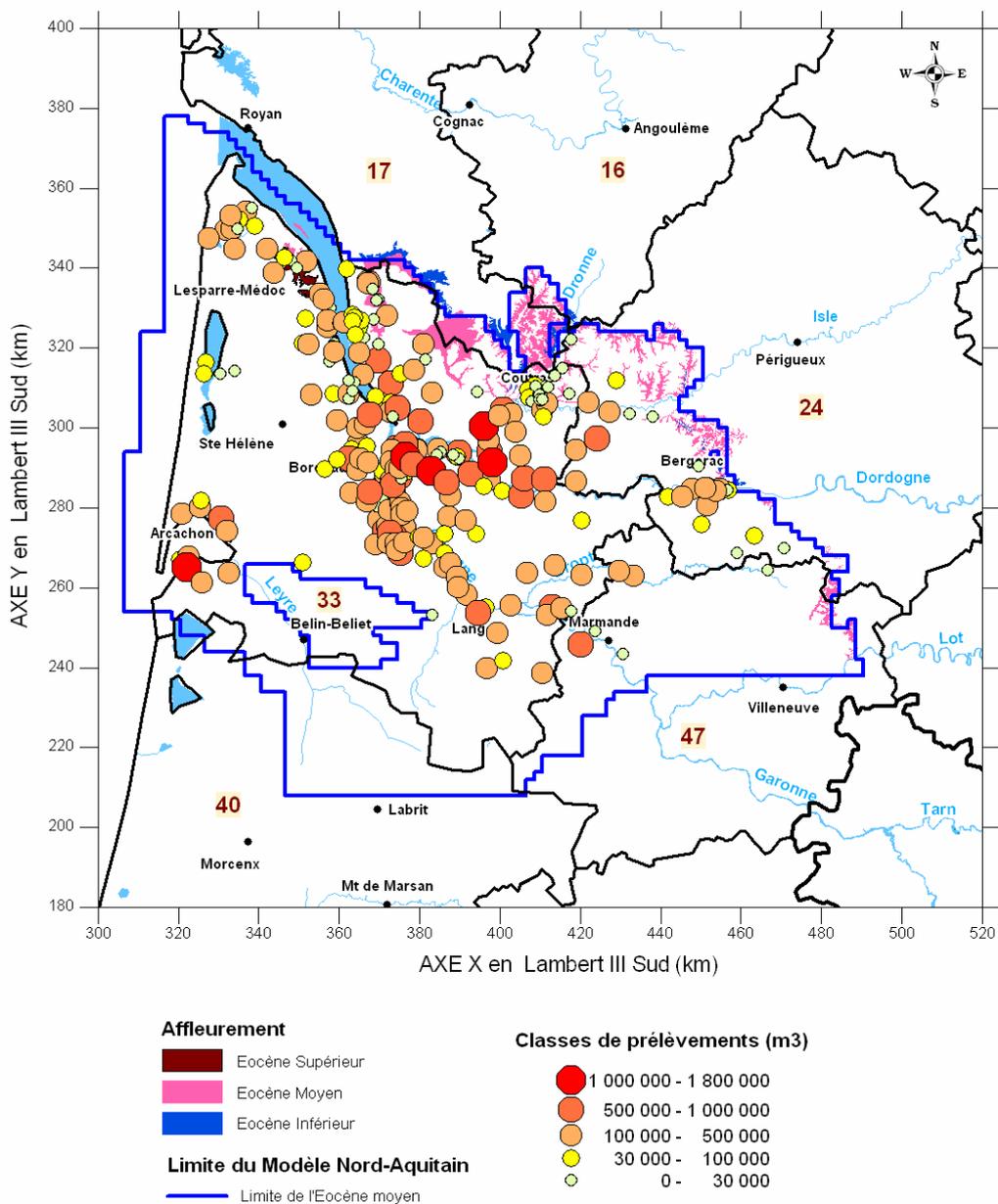


Figure 22 : Prélèvements dans l'Eocène moyen en 2000

La figure 22 ci-dessus regroupe les 296 données de prélèvements recensées en 2000 dans l'aquifère Eocène moyen. Les volumes soutirés à la nappe sont principalement

localisés dans le département de la Gironde et organisés selon trois axes matérialisés par les vallées de la Garonne, de la Dordogne et dans une moindre mesure celle de l'Isle. L'Eocène moyen est aussi largement exploité dans le pourtour du Bassin d'Arcachon malgré la profondeur relativement importante des niveaux productifs dans ce secteur (environ 300 m au nord du Bassin d'Arcachon et jusqu'à plus de 400 m de profondeur au sud).

Les plus gros prélèvements ponctuels (>1,5 million de m<sup>3</sup>) sont concentrés dans un triangle Bordeaux – Coutras - Castillon-la-Bataille où la nappe de l'Eocène moyen est généralement très sollicitée.

L'essentiel de la productivité de l'aquifère de l'Eocène moyen s'explique par la grande perméabilité des Sables Inférieurs du Bordelais et des sables de la Formation de Guizengeard, leur équivalent latéral vers l'est, déposés sur une épaisseur conséquente (plus de 70 mètres par exemple sous Bordeaux). Ce sont eux que viennent capter la majorité des forages qui exploitent cet aquifère.

#### **3.2.4. Les prélèvements dans l'Eocène supérieur**

La figure 23 recense les 41 prélèvements connus dans l'aquifère Eocène supérieur en 2000. Il apparaît peu exploité avec 2,7 millions de m<sup>3</sup> mais ce chiffre, comme le nombre des ouvrages, est vraisemblablement largement sous-estimé. En effet, de nombreux forages à usage agricole ou domestique sollicitent ce réservoir (Médoc et secteur de Coutras particulièrement) mais pour la plupart, leurs propriétaires ou exploitants ne transmettent pas les prélèvements associés aux services chargés de la gestion des ressources en eau. Ils ne sont, dès lors, pas comptabilisés.

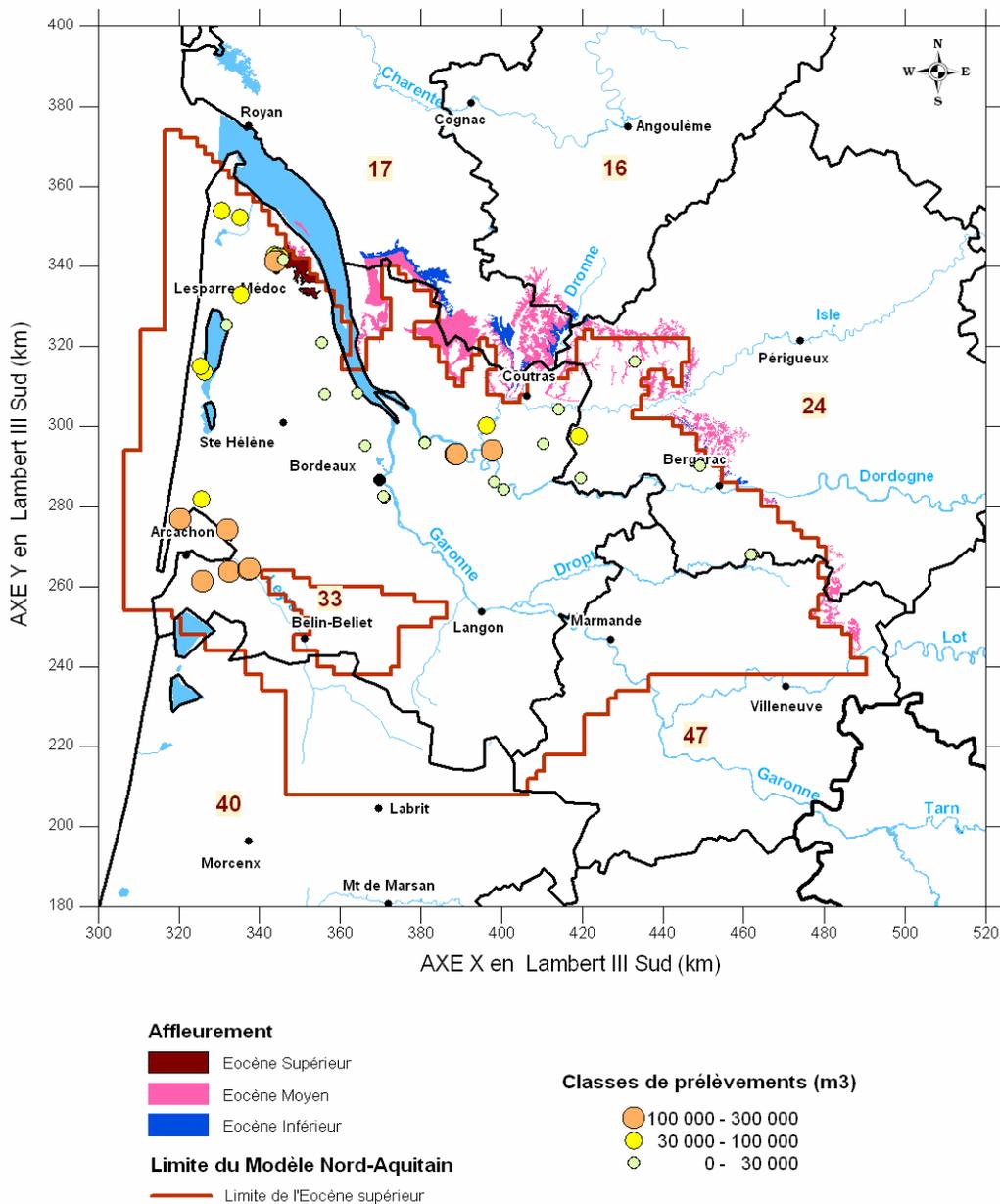


Figure 23 : Prélèvements dans l'Eocène supérieur en 2000

### 3.2.5. Usages

L'exploitation des ressources en eau de l'Eocène présente une grande variabilité dans la répartition géographique des usages (Figure 24). En effet, les forages destinés à l'alimentation en eau potable (AEP), bien que présents sur tout le domaine, sont majoritairement localisés le long des grandes vallées (Isle, Dordogne, Dropt, Garonne et Gironde) et correspondent aux zones les plus densément peuplées. La plus grande concentration d'ouvrages est logiquement repérée au niveau de la Communauté

Urbaine de Bordeaux (CUB) et de ses environs. En zone littorale, autour du bassin d'Arcachon et du lac d'Hourtin, l'exploitation des réservoirs éocènes et oligocène, toujours très productifs, permet de faire face aux augmentations saisonnières de population.

En raison de leur bonne qualité, les eaux de l'Eocène constituent la principale source d'alimentation en eau potable pour de nombreuses agglomérations.

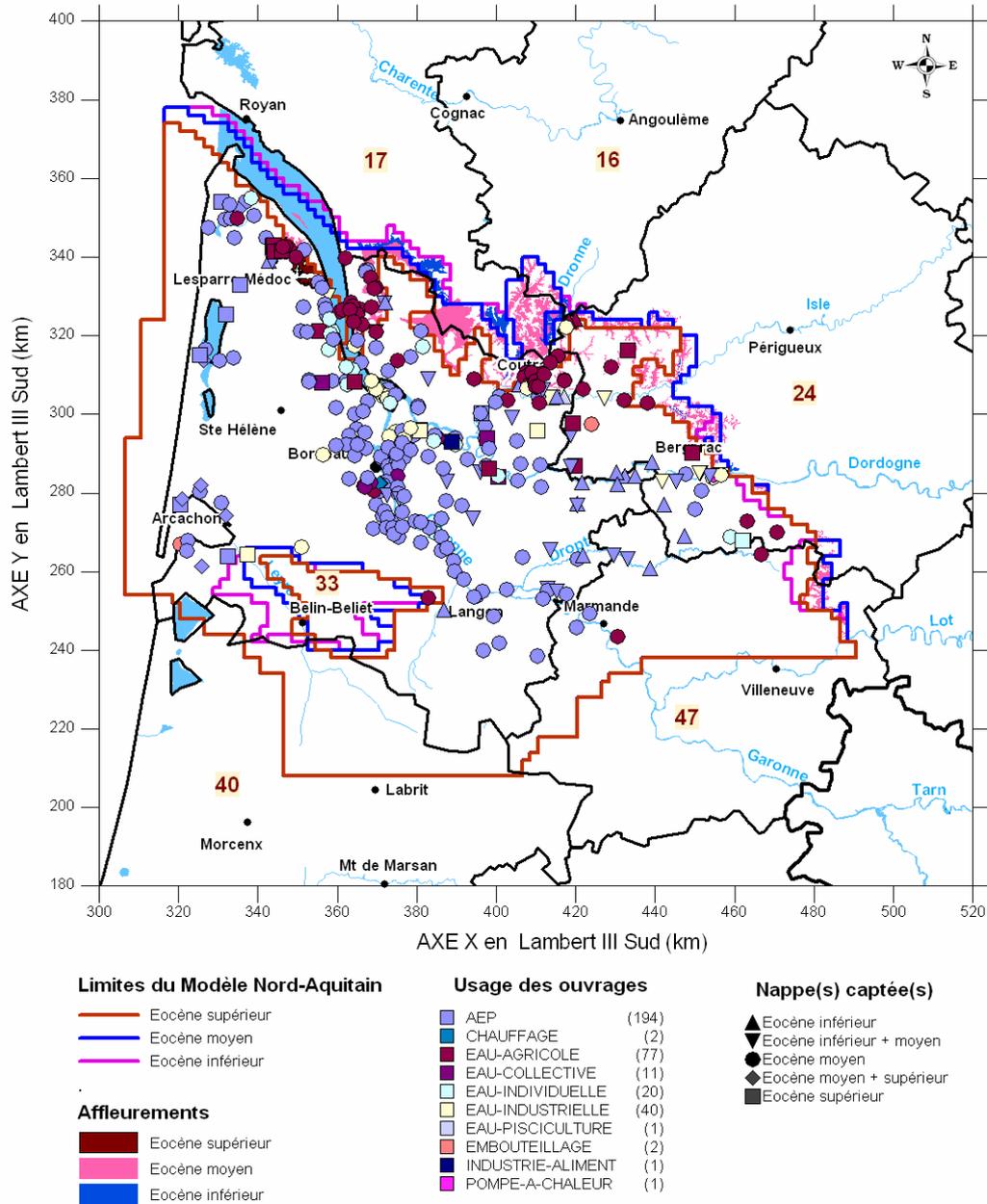


Figure 24 : Localisation des ouvrages prélevés en 2000 en fonction de leur utilisation et de la nappe captée

Les ouvrages à **usage agricole ou domestique** sont très majoritairement localisés à la périphérie du domaine près des zones d’affleurement où les réservoirs éocènes sont peu profonds et donc économiquement intéressants à exploiter. Ils se concentrent principalement de part et d’autre de l’estuaire de la Gironde, dans le Médoc et au nord-est de Coutras, entre les vallées de l’Isle et de la Dronne où l’activité agricole est très développée. Au fur et à mesure de l’approfondissement des formations vers le sud-ouest, d’autres réservoirs plus superficiels sont privilégiés (Plio-Quaternaire, Miocène...) pour ces usages.

Les ouvrages destinés à une **utilisation industrielle** sont principalement concentrés autour de grandes agglomérations. Ils sont regroupés en rive droite de la Garonne, au nord de Bordeaux pour former deux pôles majeurs de prélèvements industriels. Le premier englobe les communes de Bassens, Carbon-Blanc, Ambares-et-Lagrave et Saint-Loubes et cumule plus de 1 500 000 m<sup>3</sup> d’eau prélevée soit 36% du volume total d’eau industrielle dans l’Eocène. Le second pôle de prélèvements industriels est la commune d’Ambes où près de 850 000 m<sup>3</sup> d’eau sont soutirés soit plus de 20% du volume total pour cet usage. Enfin, sur la commune de Bergerac se trouvent 5 forages industriels dont le cumul des volumes s’élève à environ 520 000 m<sup>3</sup> soit 12,5% du volume d’eau industrielle prélevé dans l’Eocène durant l’année 2000.

En terme d’usage de l’eau (figures 25 et 26), **l’Alimentation en Eau Potable** prélève plus de 85% du total et mais ne représente que 55% des ouvrages. A l’inverse, si les ouvrages agricoles recensés représentent 22% du nombre total d’ouvrages (77 ouvrages agricoles), ils ne participent qu’à hauteur de 3,8% au volume total soutiré à l’Eocène. En effet, les ouvrages AEP disposent souvent de gros débits d’exploitation et ce tout au long de l’année alors que les ouvrages agricoles sont exploités à des débits plus faibles et saisonnièrement.

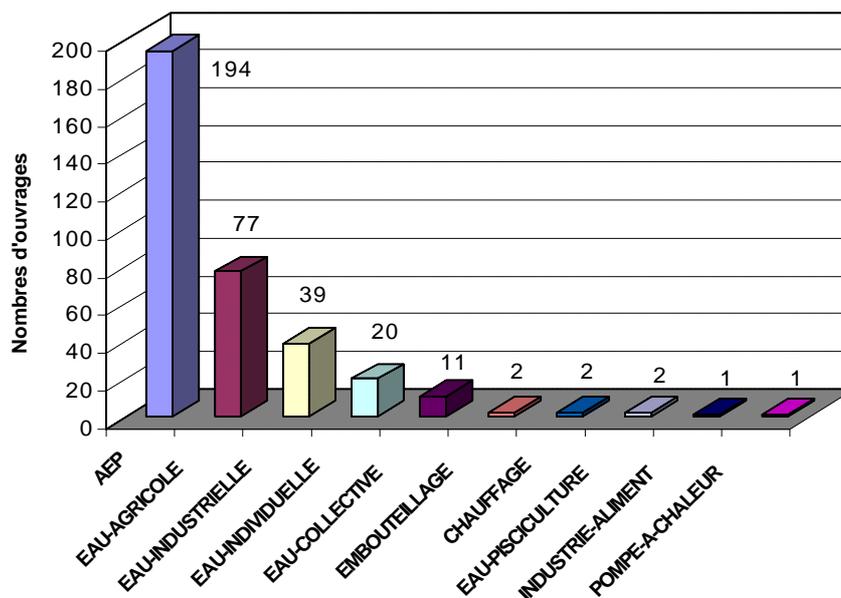


Figure 25: Répartition des 349 points d’eau prélevés en 2000 en fonction de leur utilisation

Par ailleurs, les ouvrages industriels représentent un peu moins de 6% des volumes prélevés dans l'Eocène pour un nombre d'ouvrages bien inférieur à ceux destinés à l'usage agricole. Les autres usages sont marginaux, autant en nombre d'ouvrages qu'en participation au volume de prélèvement total.

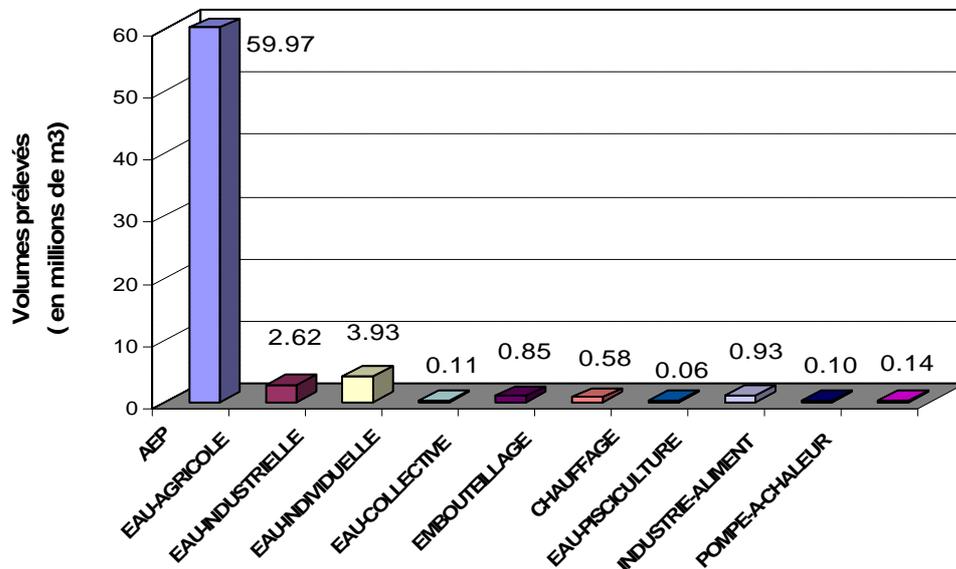


Figure 26 : Répartition des volumes prélevés en 2000 (en millions de m<sup>3</sup>) dans l'Eocène nord-aquitain en fonction des usages

Le tableau 1 ci-après permet de comparer, pour l'année 2000, les volumes prélevés dans les différentes nappes de l'Eocène en fonction de l'usage.

USAGE	Eocène inférieur		Eocène moyen		Eocène supérieur		Total par usage	
	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	%	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	%	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	%	Volume (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	%
AEP	7.19	88.2%	51.49	88.0%	1.29	48.7%	59.97	86.6%
EAU-AGRICOLE	0.03	0.4%	2.06	3.5%	0.53	19.9%	2.62	3.8%
EAU-INDUSTRIELLE	0.15	1.9%	3.25	5.6%	0.52	19.7%	3.92	5.7%
EAU-INDIVIDUELLE			0.11	0.2%			0.11	0.2%
EAU-COLLECTIVE			0.67	1.2%	0.18	6.8%	0.85	1.2%
EMBOUTEILLAGE			0.58	1.0%			0.58	0.8%
CHAUFFAGE			0.03	0.1%	0.03	1.2%	0.06	0.1%
EAU-PISCICULTURE	0.78	9.6%	0.15	0.3%			0.93	1.4%
INDUSTRIE-ALIMENT					0.10	3.8%	0.10	0.1%
POMPE-A-CHALEUR			0.14	0.2%			0.14	0.2%
<b>Total par nappe (en 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup>)</b>	<b>8.15</b>	100%	<b>58.48</b>	100%	<b>2.66</b>	100%	<b>69.3</b>	100%

Tableau 1 : Répartition des volumes prélevés (en millions de m<sup>3</sup> et en %) dans l'Eocène nord-aquitain en 2000 en fonction de la nappe captée et de l'usage.

Les volumes prélevés pour l'usage AEP sont très majoritairement issus de l'aquifère Eocène moyen et dans une moindre mesure de l'Eocène inférieur. Dans les deux cas, la proportion pour cet usage représente plus de 88% du volume total soutiré dans chacune de ces nappes.

Seuls 3 ouvrages agricoles sont identifiés dans l'Eocène inférieur. Ils ont prélevé, pour l'année 2000, moins de 0,4% du volume total soutiré à l'aquifère. Le nombre d'ouvrages agricoles recensés dans l'aquifère Eocène moyen est de 62 ouvrages (21% des ouvrages et 3,5% des prélèvements de l'aquifère). Cette proportion augmente dans l'Eocène supérieur où les ouvrages agricoles, au nombre de 13 recensés, représentent 32% des points de prélèvements et près de 20% des volumes soutirés. Même si de nombreux ouvrages agricoles échappent encore au recensement, cette évolution tend à confirmer que les exploitants agricoles privilégient les ressources les plus superficielles possibles.

### 3.2.6. Introduction des données dans le modèle

A l'issue du travail effectué, toutes les données de prélèvements de l'Eocène ont été introduites dans le modèle Nord-Aquitain par pas de temps (année par année) dans chacune des couches (Figure 27).

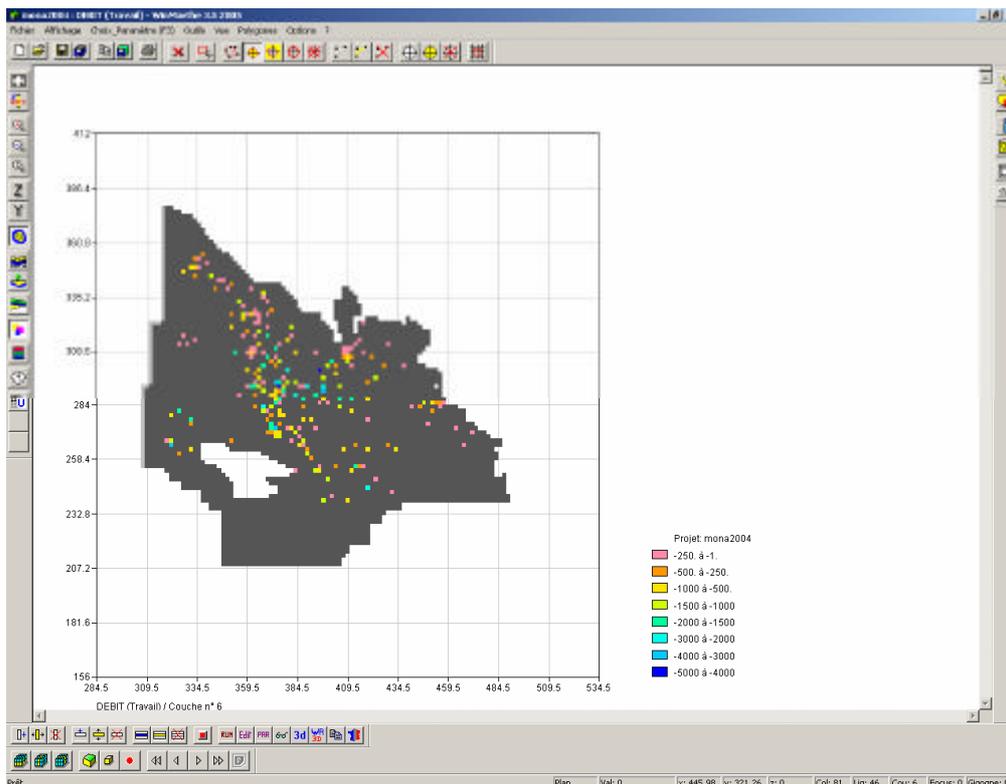


Figure 27 : Exemple de visualisation des prélèvements ( $m^3/j$ ) dans le Modèle Couche 6 (Eocène moyen)- Année 2000

Une vérification systématique a été réalisée pour chaque couche et chaque pas de temps par comparaison entre les valeurs de prélèvements introduites dans le modèle et les bilans fournis en sortie par le modèle (Figure 28).

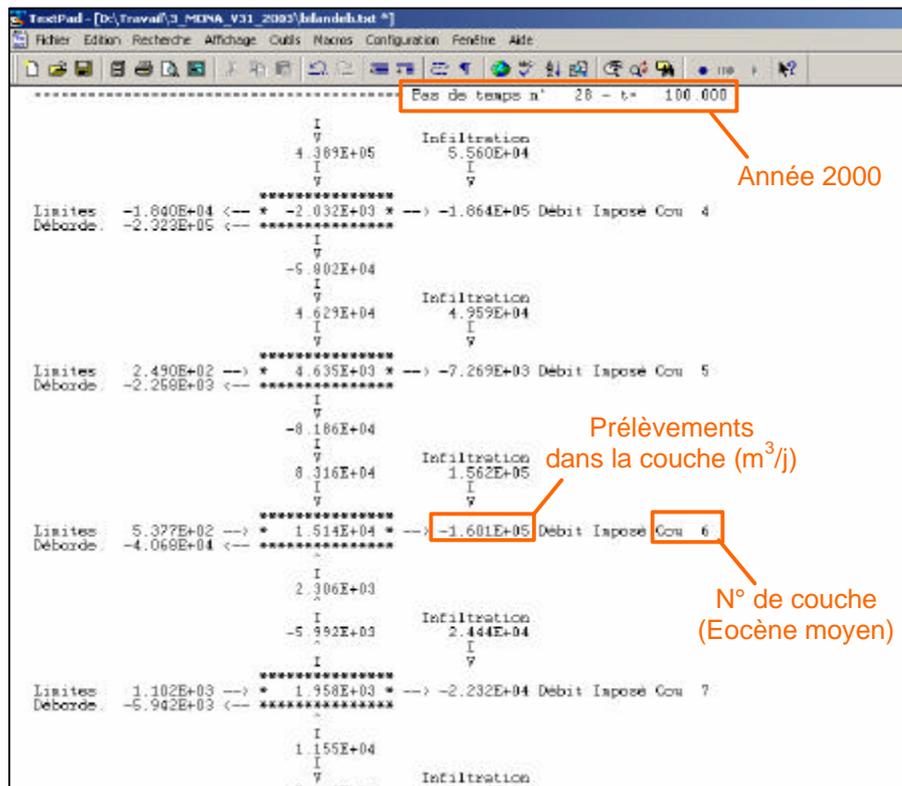


Figure 28 : Contrôle des prélèvements par année et par couche à partir du fichier bilan en sortie du modèle

### 3.3. NOUVELLE CODIFICATION DES ZONES METEOROLOGIQUES

#### 3.3.1. Rappels

Le Plio-Quaternaire constitue l'aquifère le plus superficiel du modèle Nord-Aquitain et affleure sur la plus grande partie de la zone d'étude. L'attribution des flux d'infiltration s'y fait donc par grandes plages (Gestion des Eaux souterraines en Aquitaine – Année 5 – Modélisation des aquifères du Miocène – Calage et simulations, Rapport BRGM/RP-51176-FR, 2001).

Par contre, les zones d'affleurement des aquifères plus profonds sont peu nombreuses et souvent localisées. Il peut y avoir des écarts importants entre la superficie réelle des affleurements et la superficie des mailles correspondantes, ce qui impose de distribuer le flux d'infiltration dans les mailles en fonction de la superficie réelle des

affleurements. Les superficies des affleurements dans les mailles de la nouvelle grille du modèle (2 x 2 km) ont été entièrement recalculées et regroupées en classes (0 à 10%, 10 à 20%...) en année 1 de l'étude (Rapport BRGM/RP-52602-FR). Chaque classe est affectée d'un numéro de zone de recharge (ou météorologique [ZMTO] dans le logiciel MARTHE).

### 3.3.2. Nouvelle codification des zones météorologiques (ZMTO)

L'étude pour l'évaluation de la ressource en eau de l'Eocène dans le Bergeracois actuellement menée pour le compte du Conseil Général de la Dordogne (Rapport BRGM/RP-52528-FR [Année 1], 2003) a conduit à prendre en compte une station météorologique supplémentaire pour affiner le calcul de la recharge dans les trois couches éocènes de ce secteur. Ceci a nécessité de revoir la numérotation des zones météorologiques du modèle (Tableau 2). La nouvelle codification, plus cohérente, permettra d'une part de mieux identifier les couches et les stations météorologiques auxquelles elles se rapportent, et d'autre part d'ajouter de nouvelles zones (ZMTO) sans modifier l'existant.

FORMATION	Ancienne codification ZMTO	Nouvelle codification ZMTO
Plio-Quaternaire	0-7	100-107
Helvétien	20-29	200-209
Aquitainien-Burdigalien	30-39	300-309
Oligocène	40-49 (Nord) et 50-59 (Sud)	400-409 (Nord) + 410-419 (Sud)
Éocène supérieur	10-19	500-509 + 510-519 (Station Bergerac) +551 et 552 → Zones de recharges supplémentaires (cf. 4.5.1)
Éocène moyen	60-69	600-609 + 610-619 (Station Bergerac)
Éocène inférieur	70-79	700-709 + 710-719 (Station Bergerac)
Campano-Maastrichtien	80-89	800-819
Turonien-Coniacien-Santonien	90-99	900-919

Tableau 2 : Nouvelle codification des zones météorologiques de chacune des couches du modèle MONA V3.1-2000

### 3.4. CONDITIONS AUX LIMITES

Les conditions aux limites se présentent dans le modèle sous la forme de charges ou de flux imposés, de flux nuls, de conditions d'échanges Nappe-Estuaire et de cotes de débordements.

### 3.4.1. Charges et flux imposés

Les charges sont imposées sur la limite ouest des 9 couches du modèle (Annexe 2.1). Une marge empiétant de 4 à 10 km (2 à 5 mailles) sur l'Atlantique a été ménagée de façon à réduire l'influence des charges imposées sur la partie continentale du modèle où des forages sont présents le long du littoral.

En dehors de cette limite ouest, des conditions charges imposées supplémentaires sont introduites dans les couches du Plio-Quaternaire, de l'Oligocène et du Turonien-Coniacien-Santonien.

Dans le Plio-Quaternaire, à l'intérieur du domaine, les mailles correspondant au bassin d'Arcachon, au tracé de la Leyre, de l'Adour et de la Midouze sont à potentiels imposés (zones drainantes). Il en est de même dans certains secteurs tels que la vallée du Ciron à l'est et de la Douze au sud en raison du morcellement important du Plio-Quaternaire.

Dans l'Oligocène, des potentiels imposés sont localisés le long de la vallée de la Garonne (Annexe 2.1) dans la zone où la nappe de l'Oligocène vient alimenter la nappe alluviale directement per ascensum (entre Langon et Bordeaux).

Pour la couche du Turonien-Coniacien-Santonien, des charges sont imposées sur les limites nord et sud (Annexe 2.1). Au sud, des conditions de flux imposés sortant ont également été introduites de façon similaire à ce qui existait dans la version **MONA V2** (Restructuration du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Rapport BRGM/R-40224 – 1999).

### 3.4.2. Flux nuls

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

1. soit à la disparition des aquifères par biseautage à proximité des zones d'affleurement ou à la faveur de lacunes au niveau de grandes structures anticlinales (ex : Villagrains-Landiras),
2. soit à des limites de faciès lorsque la lithologie passe progressivement à des molasses ou à des marnes.
3. soit à des lignes de partage des eaux si l'aquifère se poursuit sans qu'il soit modélisé (cas des limites sud pour l'Eocène et le Campano-Maastrichtien).

### 3.4.3. Conditions d'échange Nappe-Estuaire

Le modèle intègre une sur-couche qui gère les échanges entre l'estuaire de la Gironde et les couches qui affleurent au droit de celui-ci. La modification de la géométrie liée à l'intégration des trois couches de l'Eocène en remplacement de l'unique couche

Eocène de l'ancien modèle a impliqué de revoir les zones d'échange pour ces nouvelles couches.

### **Paramètres**

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

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

### **Méthodologie**

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

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

Dans un second temps, l'étude menée sur les relations entre l'estuaire de la Gironde et l'Eocène (Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine, Année 1 – Opérations sectorielles – Rapport BRGM/R-39328 - 1997), qui avait permis d'évaluer ces paramètres dans la version 5 km du modèle Nord-Aquitain (MONA **V2**), a été reprise pour affiner les paramètres ci-dessus, à l'exception de la perméabilité du lit de l'estuaire, non connue, qui est un paramètre de calage.

Des cartographies illustrant les différents paramètres actualisés sont présentées en annexe 2.2.

#### **3.4.4. Conditions internes (cotes de débordement)**

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

Il y a débordement si la charge calculée par le modèle est supérieure à la cote de débordement (topographie). Pour les zones d'affleurement localisées dans les vallées,

cette cote de débordement ne correspond pas à l'altitude moyenne fournie par le MNT au pas de 2 km mais à l'altitude de la vallée relevée sur carte topographique.

Les mailles à cotes de débordement sont toutes les mailles considérées comme mailles de recharge donc identifiées dans le modèle comme zones météorologiques (ZMTO = dénomination du logiciel MARTHE) exceptées celles numérotées 551 et 552 dans l'Eocène supérieur (cf. 4.5.1 - Recharge).



## 4. Calage du modèle Nord-Aquitain

### 4.1. RAPPELS

#### 4.1.1. Représentation numérique

Le modèle est construit suivant un schéma aux différences finies. Chacune des couches est représentée en plan par un maillage constitué de mailles carrées de 2 km x 2 km. Il est de type multicouche : chaque couche est discrétisée en mailles parallélépipédiques dont la face supérieure correspond au toit de la formation considérée et la face inférieure au mur de cette formation (Figure 29).

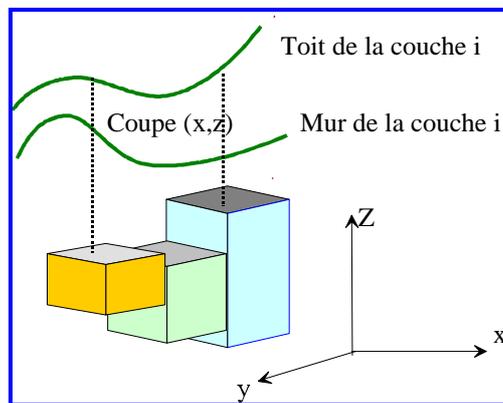


Figure 29 : Schéma illustrant le mode de discrétisation du modèle

Les épontes ne figurent pas explicitement en tant que couches de calcul (modèle « quasi-3D »). Les charges hydrauliques n'y sont pas calculées<sup>3</sup>.

La géométrie du modèle hydrogéologique est définie comme suit : une superposition de 9 couches aquifères séparées par des épontes, qui correspondent à des couches géologiques de faible perméabilité. Des échanges verticaux entre couches aquifères peuvent néanmoins avoir lieu au travers des épontes. Ils sont calculés par le modèle.

---

<sup>3</sup> Dans un modèle quasi 3D, les termes de stockage-déstockage des épontes ne sont pas pris en compte (le coefficient d'emmagasinement dans les épontes n'est donc pas nécessaire).

Le nombre de mailles dans chaque couche du modèle est rappelé ci-dessous :

FORMATION	NOMBRE DE MAILLES	SUPERFICIE km <sup>2</sup>
Plio-Quaternaire	2844	11376
Helvétien	2228	8912
Aquitaniens-Burdigalien	3162	12648
Oligocène	4055	16220
Éocène supérieur	3898	15592
Éocène moyen	4331	17324
Éocène inférieur	4326	17304
Campano-Maastrichtien	4122	16488
Turonien-Coniacien-Santonien	5948	23792

Tableau 3 : Nombre de mailles et superficie de chaque couche du modèle

#### 4.1.2. Logiciel utilisé

Le logiciel supportant le modèle est le logiciel MARTHE (Modélisation d'Aquifères par maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements) développé par le BRGM (actuellement version 6.5 de mars 2005).

Les écoulements sont simulés au sein des 9 couches aquifères en régime transitoire sur la période 1973-2000 avec un pas de temps annuel. Un régime permanent initial en 1972 permet d'initialiser le modèle.

#### 4.2. DEMARCHE DE CALAGE

Classiquement, le calage d'un modèle se déroule en trois étapes :

1. Une première phase, en régime permanent, a pour but de cerner le champ des perméabilités et la recharge par comparaison des charges calculées à une carte piézométrique de référence. La comparaison s'établit généralement de manière visuelle (figures d'écoulements, niveaux...) et à l'aide de diagrammes de dispersion.
2. Une deuxième phase, en régime transitoire, permet de tester les résultats obtenus en régime permanent avec retour sur les perméabilités et la recharge qui varie en fonction des précipitations et l'estimation des coefficients d'emménagement.
3. La troisième phase, est destinée à valider le modèle sur une période donnée. Il s'agit de tester la réaction du modèle sans intervention de l'opérateur.

Dans le cas du travail présenté dans ce rapport, le calage des trois couches éocènes et de celle de l'Oligocène s'appuie sur un socle existant : le Modèle Nord-Aquitain version 5 km (**MONA** V2-2000). La discrétisation plus fine du modèle (2 x 2 km), la subdivision de l'Eocène en trois couches distinctes et l'actualisation de la géométrie de l'Oligocène ont nécessairement eu des répercussions importantes sur le calage effectué avec l'ancien modèle. Cependant, les premiers réajustements réalisés en année 1 du programme (Rapport BRGM/RP-52602-FR) ont montré la robustesse du calage initial. Le champ des perméabilités des couches est cerné et les principales figures d'écoulements sont correctement reproduites. Il est donc possible de s'affranchir de la première phase de calage en régime permanent pour se concentrer sur les phases 2 et 3.

La période de calage (phase 2) retenue s'étend de 1972 à 1995 (24 ans) et celle de validation (phase 3) du modèle sur 5 ans de 1996 à 2000 (date de la dernière mise à jour des données).

Le calage des 4 couches modifiées (Eocène inférieur, moyen, supérieur et Oligocène) sur la période 1972-1995 a été effectué en privilégiant la comparaison par points de mesures plutôt que la comparaison par cartes. En effet, les cartes piézométriques représentent une interprétation parmi d'autres et plusieurs tracés alternatifs sont possibles. De plus, elles sont réalisées à partir de mesures non synchrones. Elles ne constituent donc pas des références absolues et il serait illusoire de rechercher une adéquation parfaite entre les isovaleurs calculées et les isovaleurs des cartes.

La procédure de calage suivie est illustrée par la figure 30.

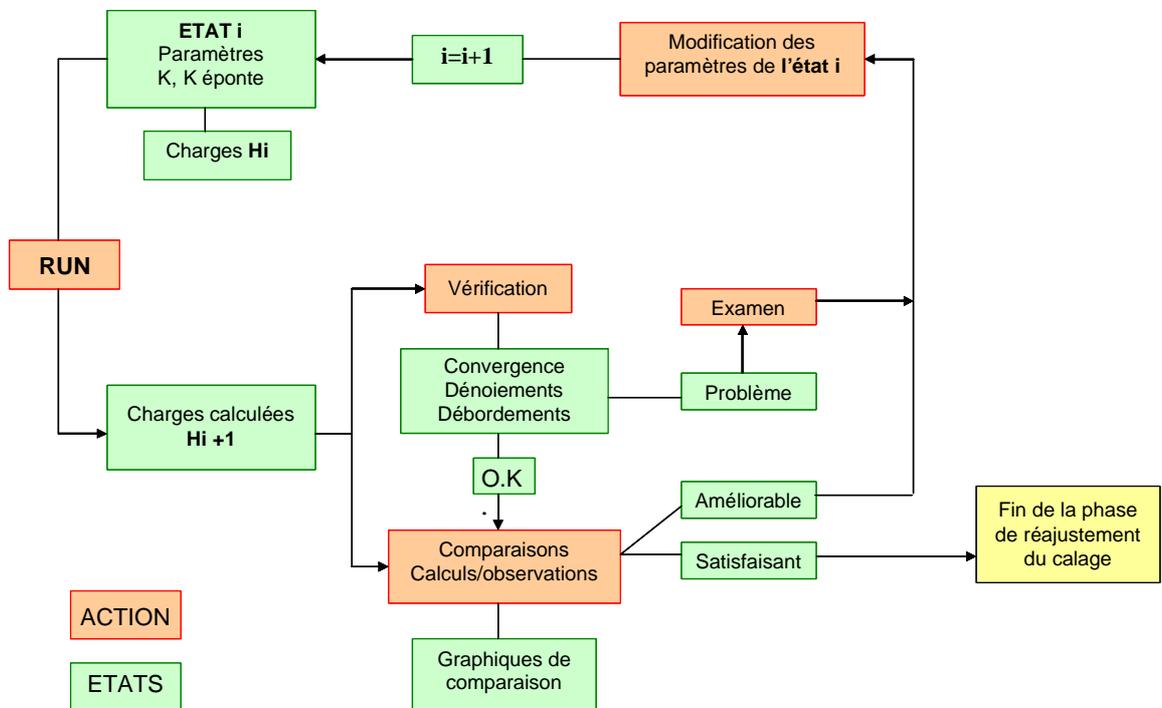


Figure 30 : Procédure de calage

La validation du modèle (1996-2000) a été réalisée visuellement par comparaison des chroniques de référence observées et simulées. Toutefois, l'utilisation des cartes piézométriques de l'Eocène (2000) et de l'Oligocène (1996) a permis de contrôler à grande échelle la restitution du modèle pour l'année considérée.

### 4.3. DONNEES UTILISEES

#### 4.3.1. Piézométrie

Le calage s'appuie sur des chroniques piézométriques de référence que le modèle doit restituer au mieux en respectant à la fois les niveaux observés (les moyennes annuelles sont calculées pour être comparables à la restitution du modèle qui se fait au pas de temps annuel), la pente, la phase et l'amplitude des variations.

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

Dans un premier temps, les chroniques piézométriques de références utilisées pour le modèle 5 km ont été reprises et les coupes géologiques des ouvrages correspondants revalidées par le géologue régional. Elles ont été actualisées avec les données de nivellement acquises ces dernières années dans le cadre des réseaux « quantitatifs » de gestion patrimoniale et départementale (Gironde, Dordogne et Lot-et-Garonne notamment) ou d'études ponctuelles (Evaluation de la ressource en eau de l'Eocène Bergeracois – Année 1 – BRGM/RP-52528-FR – 2003). Ces ouvrages nivelés constituent des repères fiables pour le calage du modèle.

La recherche de nouvelles chroniques a permis d'enrichir de manière conséquente le nombre des points de calage (Tableau 4) et ainsi d'optimiser les résultats. Ces données sont extraites de la banque de données sur les eaux souterraines (BDES) gérée par le BRGM.

Aquifère	Oligocène	Éocène supérieur	Éocène moyen	Éocène inférieur
Nombre de chroniques utilisées pour le calage	<b>37</b>	<b>6</b>	<b>53</b>	<b>16</b>

Tableau 4 : Nombre de chroniques piézométriques utilisés pour le calage (112 chroniques)

Des cartes illustrant la localisation de toutes les chroniques utilisées pour le calage des couches de l'Oligocène, de l'Eocène supérieur, moyen et inférieur sont présentées en annexe 3.

En complément, une trentaine d'ouvrages supplémentaires disposant de très peu de données piézométriques a permis de cerner les niveaux d'eau et parfois la tendance générale d'évolution (hausse, baisse, stabilité) dans des secteurs où les lacunes d'informations subsistaient. Ces historiques n'ont toutefois pas été considérés comme des chroniques de calage compte tenu des incertitudes liées à leur faible nombre de mesures.

Enfin, les cartes piézométriques digitalisées et géoréférencées de l'Eocène et de l'Oligocène issues des études « Contrôle qualité et gestion des eaux souterraine en Gironde » réalisées chaque année par le BRGM pour le compte du Conseil Général de la Gironde ont également été utilisées en complément, pendant la phase de calage, pour des ajustements de la piézométrie dans les zones peu renseignées par des chroniques de référence et le contrôle de la restitution piézométrique du modèle lors de la phase de validation.

Toutefois, il n'existe pas de cartes piézométriques de référence pour chacune des couches éocènes mais seulement des cartes intégrant à la fois les mesures réalisées sur des ouvrages sollicitant l'Eocène moyen et/ou l'Eocène inférieur. Les cartes relatives à l'Eocène issues de la « gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde » servent donc de guide mais pas de référence.

#### **4.3.2. Paramètres hydrodynamiques**

Il n'est pas aisé de comparer les valeurs de transmissivité issues de l'interprétation de pompages d'essai, qui explorent un volume de terrain limité (extension latérale et épaisseur), et les valeurs de perméabilités introduites dans le modèle au moment de la phase de calage et affectées à des mailles de 4 km<sup>2</sup> sur des épaisseurs parfois très importantes (> à 200 m par exemple, dans la zone des sables fluviatiles de l'Eocène moyen).

Cependant, l'analyse du champ de transmissivité permet d'identifier grossièrement les zones plus ou moins productives des réservoirs. Les perméabilités recalculées à partir des épaisseurs captées permettent également de cerner le champ des perméabilités et ainsi de guider les affectations au moment de la phase de calage.

Ainsi, les données issues des dossiers de forages de la BSS captant une des nappes de l'Eocène ont été collectées. Au total, 230 valeurs de transmissivité ont ainsi pu être utilisées (29 valeurs pour l'Éocène inférieur, 187 pour l'Éocène moyen, 14 pour l'Éocène supérieur) pour réaliser une première zonation.

L'ordre de grandeur des transmissivités observées dans l'Éocène moyen et l'Éocène inférieur est approximativement le même. Les valeurs sont comprises entre  $10^{-3}$  et  $5.10^{-2} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ . Dans l'Éocène supérieur, les valeurs comprises entre  $10^{-4}$  et  $5.10^{-3} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  sont dix fois inférieures.

### 4.3.3. Précipitations efficaces

La recharge par infiltration des nappes est une inconnue et constitue donc un paramètre de calage. En première approche, les pluies efficaces sont calculées à l'aide d'un bilan hydrologique classique qui se présente, par pas de temps, sous la forme :

$$P - ETP - (R + Ip) = [\Delta S]_{-z}^0 \quad \text{avec } R + Ip = Peff$$

où P = Précipitations  
ETP = Evapotranspiration potentielle  
R = Ruissellement  
Ip = Infiltration en profondeur  
 $\Delta S$  = Variation de stock d'eau dans le sol sur une épaisseur  $\Delta z$  de sol et durant le pas de temps

Les données météorologiques (P et ETP) sont collectées régulièrement auprès de la *Division Climatologique Interrégionale Sud-Ouest* de Météo France pour les stations de Mérignac en Gironde, de Mont-de-Marsan dans les Landes, de Cognac (Château-Bernard) en Charente, de Gourdon dans le Lot et de Bergerac en Dordogne.

*Remarque : L'acquisition des données météorologiques de la station de Bergerac sur la période 1972-2000 a été réalisée dans le cadre de l'étude actuellement menée sur l'évaluation des ressources en eau de l'Eocène dans le Bergeracois (financée par le BRGM et le Conseil Général de Dordogne avec le concours financier de l'Agence de l'eau Adour-Garonne) dans le but d'affiner le calcul de la recharge dans les trois couches éocènes de ce secteur.*

Pour réaliser ces bilans, le sol est assimilé à un réservoir d'une capacité maximale en eau donnée (classiquement appelée « réserve utile »). Des valeurs de réserve utile (RU) de 100 et de 150 mm ont été retenues pour les calculs de pluies efficaces. La première correspond à un compromis territorial à l'échelle de la zone d'étude tandis que la seconde (150 mm) constitue une fourchette haute de la réserve utile du sol permettant de borner le travail de modélisation.

Les bilans par station météorologique sont réalisés au pas de temps décadaire. Les valeurs sont ensuite agrégées au pas de temps annuel sur la période 1972-2000. Les résultats obtenus à la station de Mérignac pour une RU de 150 mm sont illustrés par la figure 31.

Ces bilans ne permettent pas de différencier l'infiltration du ruissellement. Ce dernier est en effet un paramètre très variable et donc difficilement estimable. Les écoulements calculés sont donc généralement supérieurs à l'alimentation réelle des nappes captives mais permettent cependant d'avoir une borne supérieure de l'infiltration réelle. Ils sont nécessaires à l'établissement d'une loi de recharge pour le modèle (cf 4.5.1 – Recharge).

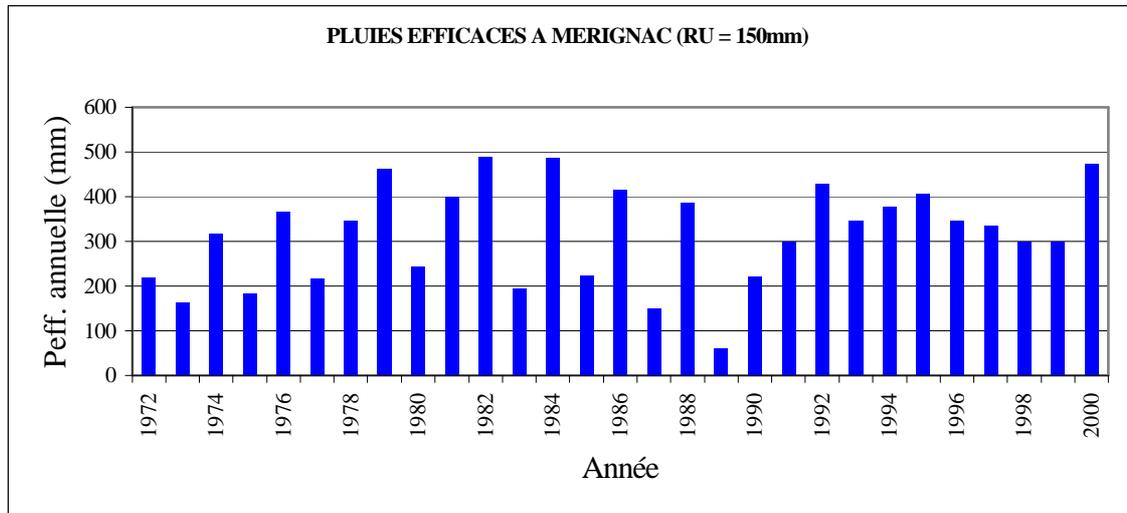


Figure 31 : Évolution des précipitations efficaces annuelles à la station de Mérignac (33)

Pour chacune des stations sus-mentionnées, le tableau ci-dessous fournit la moyenne et l'écart type des pluies efficaces calculées à partir des bilans sur la période 1972-2000.

Période 1972-2000	Mérignac (33)		Mont de Marsan (40)	Cognac (16)	Gourdon (46)	Bergerac* (24)
	100 mm	150 mm	100 mm	150 mm	150 mm	150 mm
Moyenne (mm)	363	316	348	188	182	173
Ecart-Type (mm)	112	109	133	93	97	92

*le calcul des pluies efficaces à Bergerac est réalisé avec les données d'ETP de Gourdon sur la période 1972-1988*

Tabl. 4 : Moyenne et écart-type des pluies efficaces aux stations de Mérignac, Mont-de-Marsan, Cognac, Gourdon et Bergerac sur la période 1972-2000

Les données de pluies efficaces de la station de Mérignac, avec une RU de 150 mm, sont utilisées pour le calcul de la recharge des couches de l'Eocène (supérieur, moyen et inférieur), du Campano-Maastrichtien et du Turonien-Coniacien-Santonien.

Les données des stations de Mérignac et de Mont-de-Marsan (RU de 100 mm) sont utilisées pour le Plio-Quaternaire, les nappes du Miocène et l'Oligocène (Rapport BRGM/RP-51176-FR, 2001).

Les stations de Cognac et de Gourdon (RU de 150 mm) servent au calcul de la recharge du Campano-Maastrichtien et du Turonien-Coniacien-Santonien.

Enfin, les Pluies efficaces de Bergerac (RU de 150 mm) interviennent dans le calcul de la recharge des nappes de l'Eocène.

#### 4.4. RESULTATS : CHRONIQUES PIEZOMETRIQUES ET ANALYSE DES ECARTS

##### 4.4.1. comparaisons visuelles

###### *Chroniques piézométriques*

Les cartes de localisation des points qui ont servi au calage, se trouvent en annexe 3.

Les graphiques de comparaison entre les courbes d'évolution tracées à partir des mesures et des charges calculées par le modèle pour les nappes de l'Oligocène et de l'Eocène supérieur, moyen et inférieur sont présentés en annexe 4. La figure 32 illustre le format de restitution des données avec en bleu les mesures brutes observées, en vert la moyenne annuelle des niveaux piézométriques observés et en rouge les niveaux calculés par le modèle au droit du piézomètre.

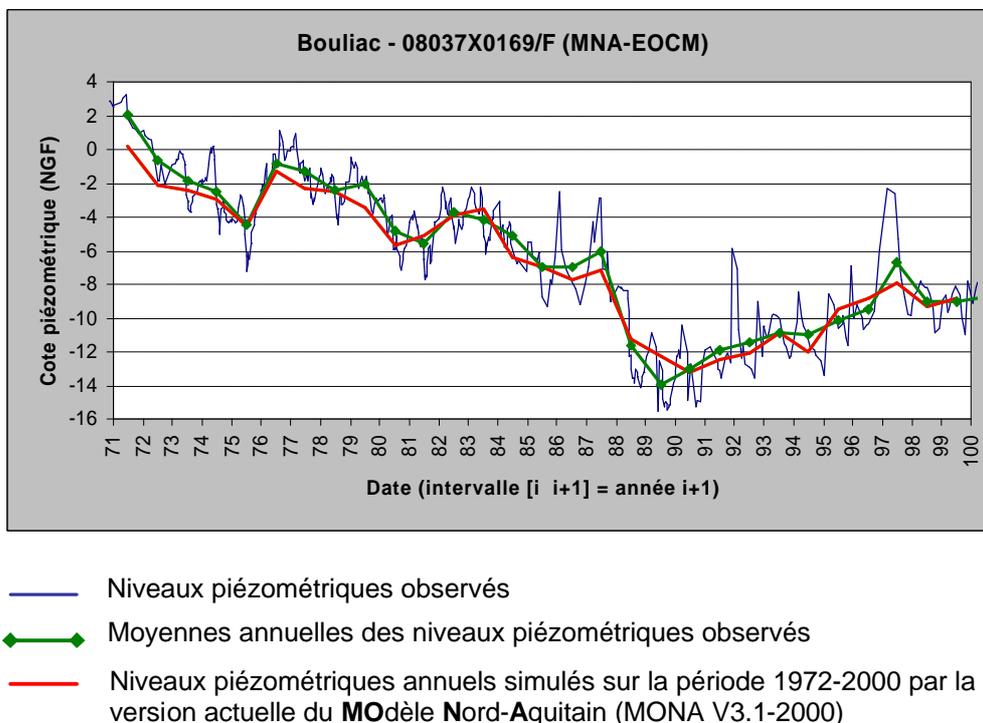


Figure 32 : Comparaison entre les niveaux observés et simulés sur le forage de Bouliac (Eocène moyen)

L'ajustement apparaît visuellement très satisfaisant sur la quasi totalité des chroniques de calage pour les 4 nappes considérées (Annexe 4). La plupart des points sont particulièrement bien reproduits en niveaux, en phase, en pente et en amplitude de variations.

- **Oligocène**

Quelques chroniques sont toutefois moins bien restituées dans l'Oligocène, à proximité de la Garonne, dans les zones où la nappe est libre ou semi-captive et où la piézométrie est très influencée par les phénomènes hydrologiques de surface (Bègles [08272X0463/F1], La Brède [08277X0157/F2] et St-Médard-d'Eyrans [08277X0163/F2]). Sur ces ouvrages, la tendance est respectée mais les amplitudes de variation de la piézométrie n'ont pu être totalement reproduites.

Globalement, les améliorations apportées au calage de cette couche par rapport à la version **MONA** V2-2000 sont nettes. Celles-ci tiennent à deux raisons principales :

- le remplacement de la couche Mio-Plio-Quaternaire à potentiels imposés, qui contraignait de façon importante le modèle dans sa version 5 km, par trois couches distinctes (Plio-Quaternaire, Helvétien, Aquitanien-Burdigalien) issues du modèle Miocène développé en années 4 et 5 de la précédente convention Gestion des Eaux souterraines en région Aquitaine (Rapports BRGM-RP-50468-FR - 2000, et RP-51176-FR - 2001),
- la discrétisation plus fine du modèle qui permet de mieux prendre en compte la géométrie du réservoir aux abords des zones d'affleurement.

- **Eocène**

Dans l'Eocène moyen, les chroniques des ouvrages de Camblanes-et-Meynac (08273X0288/F2) et de Villenave-d'Ornon (08272X0391/F) présentent un état initial (1972) calculé plus bas que les observations. Ces deux points d'eau sont situés au cœur de la dépression piézométrique bordelaise dans une zone où les prélèvements en 1972 étaient déjà conséquents. Le régime permanent initial du modèle établi, dans ce secteur, un niveau de la nappe plus bas que ce qu'il était en réalité. Néanmoins, le modèle s'affranchit peu à peu de cette condition initiale et les niveaux simulés après quelques années sont de nouveaux comparables aux niveaux observés (annexe 4.3).

Dans l'Eocène, la discrétisation plus fine du modèle, la subdivision en trois couches distinctes mais aussi l'important travail d'inventaire des prélèvements réalisé dans le département de la Dordogne et la prise en compte d'une station météorologique supplémentaire (Bergerac) pour le calcul de la recharge (Evaluation de la ressource en eau de l'Eocène dans le Bergeracois – Année 1 – BRGM/RP-52528-FR - 2003) ont permis une nette amélioration de la restitution du modèle sur les chroniques piézométriques des ouvrages situés sur les marges du domaine par rapport à la version 5 km du modèle Nord-Aquitain (MONA V2-2000).

Les améliorations du calage sont en revanche moins sensibles dans les secteurs éloignés des zones d'alimentation où les nappes de l'Eocène sont captives et les prélèvements bien connus (cas de la Gironde où un inventaire des prélèvements est réalisé chaque année dans le cadre du Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde). Le modèle MONA V2-2000 restituait déjà très bien le comportement de la nappe de l'Eocène dans ces zones notamment dans le Bordelais et autour du bassin d'Arcachon.

### **Cartes piézométriques**

*Rappel : les cartes piézométriques tracées à partir des observations représentent une interprétation parmi d'autres et plusieurs tracés alternatifs sont possibles. De plus, elles sont réalisées à partir de mesures non synchrones et sur des ouvrages qui ne sont pas tous nivelés. Elles ne constituent donc pas des références absolues et il serait illusoire de rechercher une adéquation parfaite entre les isovaleurs calculées et les isovaleurs des cartes.*

- **Oligocène**

Pour l'Oligocène, la comparaison est effectuée à partir des données de l'année 1996 car la carte tracée en 2000 est circonscrite à la seule zone bordelaise.

Il existe une bonne concordance entre les isovaleurs des charges simulées et les isopièzes tracées à partir des mesures (Annexe 5.1). Le dôme piézométrique du Médoc est bien restitué (courbes + 10 m, + 20 m, + 30 m et + 40 m). A l'est, le long de la Garonne, les courbes + 10 m et + 20 m suivent globalement les isopièzes observées correspondantes. La taille des mailles (2 x 2 km) empêche toutefois de reproduire fidèlement toutes les inflexions.

- **Eocène**

Il n'existe pas de cartes piézométriques de référence pour l'Eocène supérieur car le faible nombre de points de contrôle ne permet pas d'en tracer. Cette couche du modèle a donc été calée et validée uniquement à partir de chroniques piézométriques (en faible nombre).

Par ailleurs, les cartes relatives à l'Eocène tracées dans le cadre de la gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde intègrent les mesures réalisées sur des ouvrages sollicitant l'Eocène moyen et/ou l'Eocène inférieur. Ces cartes « mixtes » sont toutefois principalement représentatives de la couche Eocène moyen du modèle (cf 3.1 – référentiel hydrogéologique simplifié de l'Eocène) excepté à l'est du domaine (secteur Bergeracois) où les points de contrôle de la piézométrie sont essentiellement situés dans l'Eocène inférieur (couche 7 du modèle).

Néanmoins, le différentiel de charge observé entre les deux réservoirs reste généralement inférieur à 2 m ce qui permet, par approximation, à l'échelle régionale (l'équidistance retenue pour tracer les cartes piézométriques est de 5 à 10 m), de

considérer indifféremment la piézométrie calculée de l'Eocène moyen ou de l'Eocène inférieur pour la comparer à la carte tracée à partir des observations.

L'illustration fournie en annexe 5.2 compare donc la piézométrie tracée en 2000 à partir des mesures à celle calculée par le modèle dans la couche Eocène moyen (couche 6).

Le dôme piézométrique médocain est correctement restitué même si la courbe + 10 m calculée s'étend moins vers le nord. Le long de l'estuaire, la courbe calculée à + 2.5 m correspond aux valeurs relevées dans ce secteur.

Le cône de dépression calculé au droit de la zone bordelaise est bien reproduit. Les courbes - 5 m et - 10 m coïncident avec les observations. L'extension de ce cône (dissymétrique) est stoppée à l'ouest par le dôme piézométrique (zone de faibles perméabilités, cf annexe 8.1 – cartes de perméabilités issues du calage) alors que les perméabilités plus importantes à l'est favorisent sa propagation. L'isopièze 0 m est globalement bien reproduite au nord et à l'ouest. A l'est, l'isopièze 0 m calculée a une moindre extension. Cette différence est toutefois à relativiser car la piézométrie calculée fournit des cotes inférieures à 0 m dans deux mailles situées à proximité de l'isopièze 0 m tracée à partir des observations ponctuelles (annexe 5.2).

Enfin dans le secteur Bergeracois, l'axe de drainage de la nappe identifié au droit de la vallée de la Dordogne est bien reproduit.

#### **4.4.2. Analyse des écarts**

Afin de quantifier l'ajustement obtenu, les écarts entre observations et simulations relevés sur les chroniques de calage ont été calculés. La démarche suivie pour l'analyse de ces écarts reprend celle mise en œuvre pour l'expertise du modèle dans sa version 5 km (**MONA** V2-1996) en 1998 (rapport d'expertise d'octobre 1998) et redétaillée dans le rapport BRGM « Restructuration du modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes » (Rapport BRGM/R 40224 – 1999).

L'Eocène supérieur, pour lequel le nombre de chroniques piézométriques (6 au total) et la longueur des historiques sont peu importants, a été exclu de cette analyse.

Pour les nappes de l'Oligocène et de l'Eocène moyen, les 4 premières années (1972 à 1975) ont été retirées de l'analyse afin d'éliminer l'influence d'un état initial incertain. Le nombre de pas de temps pris en compte est donc de 25 (période 1976-2000).

Pour la nappe de l'Eocène inférieur, le nombre de chroniques (16 au total) et les historiques de mesures sont plus limités. Seule la période 1988-2000 a donc été retenue.

Pas de temps par pas de temps, et piézomètre par piézomètre, les écarts individuels (Hobs-Hsim) entre la moyenne annuelle des observations (Hobs) et le niveau simulé par le modèle (Hsim) sont calculés.

Afin de mettre en évidence une éventuelle dérive dans la piézométrie simulée, la moyenne des écarts sur l'ensemble des piézomètres retenus (= écarts moyens) est calculée, pas de temps par pas de temps, ainsi que l'écart type correspondant. Les valeurs obtenues sont reportées sur un graphique en fonction du temps et une analyse de régression est effectuée.

## **Oligocène**

- **Ecarts individuels Hobs-Hsim**

Toutes les chroniques présentées en annexe 4.1 ont été prises en compte dans l'analyse soit un total de 37 piézomètres.

Les paramètres statistiques de base sur la période considérée sont donnés dans le tableau 5.

	Période (1976-2000)
Nombre de valeurs	539
Moyenne m (en m)	0,04
Ecart Type s (en m)	1,36
Minimum (en m)	- 4,05
Maximum (en m)	8,22

*Tableau 5 : Oligocène - statistiques sur les écarts entre piézométrie observée et piézométrie simulée calculés sur les chroniques de mesures disponibles*

En moyenne, les valeurs observées sont légèrement supérieures aux valeurs simulées (de 4 cm) ce qui joue dans le sens sécuritaire vis-à-vis des résultats fournis par le modèle.

L'écart maximum observé de 8,22 m correspond au couple Hobs-Hsim relevé sur la chronique du forage 8035X0442/F3 à Eysines (cf annexe 4.1) pour l'année 1978. Le début de la chronique de ce point d'eau est en effet relativement mal reproduit.

La distribution des fréquences de valeurs est précisée par l'histogramme de la figure 33 (les classes sont incrémentées de plus ou moins ½ écart-type à partir de la moyenne).

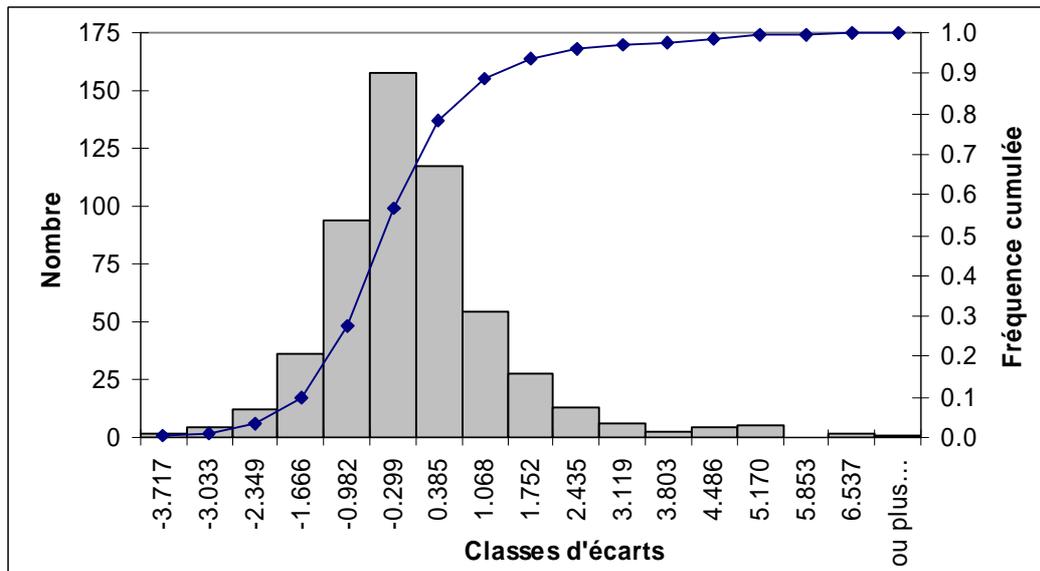


Figure 33 : Oligocène : histogramme des écarts individuels entre chroniques piézométriques observées et chroniques simulées

La répartition des valeurs s'organise approximativement suivant une distribution normale comme le montre qualitativement l'histogramme où :

78 % des écarts sont compris entre  $(m-1s) = -1,32$  et  $(m+1s) = +1,41$  (la valeur théorique est de 68 %)

94 % des écarts sont compris entre  $(m-2s) = -2,69$  et  $(m+2s) = +2,43$  (la valeur théorique est de 95 %)

En supposant l'indépendance statistique des écarts, l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne  $m$  est donné par :

$$IC_{95} = \left[ m - t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}}, m + t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}$  est la valeur du T de Student pour un niveau de confiance  $1-\alpha = 95\%$ .

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,31 \quad \text{et} \quad t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,116$$

D'où l'intervalle de confiance suivant :  $IC_{95} = [ -0,073, +0,159 ]$

La moyenne des écarts  $H_{obs} - H_{sim}$  n'est donc pas significativement différente de 0.

• **Evolution des écarts moyens**

L'évolution de ces écarts est présentée par la figure 34 ci-dessous :

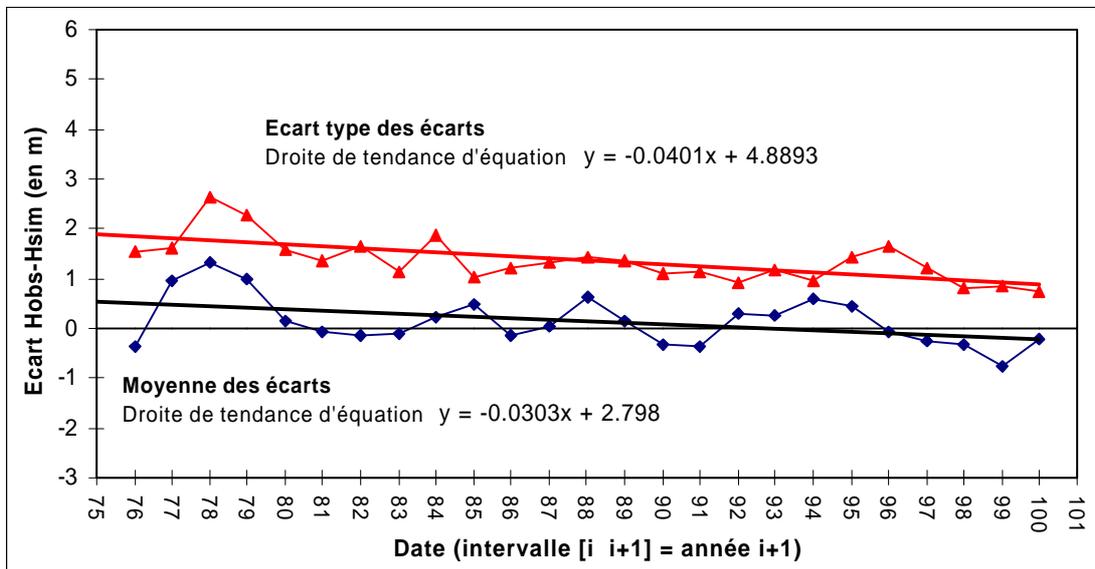


Figure 34 : Oligocène – évolution dans le temps des écarts moyens et de leur écart type

Pour les 25 années considérées, la moyenne générale de ces écarts est de 0,13 m et l'écart type de 0,44 m. Le minimum est de - 0,77 m et le maximum de 1,31 m.

La recherche d'une dérive éventuelle peut être faite par une analyse de régression. L'équation de la droite ajustée sur la série des écarts moyens (figure 34) est :

$$E = - 0,0303(t - 76) + 2,798$$

La pente de la droite (le coefficient de régression) est  $a_{rg} = - 3,03 \text{ cm/an}$ .

En analysant la figure 34, il semble donc que l'on passe au cours du temps de la situation générale de sous estimation en moyenne des niveaux simulés (cf analyse sur les écarts individuels ci-dessus) à la situation inverse de baisse moins prononcée des niveaux simulés par rapport aux niveaux mesurés à partir de 1994.

Cette tendance est faible, de l'ordre de 3 cm par an (2 cm en ne considérant que la période 1981-2000) et de plus, non significative au sens statistique comme le montre l'application suivante du test de Student.

L'histogramme en figure 35, montre que les écarts moyens ne se distribuent pas tout à fait suivant une loi normale. Cette hypothèse est néanmoins secondaire dans l'application des tests statistiques ci-après.

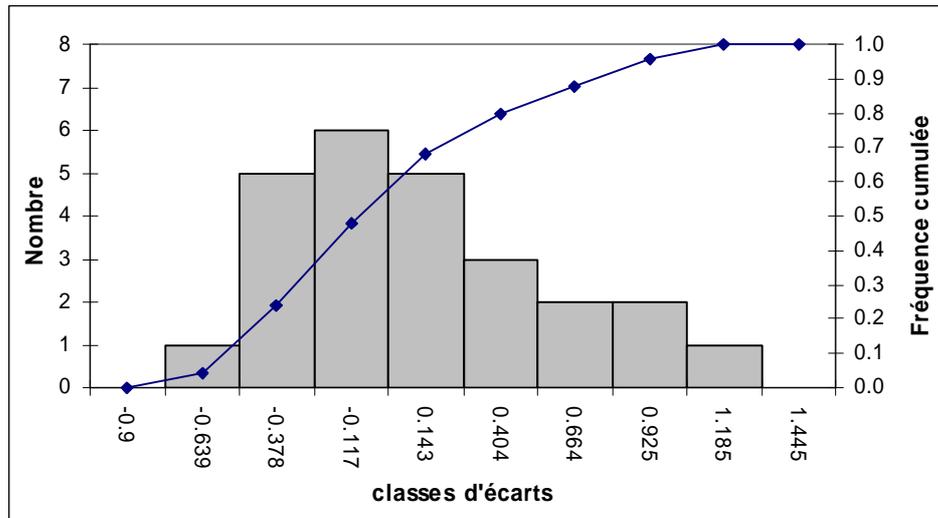


Figure 35 : Oligocène : histogramme des écarts moyens calculés pas de temps par pas de temps

En supposant les écarts moyens statistiquement indépendants, le test de Student peut être mis en œuvre pour savoir si la valeur du coefficient de régression  $a_{rg}$  peut être considérée comme significativement différente de 0 ou non.

La valeur calculée du T de Student égale à 1,31 est inférieure à la valeur critique théorique de 2,06 pour un niveau de confiance de 95 %. La pente de la droite de régression n'est donc pas significativement différente de 0. **La tendance dégagée est donc peu significative** (sur la base de l'échantillon analysé).

*Remarque* : Le test sur le coefficient de régression  $a_{rg}$  (significativement différent de 0 ou non) s'effectue en calculant l'expression :

$$t_{obs} = a_{rg} \sqrt{\frac{\sum_i (t_i - \bar{t})^2}{s_{res}^2}}$$

$t$  désigne les valeurs du temps et  $\bar{t}$  la moyenne de ces valeurs ;

$s_{res}^2$  est la variance des résidus (écarts entre la droite de régression et les valeurs de l'échantillon)

- **Evolution de l'écart-type des écarts**

Le report graphique de l'écart type des écarts en fonction du temps (Figure 34) montre que la précision du modèle ne se dégrade pas sur la période considérée et tend même à s'améliorer avec une diminution de l'écart type des écarts d'environ 4 cm par an ( $y = -0,401 + 4,8893x$ ). Sur les 15 dernières années, les écarts restent stables.

## ***Eocène moyen***

- **Ecarts individuels Hobs-Hsim**

Toutes les chroniques présentées en annexe 4.3 ont été prises en compte dans l'analyse soit un total de 53 piézomètres. Les paramètres statistiques de base sur la période considérée sont donnés dans le tableau 6 ci-dessous :

	Période (1976-2000)
Nombre de valeurs	797
Moyenne m (en m)	0,09
Ecart Type s (en m)	1,16
Minimum (en m)	-5,28
Maximum (en m)	6,96

*Tableau 6 : Eocène moyen - statistiques sur les écarts entre piézométrie observée et piézométrie simulée calculés sur les chroniques de mesures disponibles*

En moyenne, les valeurs observées sont légèrement supérieures aux valeurs simulées (de 9 cm) ce qui joue dans le sens sécuritaire vis-à-vis des résultats fournis par le modèle.

L'écart maximum observé de 6,96 m correspond au couple Hobs-Hsim relevé sur la chronique du forage 08273X0288/F2 à Camblanes-et-Meynac (cf annexe 4.3) pour l'année 1980. Le début de la chronique est mal reproduit du fait d'un état initial trop bas pour ce point d'eau. Cette situation s'estompe progressivement au fil des années et les niveaux simulés rejoignent progressivement les niveaux observés (perte de l'effet mémoire du modèle lié à l'état initial).

La distribution des fréquences de valeurs est précisée par l'histogramme de la figure 36 (les classes sont incrémentées de plus ou moins ½ écart-type à partir de la moyenne).

La répartition des valeurs s'organise approximativement suivant une distribution normale comme le montre qualitativement l'histogramme où :

80 % des écarts sont compris entre  $(m-1s) = -1,07$  et  $(m+1s) = +1,25$  (la valeur théorique est de 68 %)

95 % des écarts sont compris entre  $(m-2s) = -2,23$  et  $(m+2s) = +2,12$  (la valeur théorique est de 95 %)

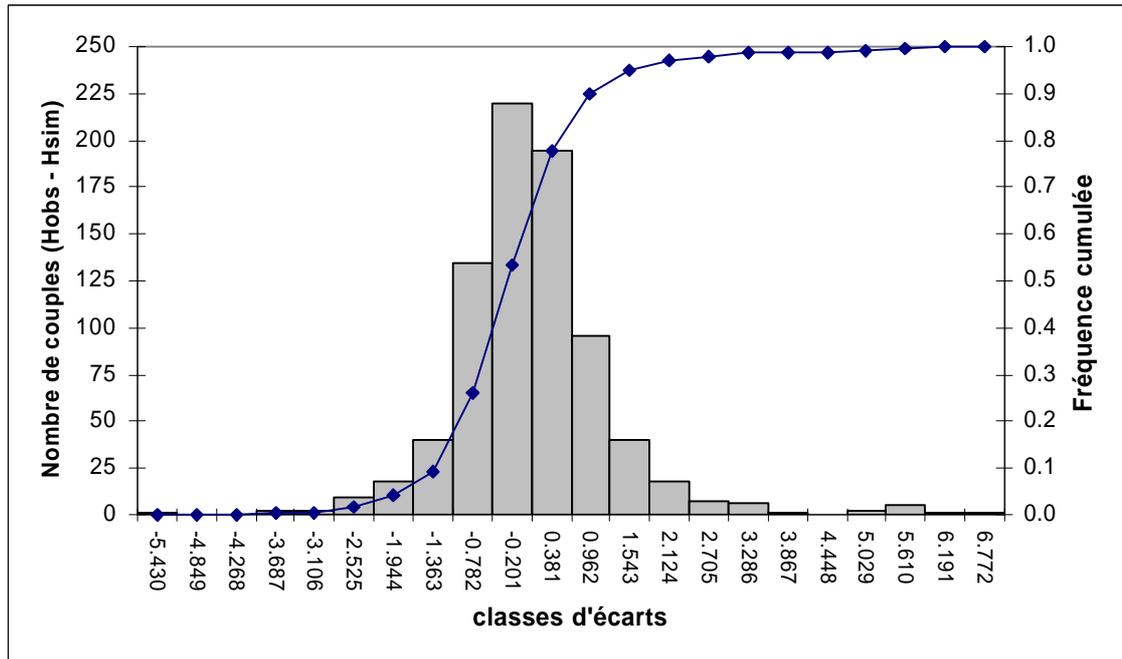


Figure 36 : Eocène moyen : histogramme des écarts individuels entre chroniques piézométriques observées et chroniques simulées

En supposant l'indépendance statistique des écarts, l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne  $m$  est donné par :

$$IC_{95} = \left[ m - t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}}, m + t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}$  est la valeur du T de Student pour un niveau de confiance  $1-\alpha = 95\%$ .

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}} = 2,23 \quad \text{et} \quad t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} = 0,083$$

D'où l'intervalle de confiance suivant :  $IC_{95} = [ 0,011, 0,173 ]$

**La moyenne des écarts  $H_{obs}-H_{sim}$  est donc significativement différente de 0 mais en reste très proche et positive.**

• **Evolution des écarts moyens**

L'évolution de ces écarts est présentée par la figure 37 ci-dessous :

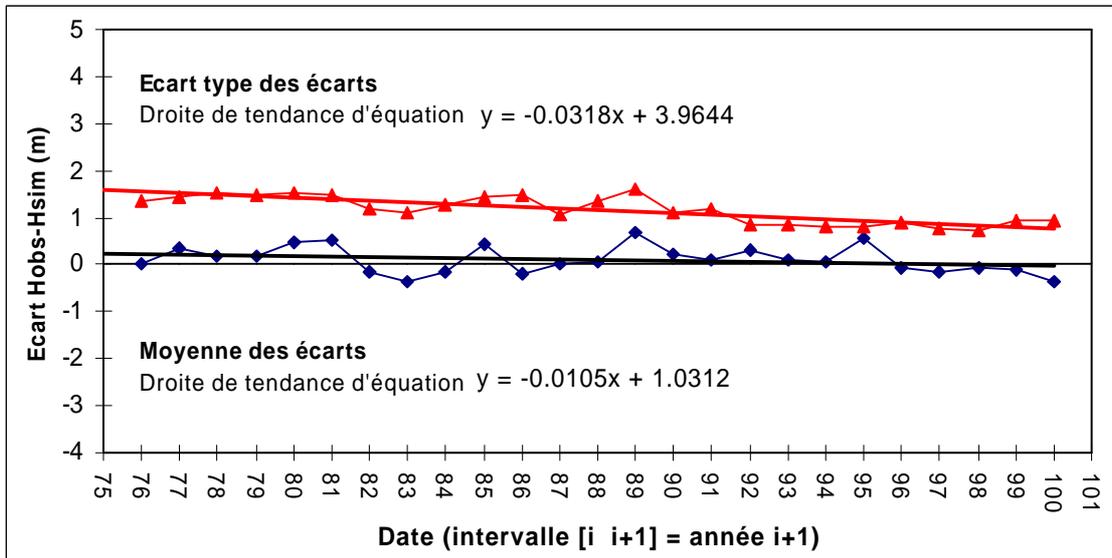


Figure 37 : Eocène moyen – évolution dans le temps des écarts moyens et de leur écart type

Pour les 25 années considérées (1976-2000), la moyenne générale de ces écarts est de 0,11 m et l'écart type de 0,29 m. Le minimum est de - 0,38 m (2000) et le maximum de 0,70 m (1989).

L'existence d'une dérive peut être mise en évidence par une analyse de régression.

L'équation de la droite ajustée sur la série des écarts moyens (figure 37) est :

$$E = -0,0105(t - 76) + 1,0312$$

La pente de la droite (le coefficient de régression) est  $a_{rg} = - 1,05 \text{ cm/an}$ .

Cette tendance est donc très faible, de l'ordre de 1 cm par an (0,2 cm en ne considérant que la période 1982-2000) et de plus, non significative au sens statistique comme le montre l'application suivante du test de Student (méthodologie exposée auparavant pour l'Oligocène).

La valeur calculée du T de Student égale à 1,84 est inférieure à la valeur critique théorique de 2,06 pour un niveau de confiance de 95 %. La pente de la droite de régression n'est donc pas significativement différente de 0 (sur la base de l'échantillon analysé).

- **Evolution de l'écart-type des écarts**

Le report graphique de l'écart type des écarts en fonction du temps (figure 37) montre que la précision du modèle ne se dégrade pas sur la période considérée et tend même à s'améliorer avec une diminution de l'écart type des écarts d'environ 3 cm par an ( $y = -0,0318 + 3,9644$ ). Sur les 10 dernières années, les écarts restent stables.

### ***Eocène inférieur***

- **Ecarts individuels Hobs-Hsim**

Toutes les chroniques présentées en annexe 4.4 ont été prises en compte dans l'analyse soit un total de 16 piézomètres. Cependant, au vu du faible nombre de chroniques et de leur historique de mesure pour la plupart récent, l'analyse ne porte que sur la période 1988-2000. De même, l'année 1989 a été exclue de l'analyse car un seul couple « Hobs-Hsim » était disponible. Les paramètres statistiques de base sur la période considérée sont donnés dans le tableau 7 ci-dessous :

	Période (1988-2000)
Nombre de valeurs	131
Moyenne m (en m)	-0,106
Ecart Type s (en m)	1,79
Minimum (en m)	-5,35
Maximum (en m)	5,53

*Tableau 7 : Eocène inférieur - statistiques sur les écarts entre piézométrie observée et piézométrie simulée calculés sur les chroniques de mesures disponibles*

En moyenne, les valeurs observées sont légèrement inférieures aux valeurs simulées (de 11 cm).

L'écart maximum observé de 5,53 m correspond au couple Hobs-Hsim relevé sur la chronique du forage 08294X0001/F à Monestier (cf annexe 4.4) pour l'année 1996. Cette chronique dispose de peu de mesures et a principalement été utilisée durant la phase de calage pour reproduire la tendance générale dans ce secteur peu renseigné. Dans le détail, certaines années sont mal reproduites.

La distribution des fréquences de valeurs est précisée par l'histogramme de la figure 38.

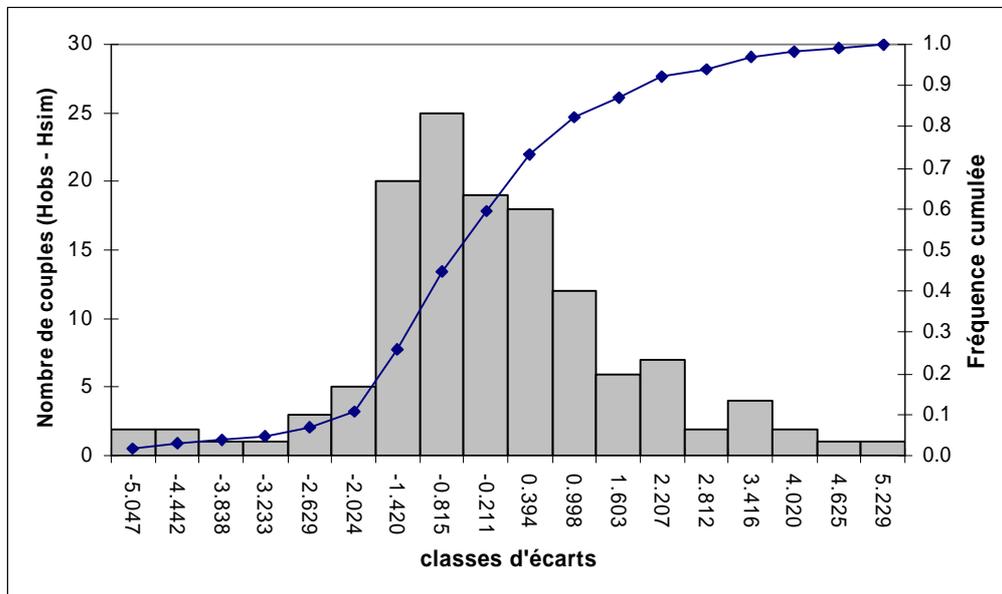


Figure 38 : Eocène inférieur : histogramme des écarts individuels entre chroniques piézométriques observées et chroniques simulées

La répartition des valeurs s'organise approximativement (une légère dissymétrie est apparente) suivant une distribution normale comme le montre qualitativement l'histogramme où :

78 % des écarts sont compris entre  $(m-1s) = - 1,9$  et  $(m+1 s) = + 1,68$  (la valeur théorique est de 68 %)

93 % des écarts sont compris entre  $(m-2s) = - 3,69$  et  $(m+2s) = + 3,02$  (la valeur théorique est de 95 %)

En supposant l'indépendance statistique des écarts, l'intervalle de confiance à 95 % de la moyenne  $m$  est donné par :

$$IC_{95} = \left[ m - t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}}, m + t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} \right]$$

$t_{1-\frac{\alpha}{2}}$  est la valeur du T de Student pour un niveau de confiance  $1-\alpha = 95\%$ .

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}} = - 0,67 \quad \text{et} \quad t_{1-\frac{\alpha}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} = + 0,311$$

D'où l'intervalle de confiance suivant :  $IC_{95} = [ - 0,416, + 0,205 ]$

La moyenne des écarts  $H_{obs}-H_{sim}$  n'est donc pas significativement différente de 0.

- **Evolution des écarts moyens**

L'évolution de ces écarts est présentée par la figure 39 ci-dessous :

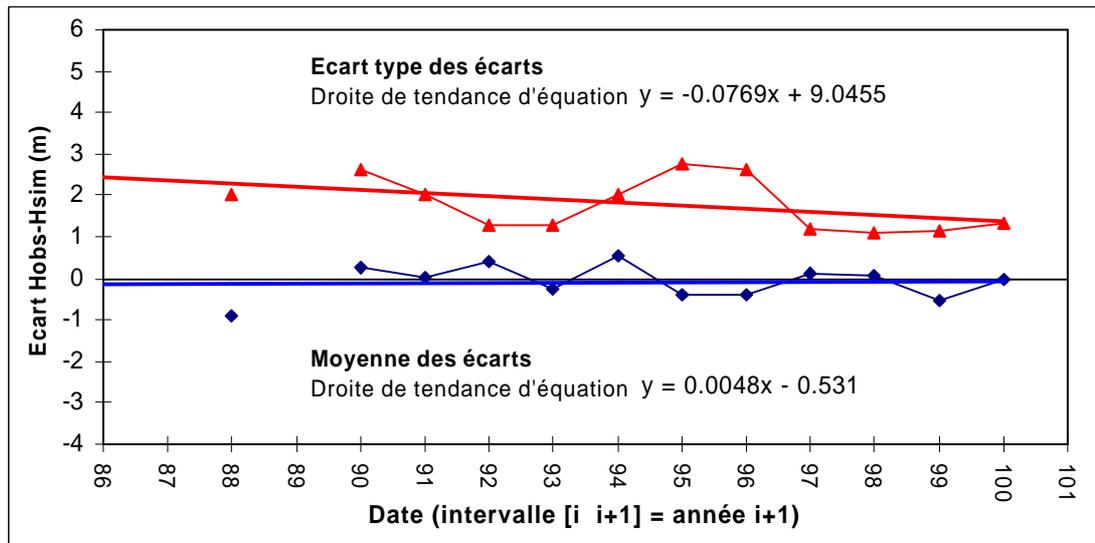


Figure 39 : Eocène inférieur – évolution dans le temps des écarts moyens et de leur écart type

Pour les 13 années considérées (1988-2000 sans 1989), la moyenne générale de ces écarts est de - 0,08 m et l'écart type de 0,64 m. Le minimum est de - 0,90 m (1988) et le maximum de 0,52 m (1994).

L'existence d'une dérive peut être mise en évidence par une analyse de régression.

L'équation de la droite ajustée sur la série des écarts moyens (figure 39) est :

$$E = 0,0048(t - 76) + 0,531$$

La pente de la droite (le coefficient de régression) est  $a_{rg} = 0,48 \text{ cm/an}$ .

La pente de la droite étant quasiment nulle, il est possible de conclure à une absence de dérive, conclusion renforcée par une étude statistique avec l'application suivante du test de Student (méthodologie exposée auparavant pour l'Oligocène).

La valeur calculée du T de Student égale à - 0,68 est inférieure à la valeur critique théorique de 2,2 pour un niveau de confiance de 95 %. **La pente de la droite de régression n'est donc pas significativement différente de 0** (sur la base de l'échantillon analysé).

- **Evolution de l'écart-type des écarts**

Le report graphique de l'écart type des écarts en fonction du temps (figure 39) montre **que la précision du modèle pour la couche de l'Eocène inférieur ne se dégrade pas sur la période considérée** et tend même à s'améliorer avec une diminution de l'écart type des écarts d'environ 8 cm par an ( $y = -0,0769 + 9,0455$ ). Sur les 4 dernières années, les écarts restent stables.

#### **4.5. RESULTATS : PARAMETRES RESTITUÉS PAR LE MODELE**

Les résultats présentés ci-dessous pour l'Eocène intègrent la totalité du domaine modélisé et rendent donc compte des travaux spécifiques réalisés dans le cadre de l'étude, en cours de finalisation, sur l'évaluation de la ressource en eau de l'Eocène dans le Bergeracois financée par le Conseil Général de la Dordogne et le BRGM avec le concours financier de l'Agence de l'Eau Adour-Garonne.

##### **4.5.1. Recharge**

###### ***Localisation des zones météorologiques***

- **Rappel**

Comme indiqué au chapitre 3.3.1, les superficies d'affleurement dans chaque maille de recharge des couches de l'Oligocène, de l'Eocène supérieur, moyen et inférieur ont été recalculées pour la nouvelle grille (2 x 2 km) de façon à pondérer les flux de recharge en fonction de l'occupation réelle des affleurements dans chaque maille. La localisation et le taux d'occupation des affleurements dans ces mailles de recharge sont présentés en annexe 6.

*Remarque* : La recharge par infiltration est classiquement exprimée en hauteur d'eau par unité de temps (mm/an). Attribuer à une maille, partiellement occupée par une zone d'affleurement, une hauteur d'eau de 10 mm/an par exemple ne signifie pas que les affleurements ne reçoivent que 10 mm/an. Cette hauteur d'eau est répartie sur l'ensemble de la maille, et elle fournit simplement un flux d'eau équivalent à ce que les seuls affleurements fourniraient en recevant une infiltration plus élevée (par exemple 40 mm/an pour un taux d'occupation de la maille de 25 %).

- **Cas particulier : flux d'infiltration « indirects »**

Pour l'Eocène supérieur, les zones d'affleurement susceptibles d'alimenter directement la nappe sont peu nombreuses. Elles sont identifiées uniquement dans le secteur médocain (annexe 6).

Lors de la phase de calage, des dénoyages de la couche ont été mis en évidence dans la Double et le Nord girondin. Dans le modèle, l'absence de couche sus-jacente dans ces secteurs avait conduit à considérer par défaut une limite à flux nuls. Dans la réalité,

le réservoir Eocène supérieur est surmonté par des sables détritiques relativement argileux qui sont peu transmissifs mais très capacitifs. Ces sables, non modélisés, servent vraisemblablement de « zone relais » à l'alimentation de l'Eocène supérieur par drainance verticale descendante. Pour prendre en compte ce phénomène, une recharge indirecte de faible importance a été introduite. Elle équivaut à un flux de drainance entrant et permet une recharge de l'aquifère. Ces zones sont identifiées sur l'annexe 6 avec les numéros de zones météorologiques (ZMTO) 551 et 552, la première dépendant de la station de Mérignac, la seconde de Bergerac.

### ***Rattachement des stations météorologiques aux zones météorologiques (ZMTO)***

Chaque maille de recharge (directe ou indirecte [cas de l'Eocène supérieur uniquement]) a été rattachée à une station météorologique en fonction de sa localisation géographique de façon à moduler la recharge calculée en fonction de la variabilité spatiale des pluies efficaces. La figure 40 montre les zones météorologiques des 4 couches calées et les stations météorologiques auxquelles elles sont rattachées.

### ***Calcul de la recharge***

La recharge année par année des couches de l'Oligocène, de l'Eocène supérieur, moyen et inférieur, a été évaluée, par secteur, en prenant comme référence la pluie efficace moyenne de la station météorologique correspondante calculée sur la période **1972-2000** (avec une RU maximale de 150 mm).

A partir des valeurs de recharge obtenues en régime permanent (fournies en annexe 7), les valeurs année par année, pour chaque zone météorologique (ZMTO), sont obtenues par la loi de recharge générale ci-dessous :

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

$R_{z,k}$  : valeur de recharge de l'année k affectée à la zone météorologique z,

$\overline{R_z}$  : valeur de recharge du régime permanent pour la zone météorologique z,

$P_{eff}(k)$  : pluie efficace de l'année k calculée pour la station météorologique considérée,

$\overline{P_{eff}}$  : pluie efficace moyenne calculée sur la période 1972-2000 pour la station météo considérée.

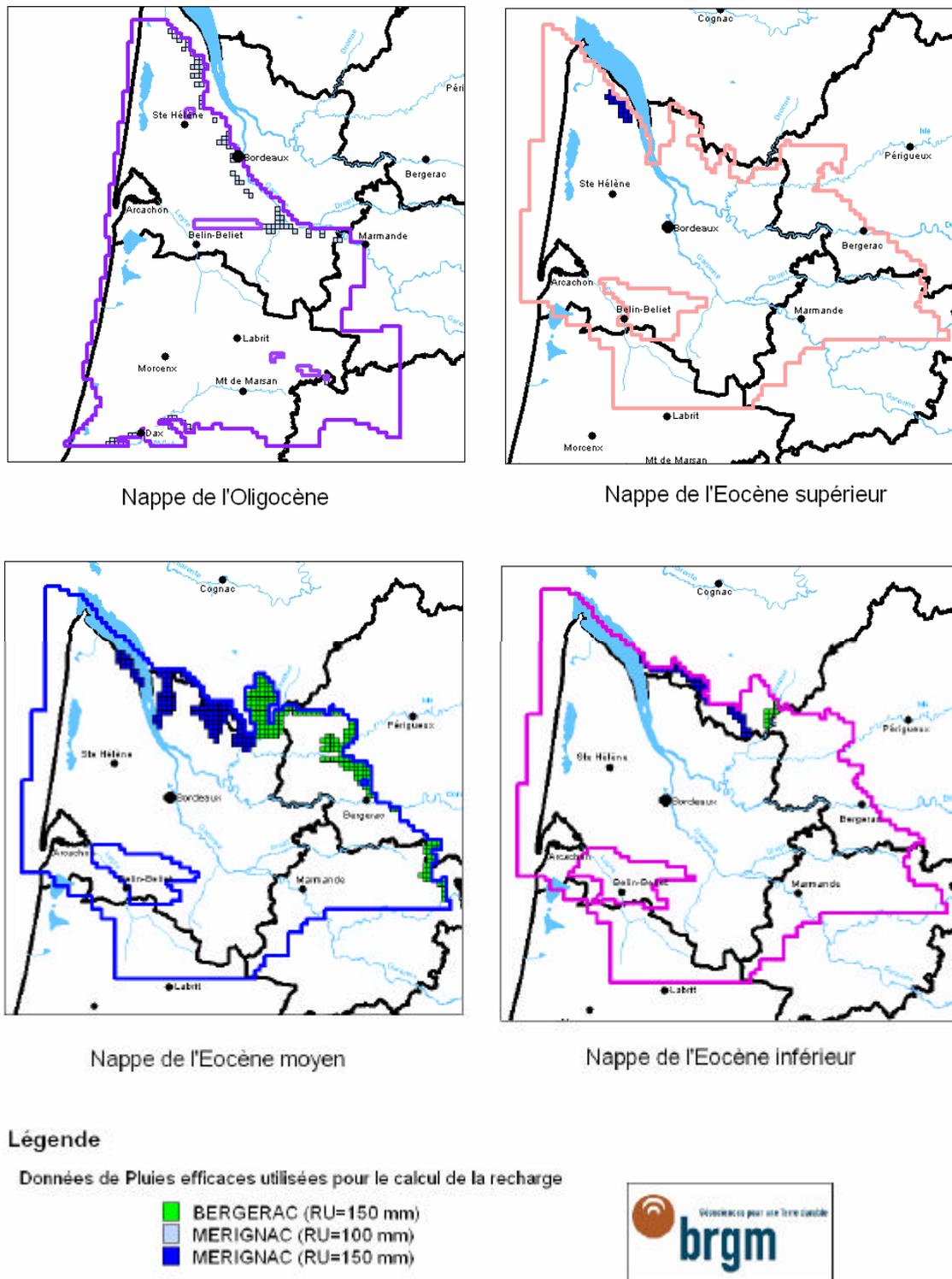


Figure 40 : Localisation des zones d'affleurement du modèle pour chaque nappe et source des données de pluies efficaces utilisées pour le calcul de la recharge

*Remarque* : L'état piézométrique initial (1972) calculé par le modèle au début de la phase de calage apparaissait beaucoup trop bas dans le secteur bordelais pour les couches de l'**Eocène moyen** et de l'**Eocène inférieur**. Pour pallier ce phénomène, la recharge du régime permanent a été majorée de 50 % dans les zones météorologiques dépendant de la station de Mérignac (pour une RU de 150 mm). Pour que cette majoration ne s'applique qu'au régime permanent initial, la loi de recharge a été ajustée pour ces deux couches, uniquement pour la station météo de Mérignac, comme suit :

$$R_{z,k} = \frac{P_{eff}(k)}{P_{eff}} \times \frac{\overline{R_z}}{1,5}$$

Le calcul de la recharge s'est également appuyé sur les travaux antérieurs réalisés lors de la restructuration du modèle Nord-Aquitain (BRGM/R-40224, 1999). A l'époque, le calage avait été réalisé en partie avec un pas de temps trimestriel ce qui avait mis en évidence, pour la loi de recharge retenue, la nécessité d'écrêter de 20 % les valeurs de pluies efficaces trimestrielles supérieures ou égales à 300 mm calculées à Mérignac (assimilation à augmentation de la part du ruissellement dans les écoulements). Cet écrêtage des valeurs a été conservé dans le modèle actuel. Il concerne les années 1976, 1979, 1982, 1988, 1992, 1993 et 2000.

A l'inverse, la phase de calage a conduit à définir une recharge minimum de 5 mm pour les zones météorologiques dépendant de la station de Mérignac (RU de 100 ou 150 mm) et de 2,5 mm pour la station de Bergerac.

### **Comparaison entre la recharge de l'Eocène du modèle MONA V2-2000 et celle du modèle MONA V3.1-2000**

La subdivision de l'Eocène en trois couches distinctes, la discrétisation plus fine du modèle et la prise en compte d'une station météorologique supplémentaire (Bergerac) ont entraîné la modification du découpage des zones de recharge et donc des valeurs de recharge introduites dans le modèle.

Au terme de la phase de calage, ces valeurs de recharge modifiées ont été contrôlées pour s'assurer que les ordres de grandeurs des infiltrations obtenus restent comparables à ceux de la couche Eocène du modèle 5 km (MONA V2-2000), afin de garantir la cohérence entre les deux modèles.

Pour cela, l'infiltration cumulée des couches de l'Eocène moyen et de l'Eocène inférieur a été comparée à l'infiltration issue de l'Eocène (non individualisé) du modèle MONA V2-2000. Le résultat est fourni dans le tableau 8.

*Remarque* : L'Eocène supérieur a été écarté de cette comparaison car il présente une recharge faible et est nettement déconnecté de l'Eocène moyen par une importante éponte dans les secteurs où se fait cette recharge.

Toutes les modifications apportées conduisent logiquement à des différences qui peuvent être conséquentes sur certaines années (exemple en 1979 ou en 1991). En

revanche, sur la période 1972-2000, la différence de recharge entre les deux modèles s'établit à moins d'1%.

Année	RECHARGE (m <sup>3</sup> /j) Eocène moyen + inférieur MONA V3.1-2000	RECHARGE (m <sup>3</sup> /j) Eocène non individualisé MONA V2-2000	Différence (en %)
1972	173 420	152 700	12%
1973	65 555	70 990	- 8%
1974	138 220	133 100	4%
1975	81 590	79 190	3%
1976	128 210	153 700	- 20%
1977	103 600	92 180	11%
1978	128 540	145 900	- 14%
1979	140 190	194 200	- 39%
1980	109 180	103 800	5%
1981	166 550	167 200	0%
1982	199 140	205 100	- 3%
1983	81 700	83 610	- 2%
1984	203 030	204 300	- 1%
1985	97 750	95 360	2%
1986	187 190	174 300	7%
1987	66 019	65 350	1%
1988	174 930	133 100	24%
1989	25 071	31 870	- 27%
1990	89 370	94 470	- 6%
1991	96 290	125 500	- 30%
1992	133 660	152 900	- 14%
1993	146 060	120 400	18%
1994	181 520	158 500	13%
1995	193 120	170 700	12%
1996	159 290	145 900	8%
1997	126 930	141 200	- 11%
1998	116 700	125 500	- 8%
1999	133 520	126 300	5%
2000	180 640	198 400	- 10%
			<b>- 0.5%</b>

Tableau 8 : Différences entre la recharge de l'Eocène moyen et inférieur du modèle MONA V3.1-2000 et celle de l'Eocène du modèle MONA V2-2000 sur la période 1972-2000

## 4.5.2. Paramètres hydrodynamiques

### *Champ de perméabilités des couches*

Les perméabilités de l'Oligocène et de l'Éocène moyen, issues respectivement du modèle Miocène et du Modèle Nord-Aquitain 5 km (MONA V2-2000), ont, dans un premier temps, été réaffectées sans modifications au nouveau modèle (MONA V3.1-2000). Lors de la phase de calage, ces valeurs ont été modifiées dans des gammes de valeurs dictées par les observations de terrain.

Pour l'Eocène inférieur, le champ de perméabilités de la couche Eocène du modèle 5 km a aussi été utilisé comme point de départ.

Pour l'Eocène supérieur, le champ de perméabilité était totalement à définir puisque cette couche n'existait pas dans la version antérieure du Modèle Nord-Aquitain.

Les cartes de perméabilités issues du calage des 4 couches sont reportées en annexe 8.1.

- **Oligocène**

La plage de variation s'étend de  $1.10^{-6}$  m/s à  $5.10^{-3}$  m/s. La valeur la plus fréquente (43 % des mailles) est de  $1.10^{-5}$  m/s. Elle se rencontre hors des zones couvertes par le réseau piézométrique et représente la valeur de base qui avait servi de point de départ au calage du modèle MONA V2.

Dans le Médoc, une zone de plus faibles perméabilités (entre  $5.10^{-6}$  et  $9.10^{-6}$  m/s) coïncide à peu près avec l'extension du dôme piézométrique à l'ouest de Bordeaux. Les valeurs les plus fortes se rencontrent le long de la Garonne et au sud-ouest de l'anticlinal de Villagrains-Landiras. Dans ces zones, on retrouve les principales sources oligocènes alimentant la région bordelaise en eau potable (Budos, Castres-sur-Gironde, sources du Thil).

- **Eocène supérieur**

Le champ de perméabilités dans l'Eocène supérieur s'étend de  $1.10^{-8}$  à  $5.10^{-3}$  m/s. Hormis près du littoral, dans le Médoc à proximité de l'estuaire de la Gironde et dans le Libournais, le réservoir Eocène supérieur apparaît peu perméable. La valeur la plus fréquente est de  $1.10^{-6}$  m/s. Au sud-est du domaine, les perméabilités sont très faibles ( $1.10^{-8}$  à  $1.10^{-6}$  m/s) et correspondent à des faciès molassiques dans lesquels s'intercalent des bancs de calcaires lacustres localement aquifères.

- **Eocène moyen**

La plage de variation s'étend de  $1.10^{-8}$  m/s à  $9.10^{-4}$  m/s (Figure 41). La valeur la plus fréquente est de  $1.10^{-5}$  m/s. Comme pour l'Oligocène, elle représente la valeur de base ayant servi de point de départ au calage du modèle MONA V2.

Les valeurs les plus fortes sont localisées entre l'Isle et la Dordogne dans le département de la Gironde, dans la vallée de la Garonne entre Langon et Marmande, et à l'est de Bordeaux entre la Garonne et la Dordogne. Plus au Nord, les perméabilités sont également élevées à proximité de l'estuaire de la Gironde. Les valeurs les plus faibles ( $1.10^{-8}$  à  $5.10^{-6}$  m/s) se concentrent au nord de la lacune éocène au droit du dôme piézométrique et aux environs de Bergerac.

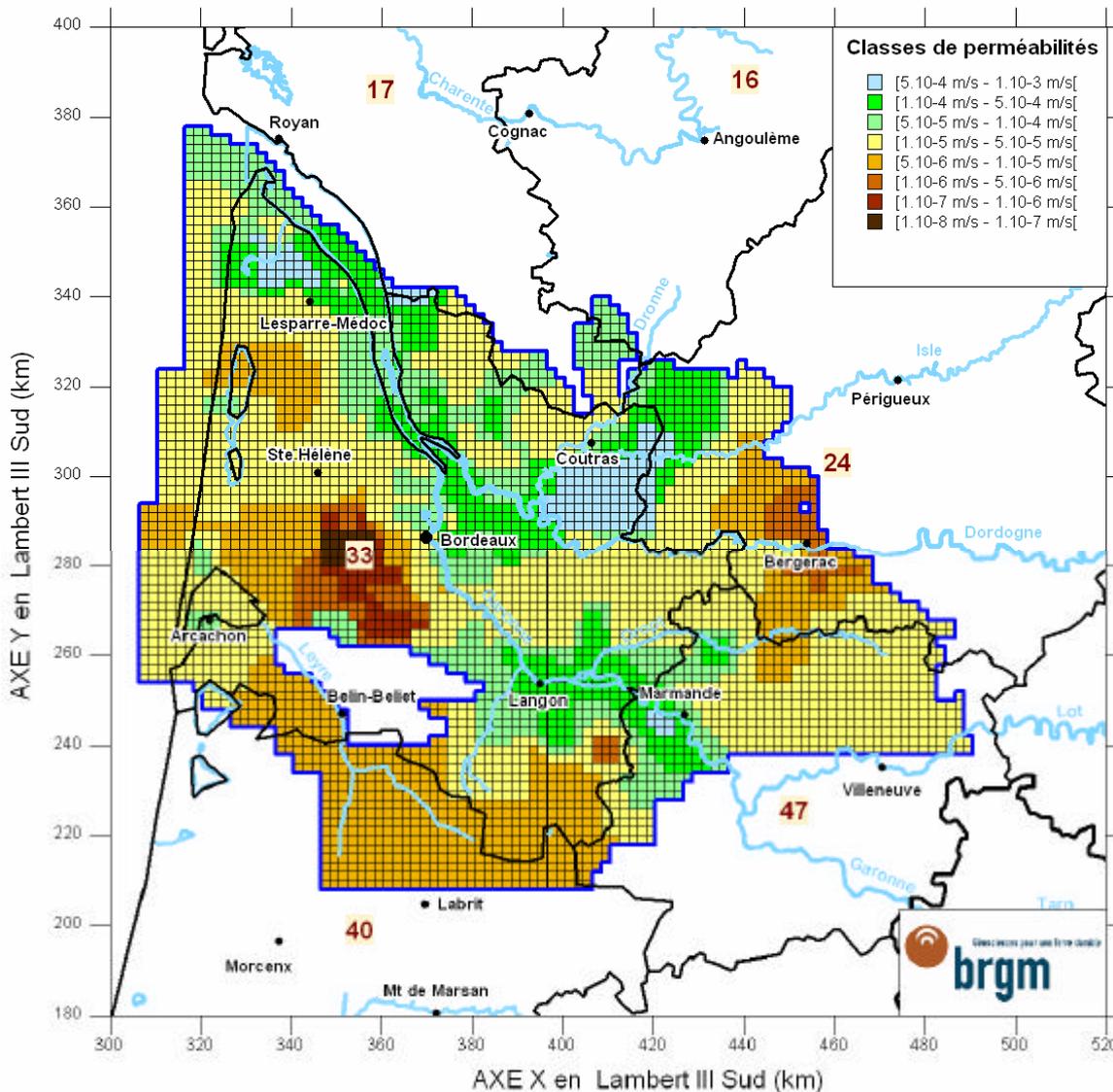


Figure 41 : Carte indicative des perméabilités de l'Eocène moyen issues du calage

- **Eocène inférieur**

La distribution du champ de perméabilités de l'Eocène inférieur s'organise approximativement comme celui de l'Eocène moyen. La plage de variation s'étend de  $1.10^{-8}$  m/s à  $5.10^{-4}$  m/s.

Les perméabilités apparaissent cependant plus faibles dans la vallée de la Garonne, surtout entre Langon et Marmande, et entre l'Isle et la Dordogne en Gironde. A l'inverse, dans la vallée de la Dordogne au niveau de Sainte-Foy-La-Grande, le réservoir Eocène inférieur est plus perméable.

Comme dans l'Eocène moyen, les plus faibles perméabilités sont localisées à l'ouest de la Garonne au droit du dôme piézométrique.

### ***Champ de perméabilités des épontes***

Les champs de perméabilités des épontes obtenus par calage sont présentés en annexe 8.2. Fautes d'informations sur ces épontes, la zonation obtenue n'est probablement pas la seule possible.

Les plages de variations des perméabilités de ces épontes sont comprises entre  $10^{-12}$  m/s et  $10^{-8}$  m/s.

- **Eponte Eocène moyen-supérieur**

Près du littoral, le réservoir de l'Eocène moyen est en communication hydraulique avec l'aquifère de l'Eocène supérieur. Ceci a conduit à mettre en contact ces deux couches dans le modèle. L'extension de cette zone correspond à la zone 2 du référentiel hydrogéologique simplifié de l'Eocène (cf. 3.1).

Partout ailleurs, l'aquifère de l'Eocène supérieur apparaît nettement séparé de l'Eocène moyen puisque la perméabilité moyenne de l'éponte (issue du calage) est de  $10^{-11}$  m/s.

- **Eponte Eocène inférieur-moyen**

Le champ de perméabilités de l'éponte s'étend de  $10^{-11}$  m/s à  $10^{-8}$  m/s. La perméabilité de l'éponte augmente vers l'ouest passant de  $10^{-9}$  m/s dans le secteur bordelais à  $10^{-8}$  m/s sur la bordure littorale.

Dans le secteur de Bergerac (Figure 42), les sables fluviaux de l'Eocène moyen reposent sur ceux de l'Eocène inférieur. Il n'y a pas d'éponte identifiée entre les deux réservoirs ce qui a conduit à mettre en contact l'Eocène moyen et inférieur dans le modèle. L'extension de cette zone correspond à la zone 8 du référentiel hydrogéologique (cf. 3.1).

A l'est de Coutras, l'éponte entre les deux réservoirs apparaît très discontinue. Les passées d'argiles à nummulites repérées dans les forages sont peu importantes et

l'aquifère de l'Eocène inférieur sablo-gréseux peut être considéré en continuité hydraulique avec celui de l'Eocène moyen sableux. Il n'y a pas d'éponte dans le modèle dans ce secteur (identifié comme la zone 6 dans le référentiel hydrogéologique).

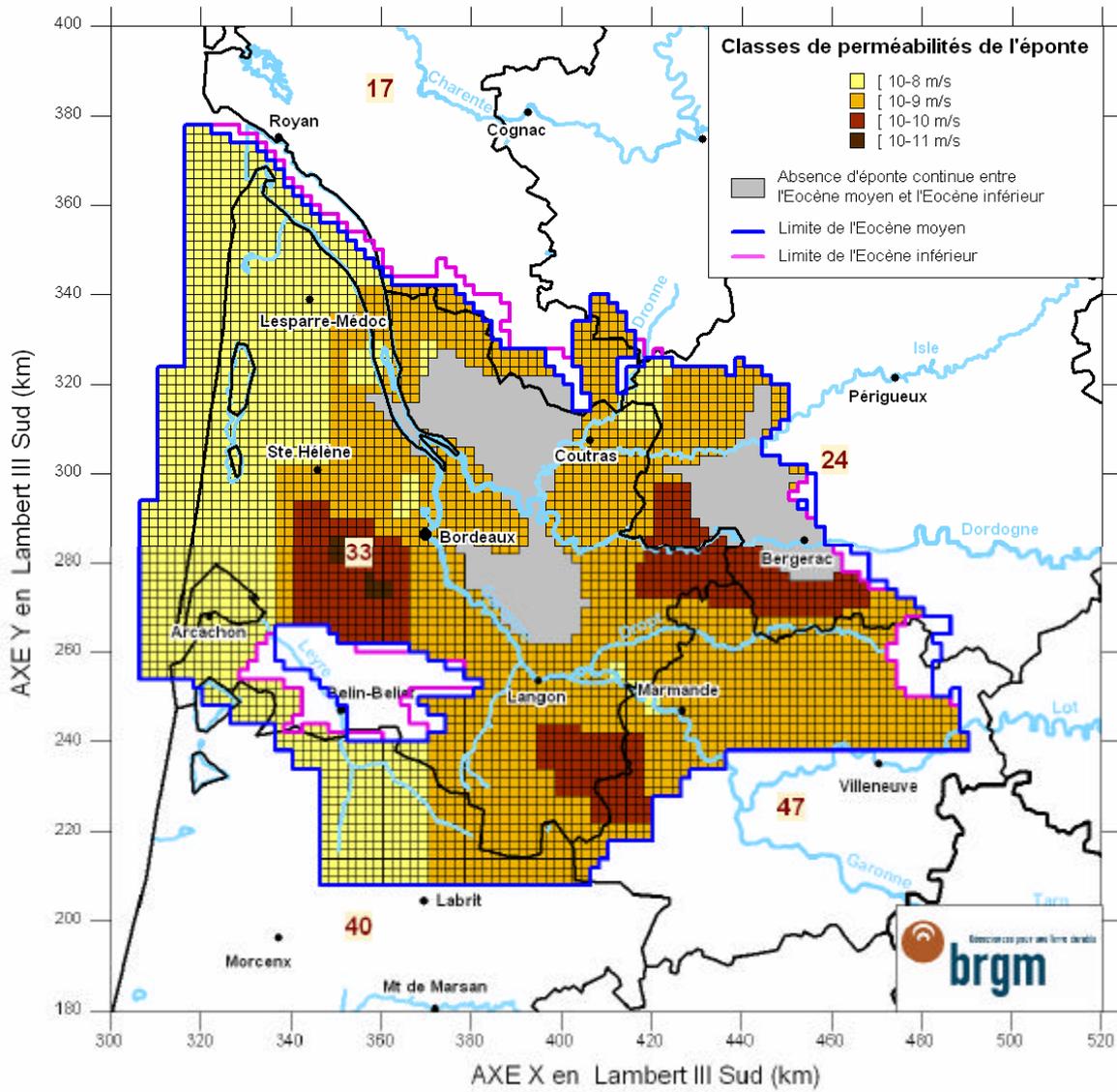


Figure 42 : Carte indicative des perméabilités de l'éponte supérieure de l'Eocène inférieur issues du calage

### Coefficients d'emmagasinement

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

cote de débordement) ou si une maille se dénoie, c'est le coefficient de type « libre » qui est utilisé.

Pour le coefficient d'emmagasinement captif, c'est le coefficient spécifique qui a été introduit. C'est une mesure du volume d'eau extrait d'un aquifère captif par décompression de l'eau et du terrain sous l'effet d'une variation de charge de 1 m. Noté  $S_s$ , il s'exprime en  $m^{-1}$ .

Les champs des coefficients d'emmagasinement captifs obtenus par calage sont présentés en annexe 8.3 et sur la figure 43 pour l'Eocène moyen.

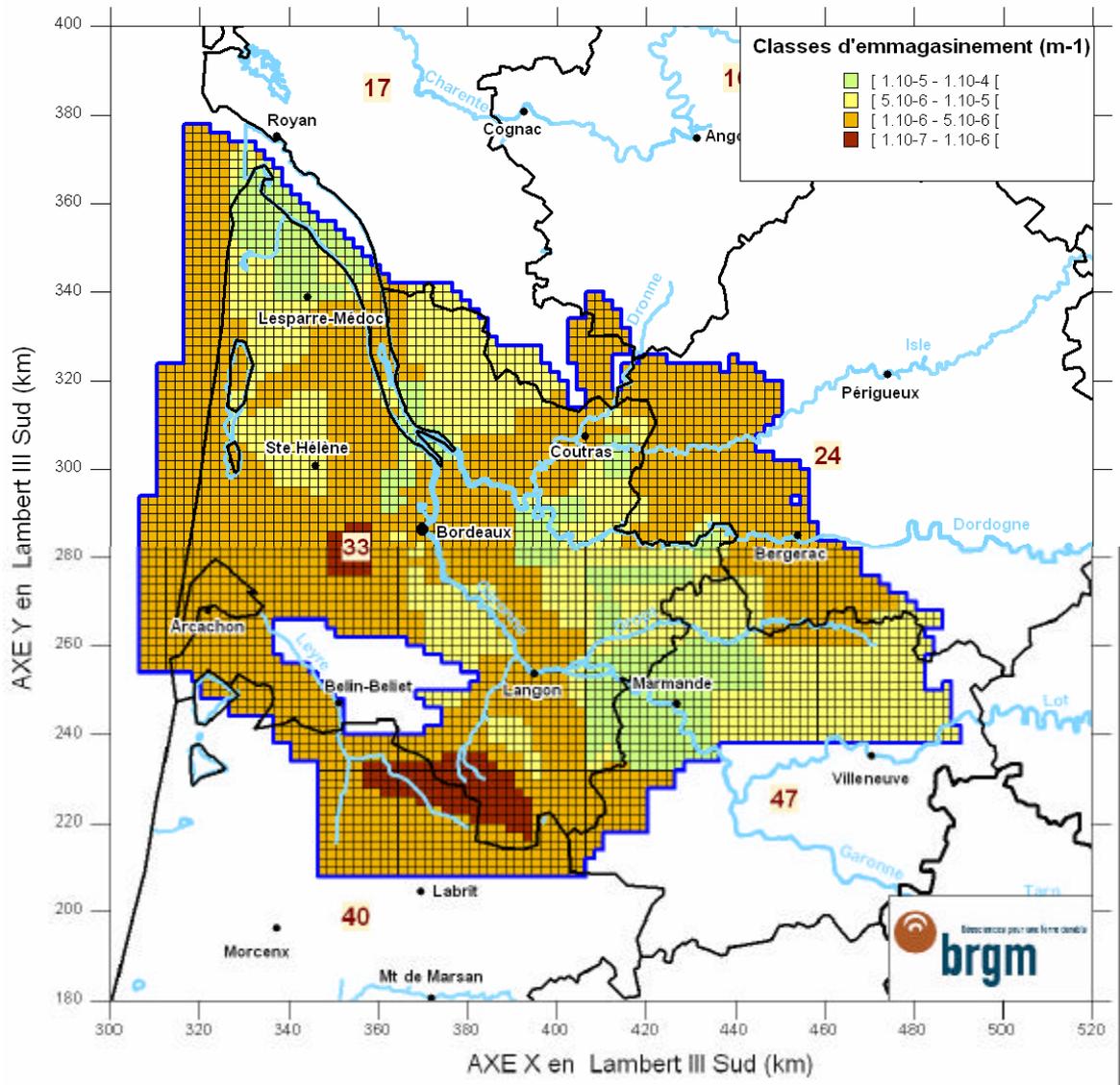


Figure 43 : Carte indicative des coefficients d'emmagasinement captifs de l'Eocène moyen issus du calage



## 5. Collecte de données du Jurassique

Les problématiques de gestion de la ressource en eau du Jurassique sont de plus en plus importantes notamment dans le Lot-et-Garonne où on observe, depuis une dizaine d'années, une baisse continue des niveaux piézométriques. Afin de préparer l'intégration des couches aquifères du Jurassique au modèle Nord-Aquitain en année 4 de la convention régionale, un début de collecte des données disponibles au sein du BRGM (bibliographie et ouvrages) a été engagé.

Ce travail succinct a été réalisé en préalable à celui, beaucoup plus approfondi, qui sera mené prochainement dans le cadre d'une étude particulière financée par les Conseils Généraux de Lot-et-Garonne et de Dordogne, le MEDD, l'Agence de l'Eau Adour-Garonne et le BRGM sur les perspectives de gestion des nappes du Secondaire en Agenais-Périgord.

Une liste des principaux travaux (rapports, notes) disponibles au BRGM sur la géologie et l'hydrogéologie du Jurassique a été dressée. Une trentaine de documents ont ainsi été sélectionnés et répertoriés. Cette liste sera complétée ultérieurement et une exploitation approfondie des documents (données piézométriques, paramètres hydrodynamiques...) sera entreprise au moment de l'intégration des réservoirs jurassiques au modèle.

Parallèlement, les forages d'eau recensés dans la BSS comme sollicitant une entité hydrogéologique du Jurassique ont été codés spécifiquement pour le Modèle Nord-Aquitain. Un code réseau MNA-JURA a été attribué à chaque ouvrage et saisi dans la BDES (Banque de Données sur les Eaux Souterraines). Ce système de codification permet d'extraire très simplement de la base les points du réseau spécifique constitué ainsi que toutes les données afférentes (piézométrie, paramètres hydrodynamiques, prélèvements...).

Les ouvrages ont été sélectionnés indépendamment de l'extension et des limites verticales de la couche Jurassique qui existe dans la version MONA V2B du modèle Nord-Aquitain (cf. Préambule de ce rapport) puisque celles-ci seront redéfinies en année 4 de la convention régionale.



## 6. Conclusion

A l'issue de l'année 2, la mise à jour de la géométrie de la couche Oligocène à partir de données géologiques récentes et de celles acquises en 2000, a permis de finaliser le travail géologique entamé au cours de l'année 1.

La construction du modèle numérique hydrogéologique Nord-Aquitain dans sa version **MONA V3.1**<sup>1</sup> est à présent terminée. Les dernières données de prélèvements des trois couches éocènes ont été récupérées et réaffectées à chacune des formations. Pour cela, un référentiel hydrogéologique simplifié de l'Eocène a été constitué de façon à assurer la cohérence spatiale des affectations à l'échelle des réservoirs. Les zones d'échange Nappe-Estuaire pour l'Eocène supérieur, moyen et inférieur ont été redéfinies.

Le calage des trois couches éocènes et de l'Oligocène a été effectué sur 112 chroniques piézométriques (37 dans l'Oligocène, 6 dans l'Eocène supérieur, 53 dans l'Eocène moyen et 16 dans l'Eocène inférieur). Au terme du calage, la très grande majorité de ces chroniques est bien reproduite en phase, en amplitude, en pente et en niveau. Cette constatation visuelle est confortée par l'évaluation statistique du calage réalisée sur ces chroniques (hormis celles de l'Eocène supérieur en nombre insuffisant). Elle ne montre pas de biais significatifs sur les périodes considérées. De plus, l'analyse de l'écart type des écarts au cours du temps indique que la précision du modèle ne se dégrade pas et tend même à s'améliorer.

Au niveau spatial, les piézométries de l'Oligocène et de l'Eocène moyen sont également bien restituées. Les grandes figures d'écoulement (dômes, dépressions...) sont bien reproduites.

Le modèle dans sa version **MONA V31-2000**<sup>4</sup> est à présent opérationnel et peut donc être utilisé pour la réalisation de simulations.

Parallèlement à cela, un début de collecte des données disponibles pour la couche Jurassique, qui sera intégrée au modèle en année 4 du projet, a été engagé. Ce travail a consisté en un recensement de la bibliographie et des forages existants au sein du BRGM.

Le développement et la maintenance du Modèle Nord-Aquitain seront poursuivis au cours de l'année 3 du projet :

- en affinant le calage des couches éocènes et oligocène du modèle dans les quelques secteurs où la restitution peut encore être optimisée,

---

<sup>4</sup> Nouvelle nomenclature pour la désignation des versions du Modèle Nord-Aquitain (Cf préambule)

- en réajustant à la marge la géométrie du Campano-Maastrichtien issue du modèle 5 km, interpolée à la maille de 2 km et intégrée sans modifications au modèle au cours de l'année 1 du projet. La maille de 2 km de côté permettant d'avoir une représentation plus fine, un contrôle de la géométrie (limites, zones d'affleurement, toit, mur) de cette couche sera effectué,
- en dissociant l'ensemble Turonien-Coniacien-Santonien en 2 couches distinctes avec d'une part, le réservoir Turonien et d'autre part, l'ensemble Coniacien-Santonien. L'individualisation se fera à partir des données des sondages recensées. Les limites et les affleurements de chacun des deux réservoirs seront précisés. Les informations issues des travaux engagés sur ces réservoirs en région Poitou-Charentes seront prises en compte pour assurer une cohérence d'ensemble entre le modèle de gestion du Turonien-Coniacien de cette région et le Modèle Nord-Aquitain.

## 7. Références bibliographiques

**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.)

**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

**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,

**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

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

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

**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.

**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., 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

**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

**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

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

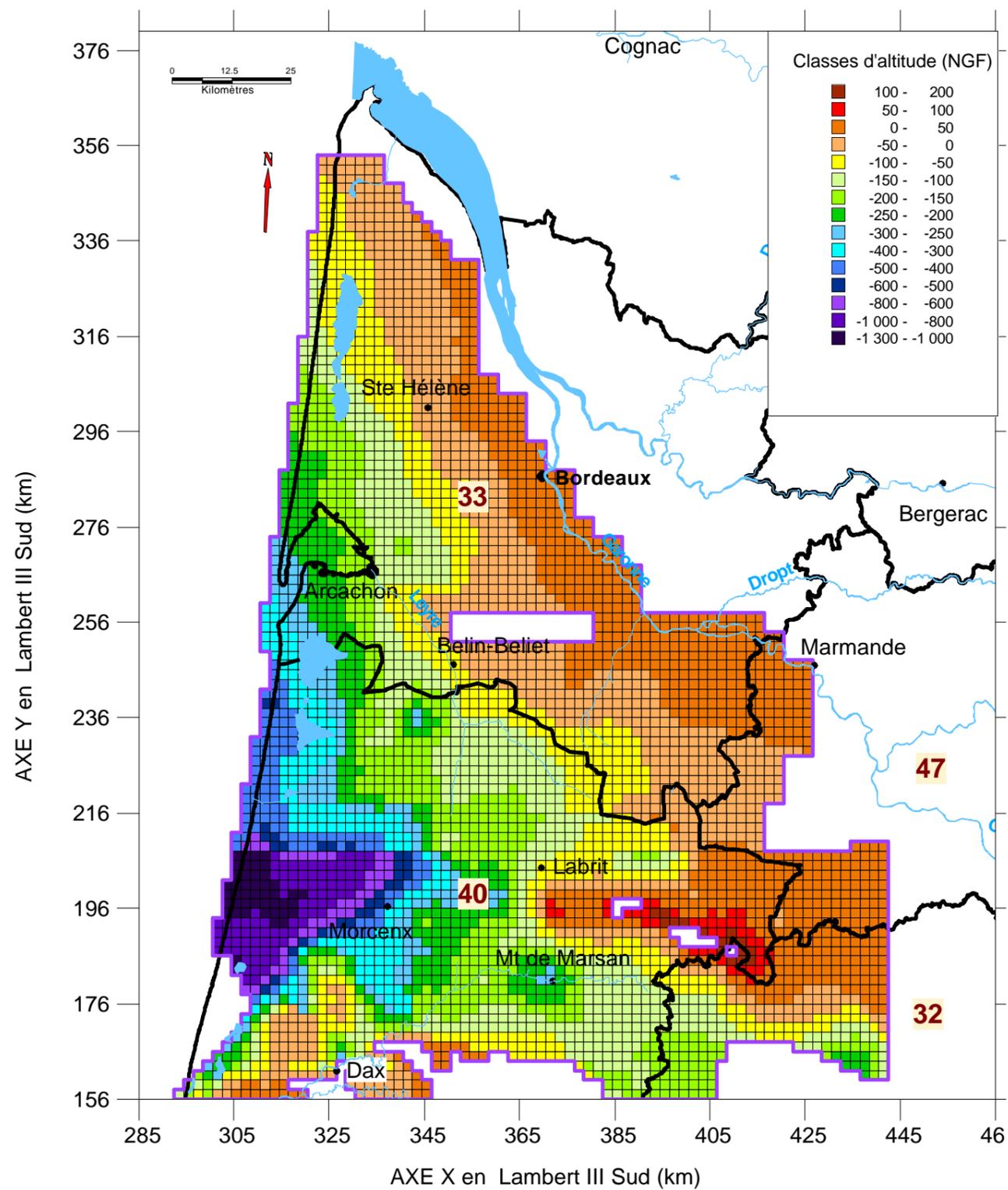
Contrôle qualité et gestion des nappes d'eau souterraine en Gironde. Etat des connaissances à fin 2000.

Rapport BRGM RP-51307-FR

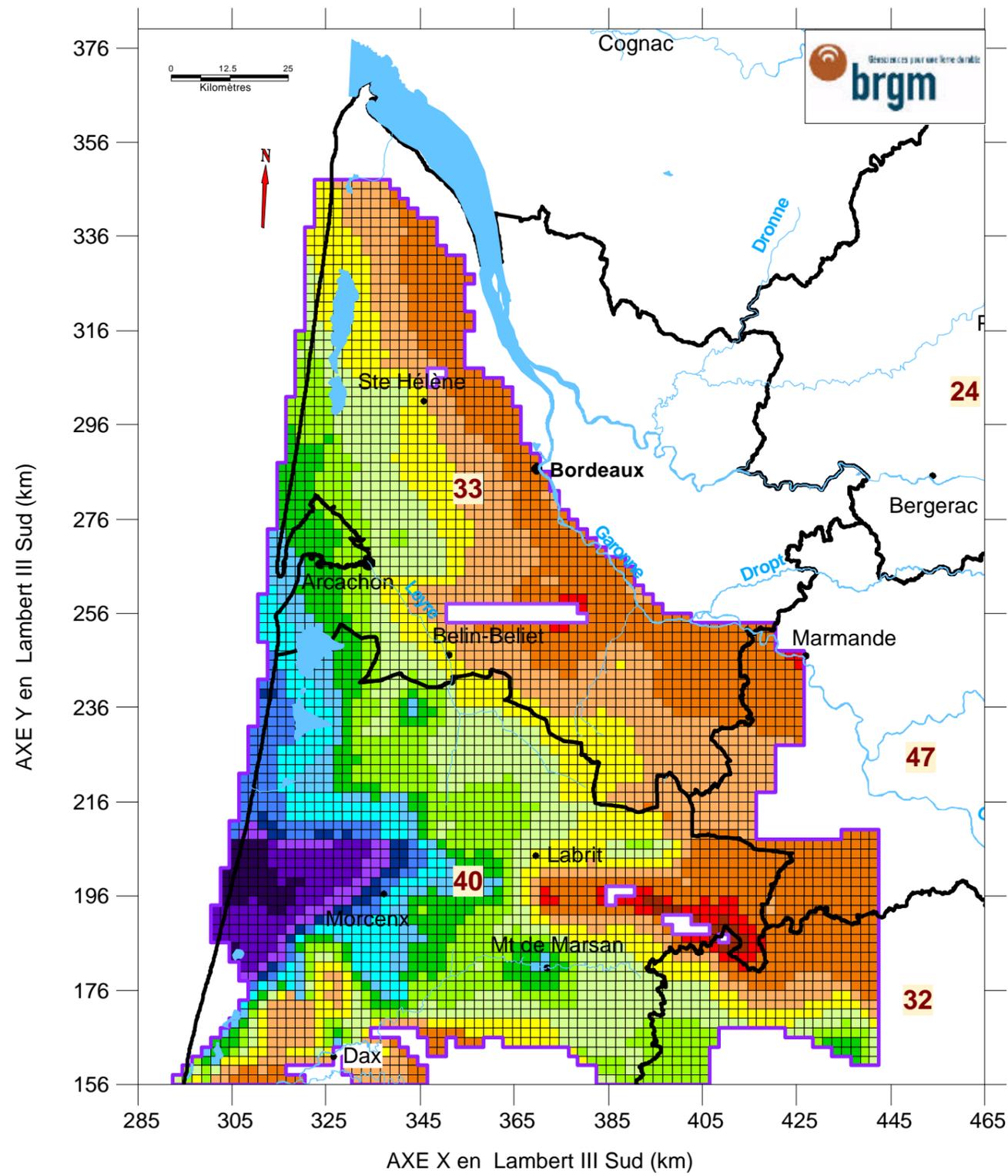
## **Annexe 1**

### Cartographies actualisées du toit, du mur et de l'épaisseur de l'Oligocène



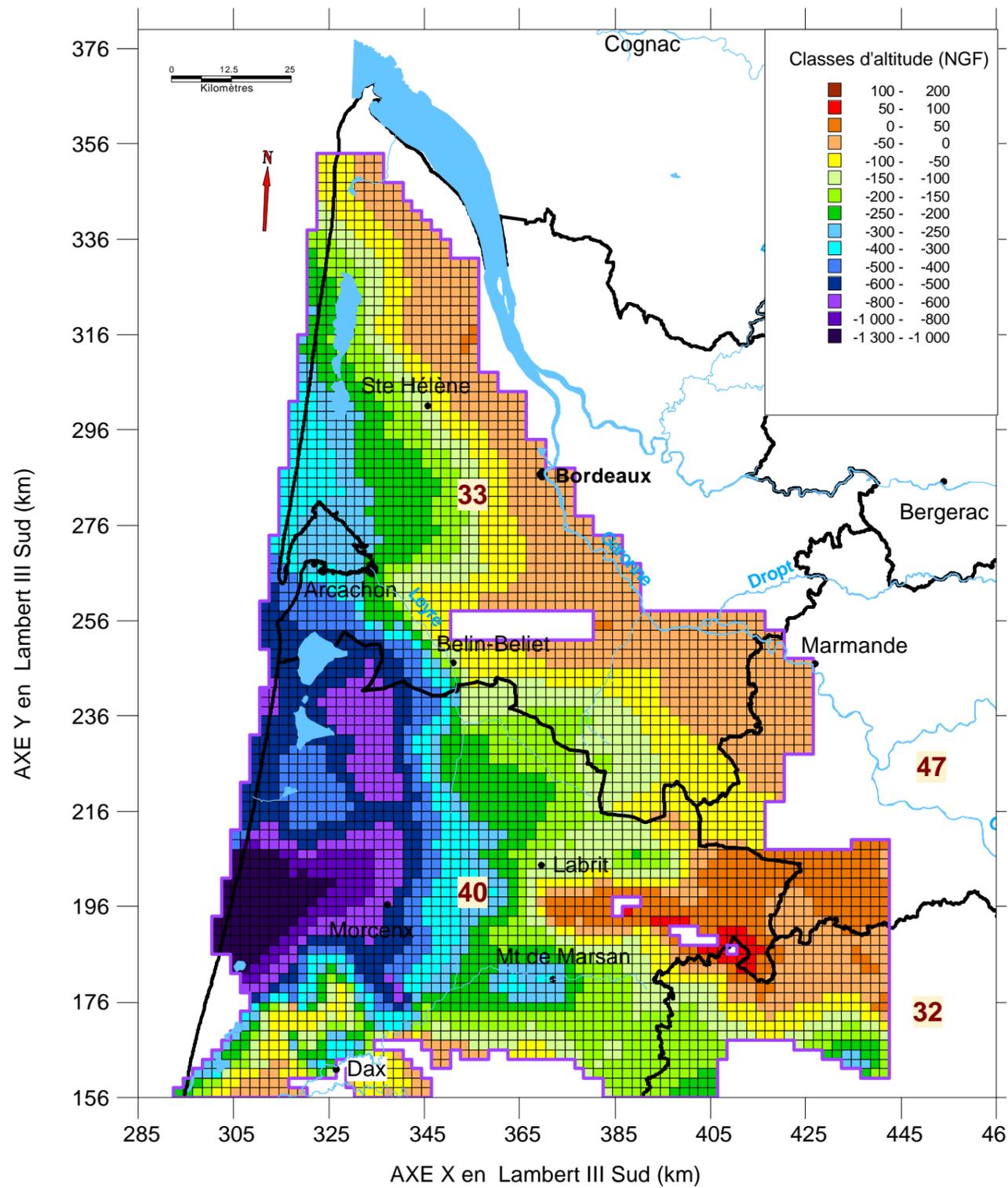


**Toit de l'Oligocène avant les modifications**

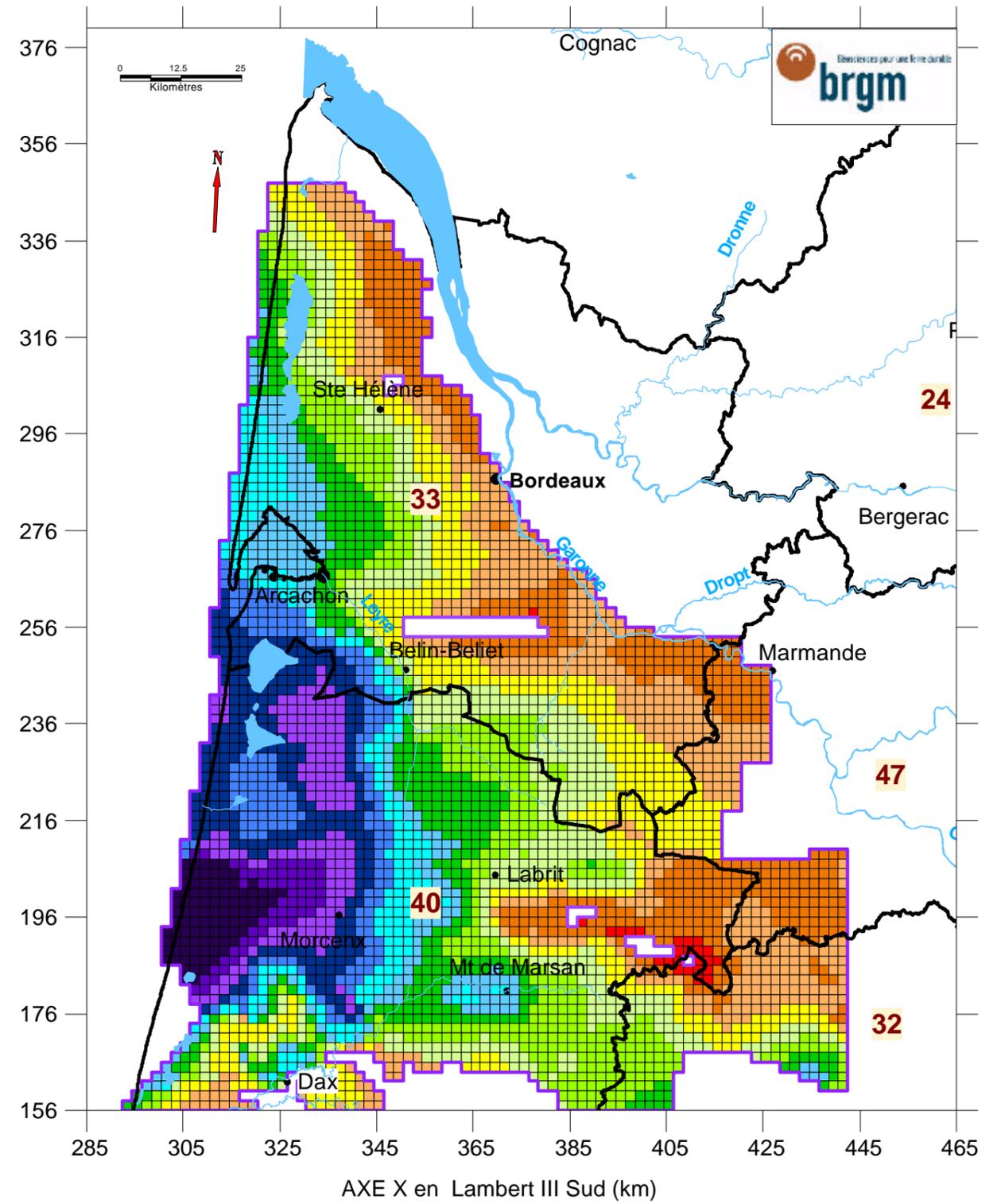


**Toit de l'Oligocène après les réajustements (MONA V31-2000)**



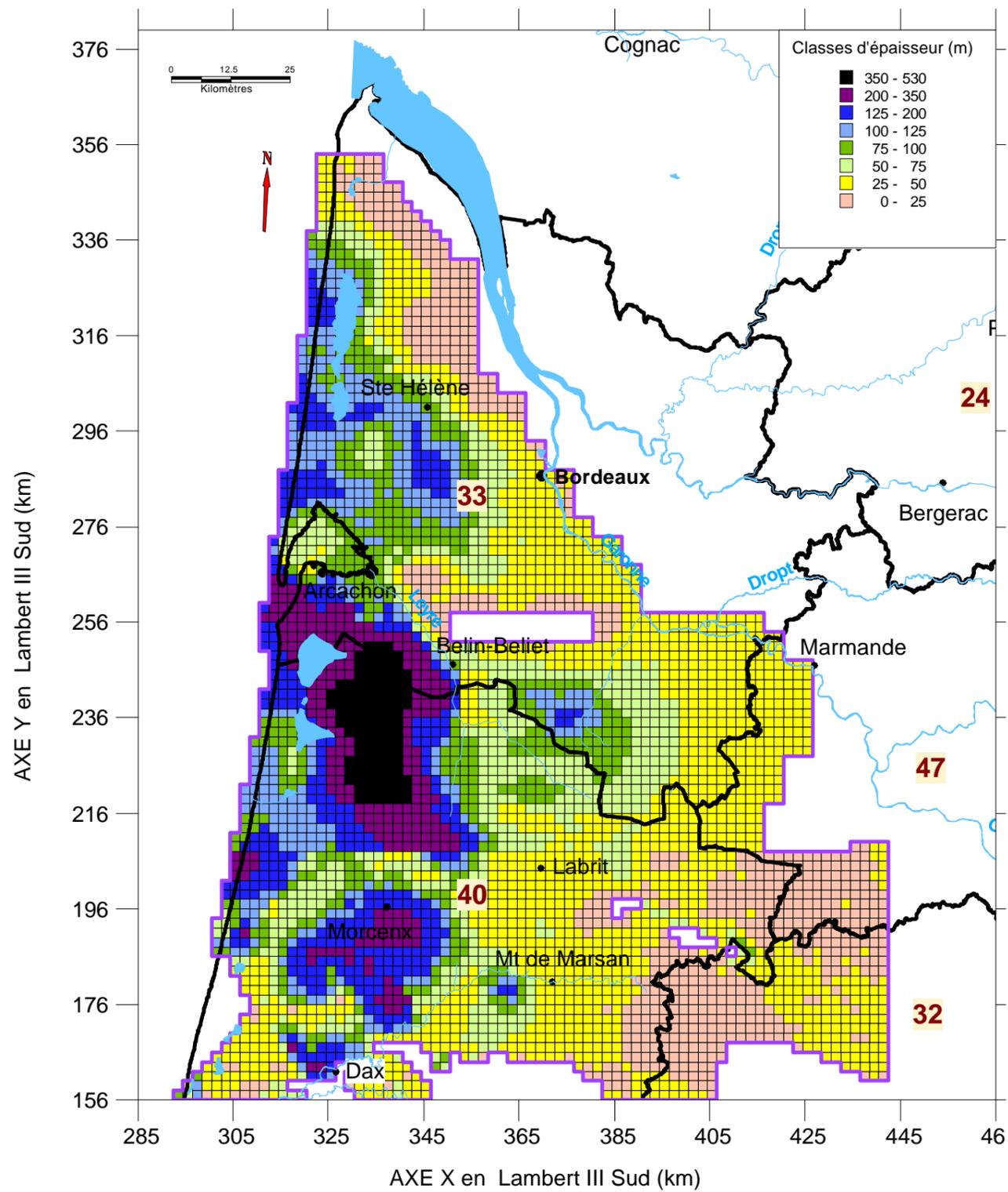


**Mur de l'Oligocène avant les modifications**

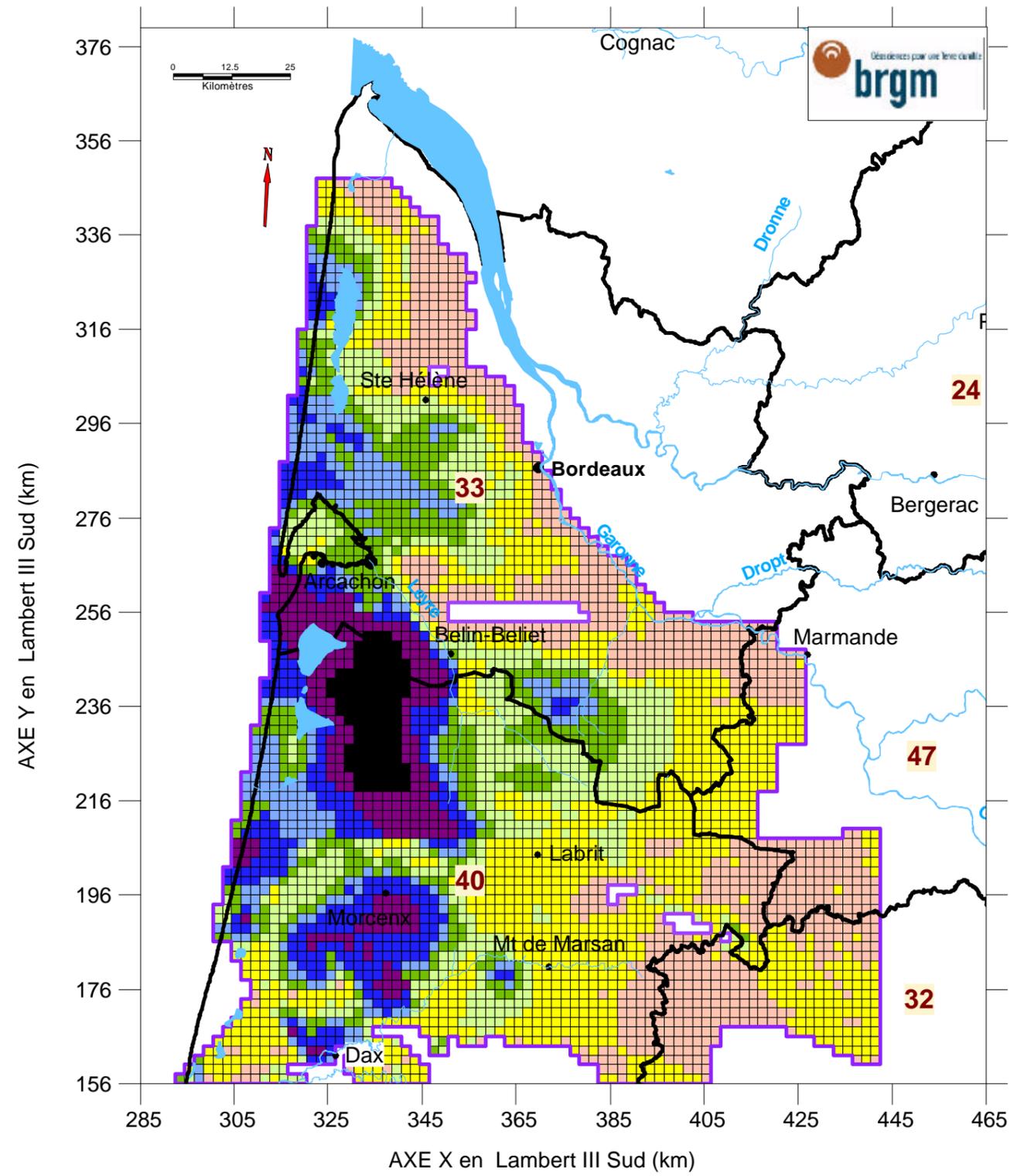


**Mur de l'Oligocène après les réajustements (MONA V31-2000)**





**Epaisseur de l'Oligocène avant les modifications**



**Epaisseur de l'Oligocène après les réajustements (MONA V31-2000)**



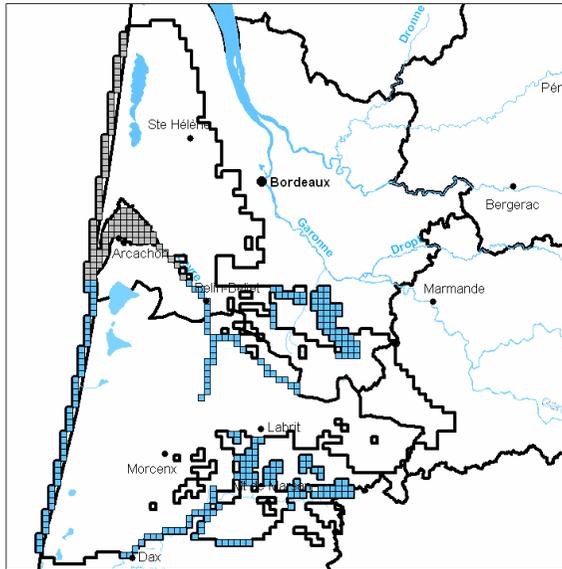
## **Annexe 2**

### Conditions imposées du modèle

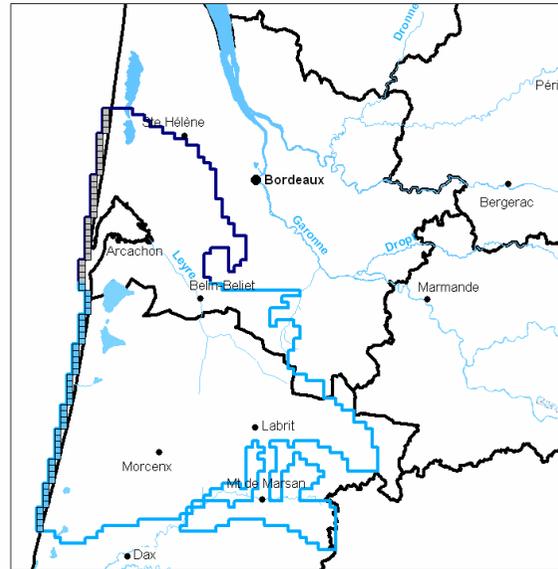
2.1 Limites à potentiels et flux imposés

2.2 Echanges Nappe-Estuaire

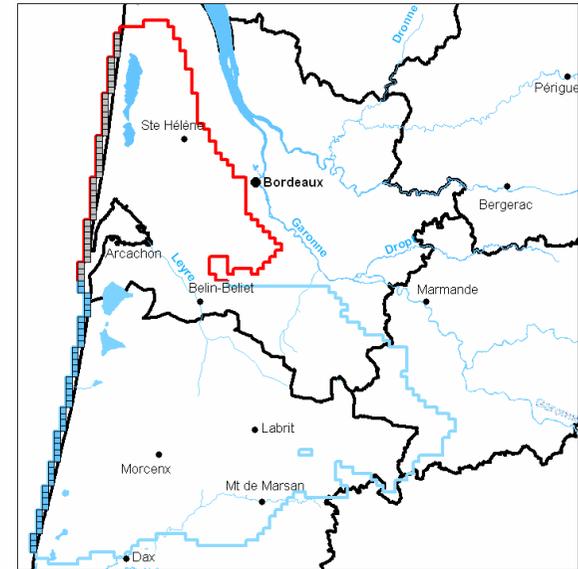




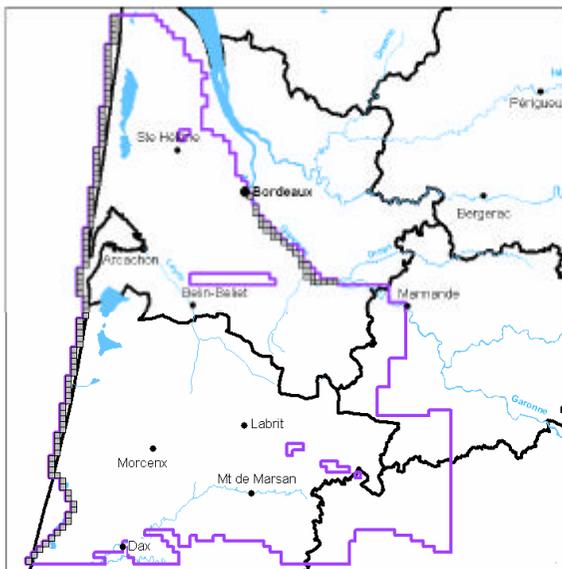
Nappe du Plio-quaternaire



Nappe de l'Helvétien



Nappe de l'Aquitainien-Burdigalien



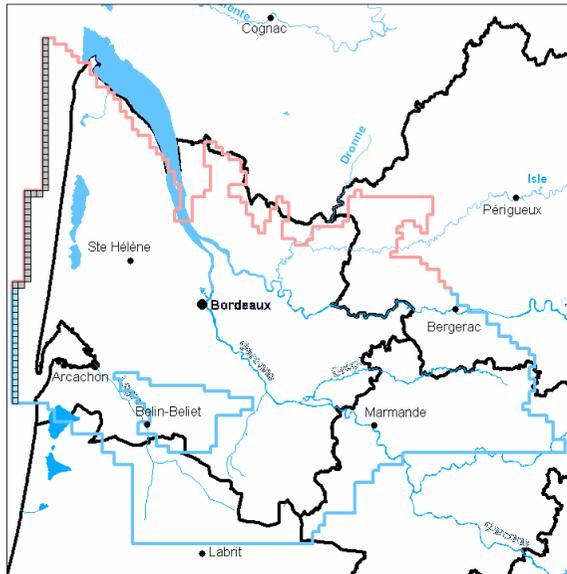
Nappe de l'Oligocène

**Légende**

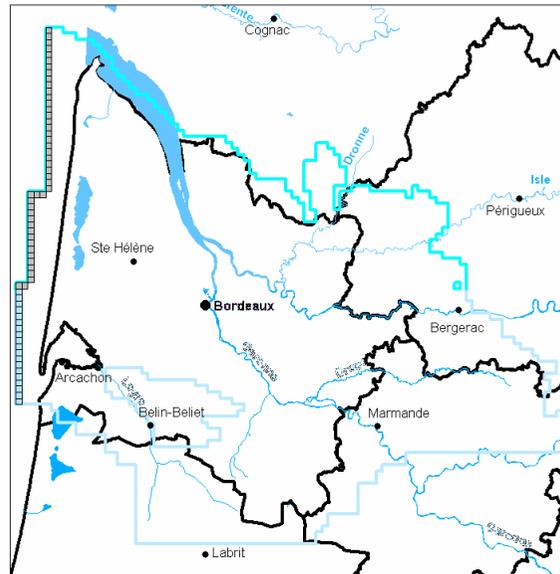
▣ Limite à potentiel imposé



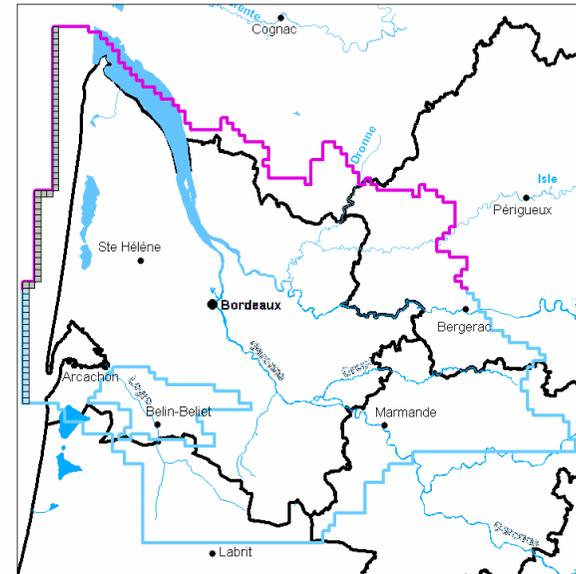
**Localisation des limites  
 à potentiels imposés dans les couches  
 supérieures du modèle Nord-Aquitain  
 (MONA V3.1)**



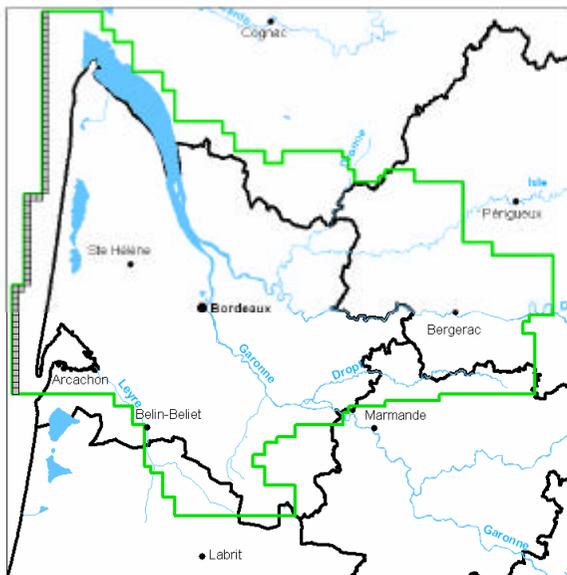
Nappe de l'Eocène supérieur



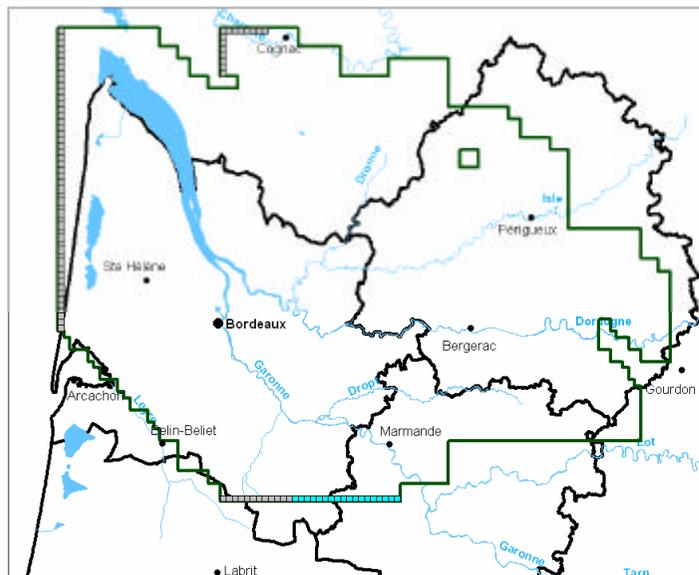
Nappe de l'Eocène moyen



Nappe de l'Eocène inférieur



Nappe du Campano-Maastrichtien



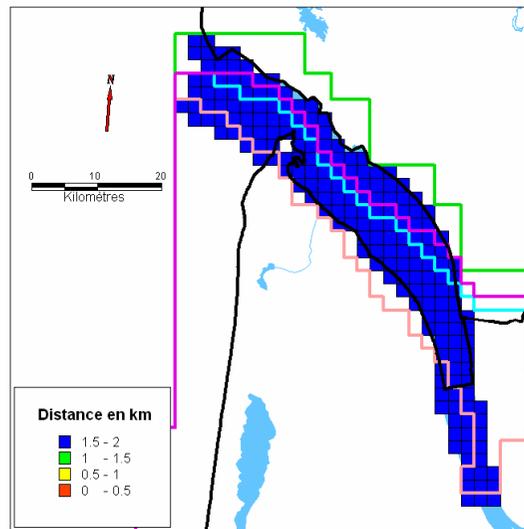
Nappe du Turonien-Coniacien-Santonien

**Légende**

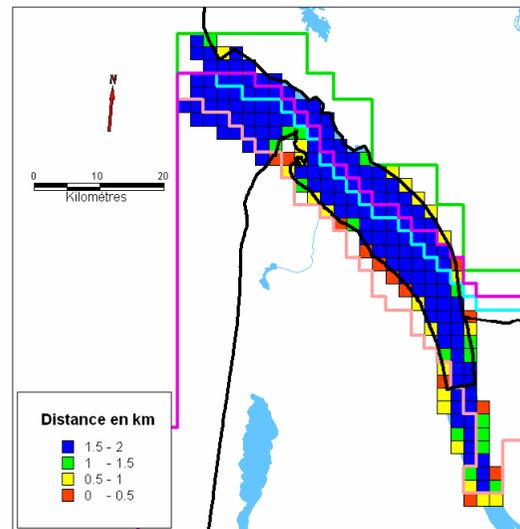
- Limite à potentiel imposé
- Limite à flux imposé sortant (Nappe du Turonien-Coniacien-Santonien uniquement)



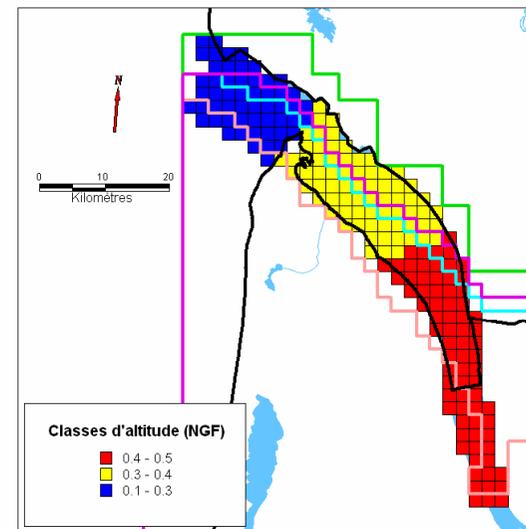
**Localisation des limites à potentiels et flux imposés dans les couches inférieures du modèle Nord-Aquitain (MONA V3.1)**



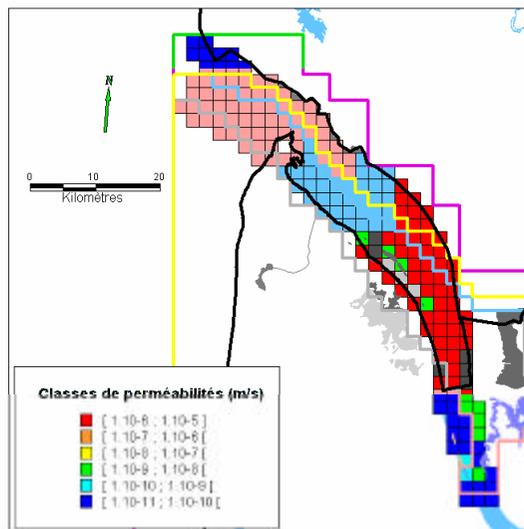
Longueur du tronçon



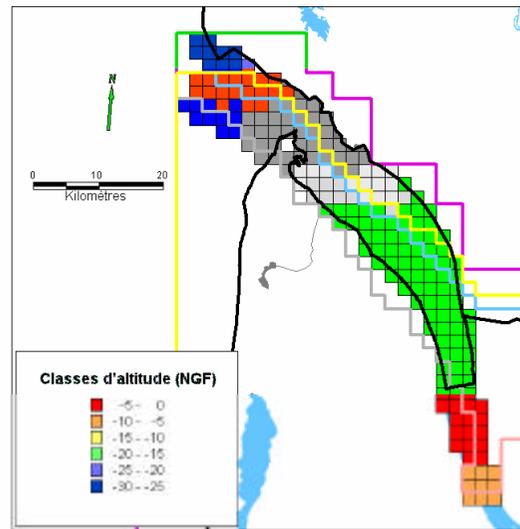
Largeur du tronçon



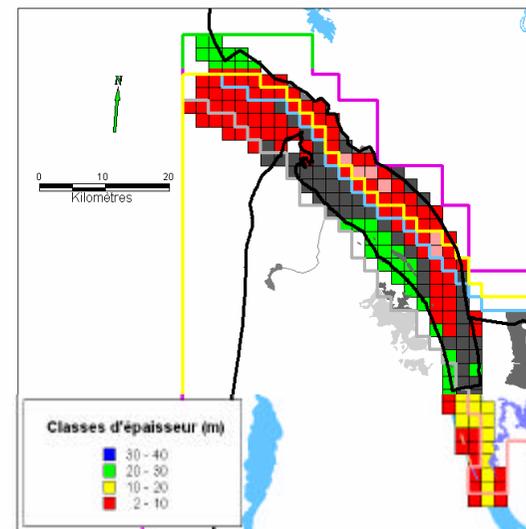
Cote du plan d'eau



Perméabilité du lit



Cote du fond de l'estuaire



Epaisseur de colmatage du lit

**Légende**

**Limites du Modèle Nord-Aquitain**

- Eocène supérieur
- Eocène moyen
- Eocène inférieur
- Campano-Maastrichtien

**Paramètres pris en compte pour les conditions d'échange  
 Nappe-Estuaire**

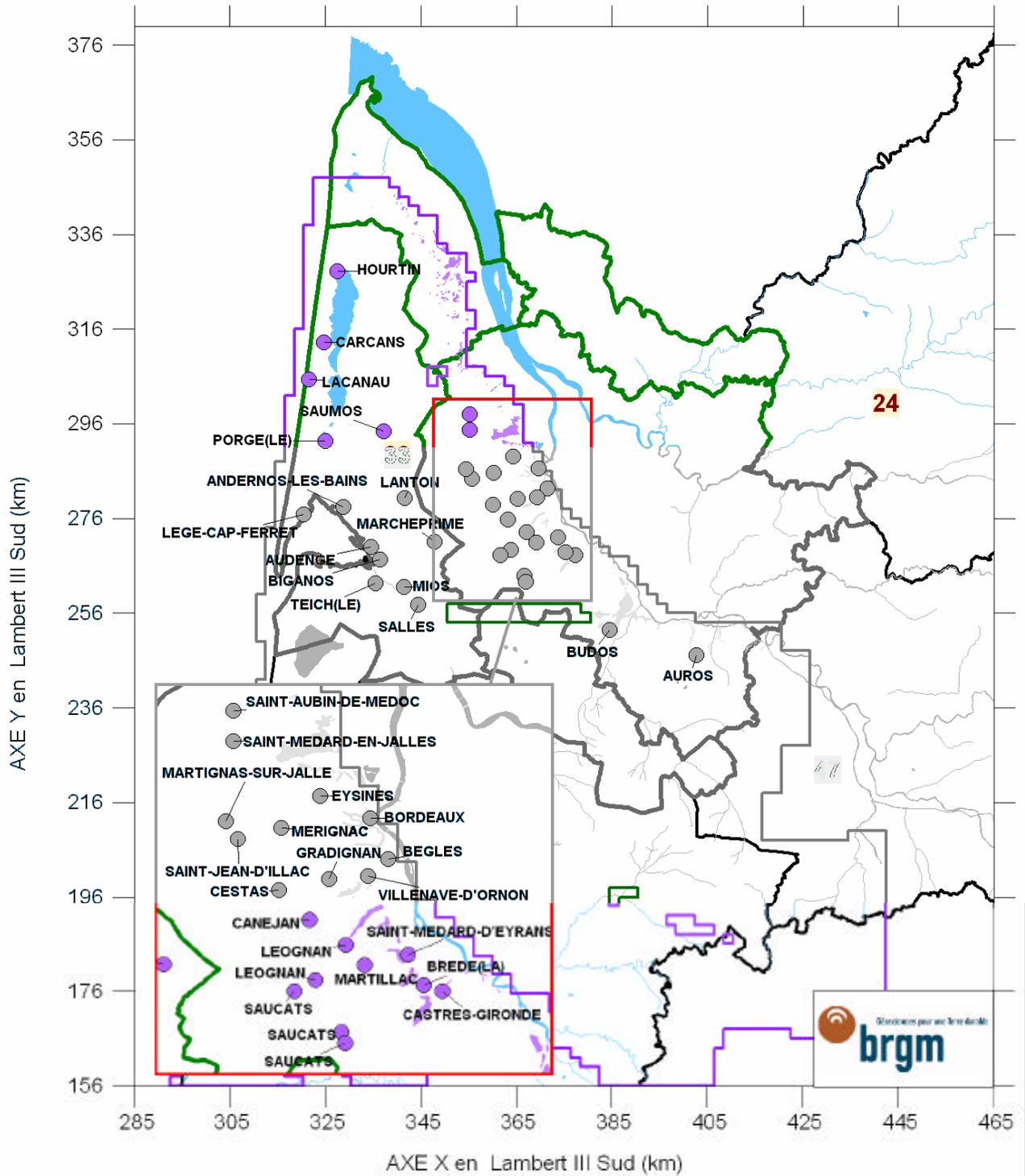




## **Annexe 3**

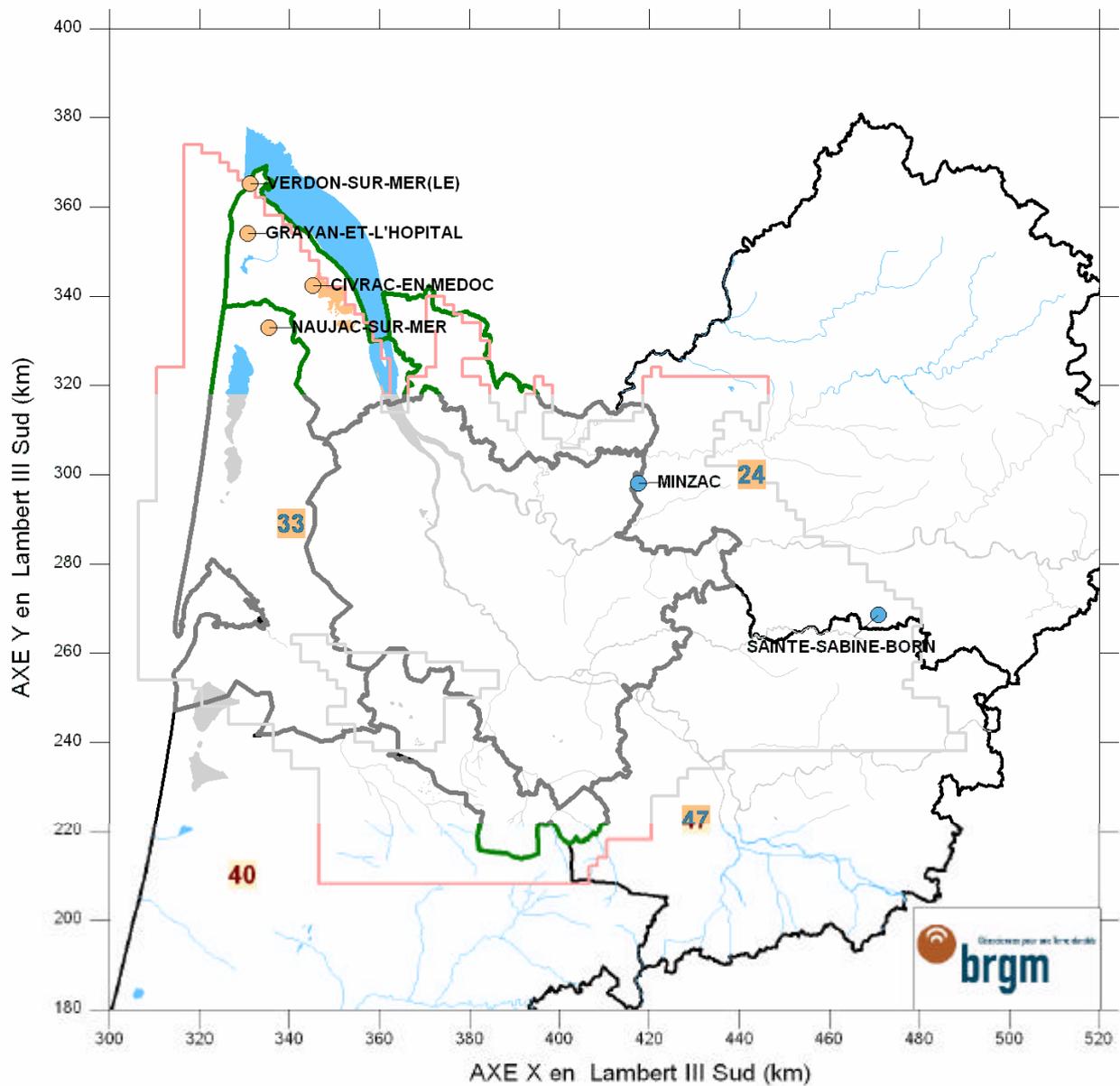
### Cartes de localisation des chroniques piézométriques de calage





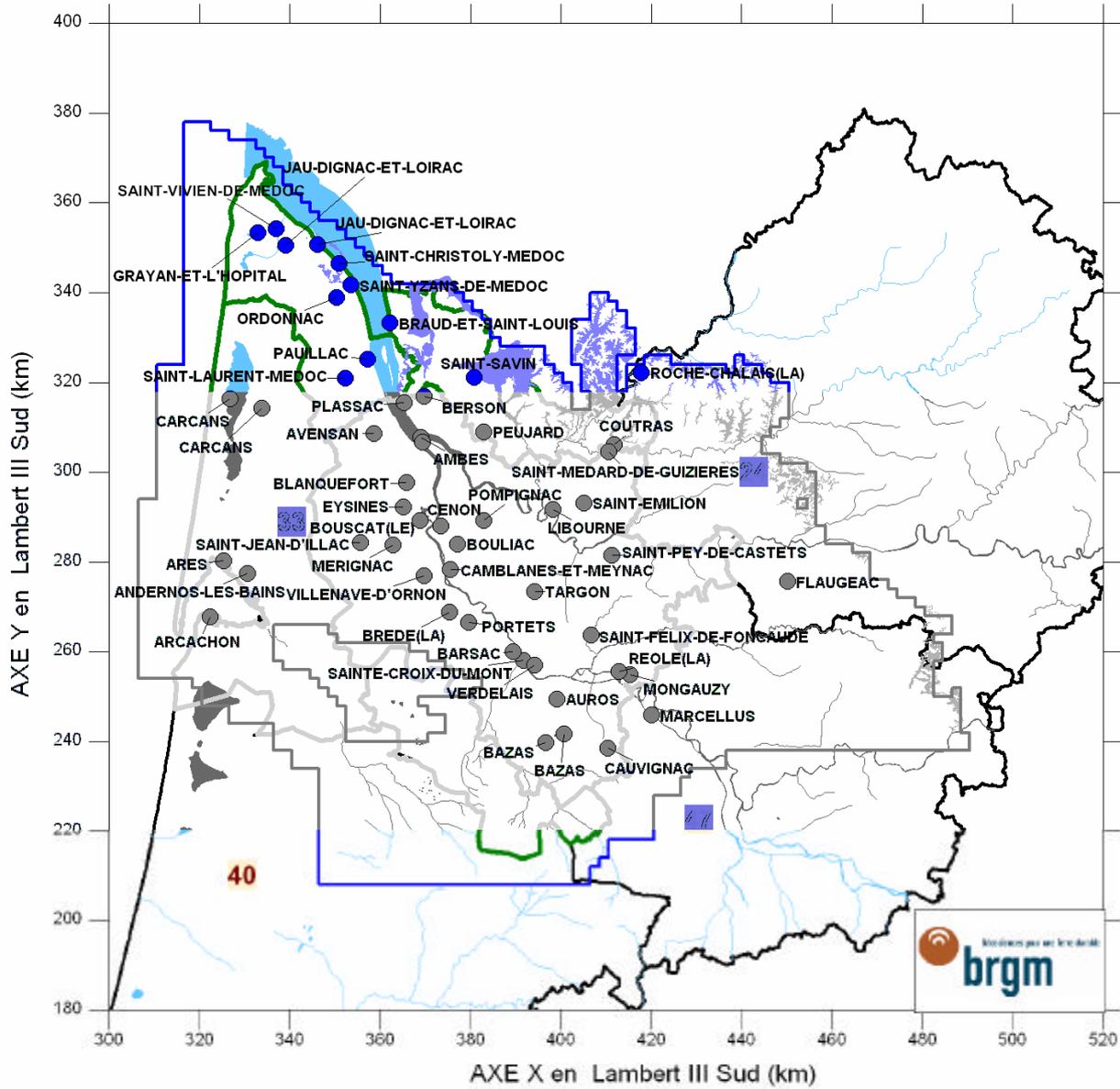
Unités de gestion (UG) du SAGE Nappes Profondes de Gironde

**Localisation des chroniques piézométriques de calage de l'Oligocène**



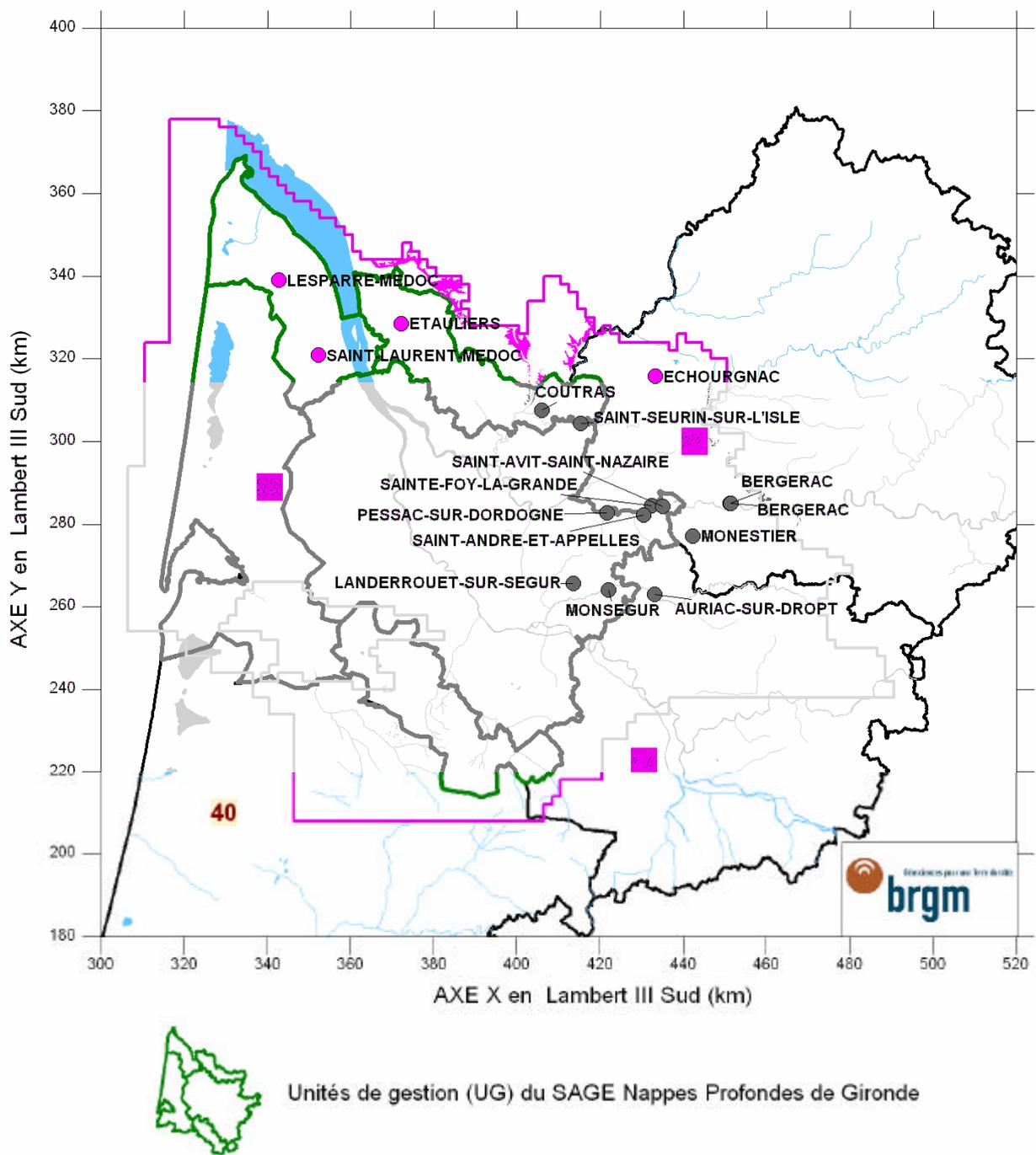
Unités de gestion (UG) du SAGE Nappes Profondes de Gironde

**Localisation des chroniques piézométriques de calage de l'Eocène supérieur**



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

**Localisation des chroniques piézométriques de calage de l'Eocène moyen**



**Localisation des chroniques piézométriques de calage de l'Eocène inférieur**

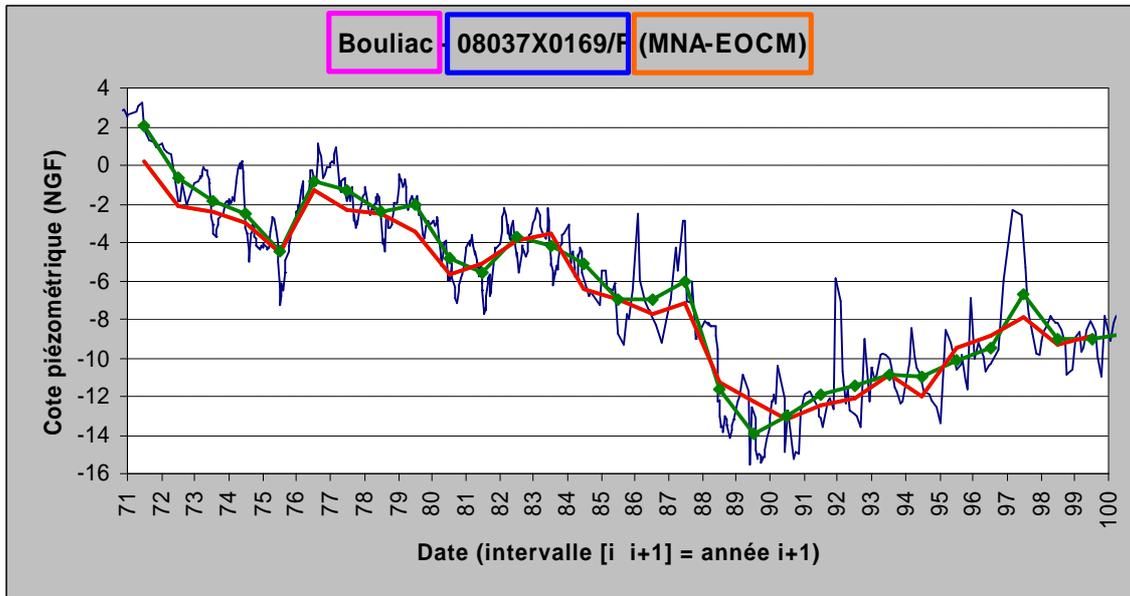
## **Annexe 4**

### Chroniques de calage

- 4.1 Nappe de l'Oligocène
- 4.2 Nappe de l'Eocène supérieur
- 4.3 Nappe de l'Eocène moyen
- 4.4 Nappe de l'Eocène inférieur



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 1972-2000 par la version actuelle du **MO**dèle Nord-Aquitain (MONA V3.1-**2000**)

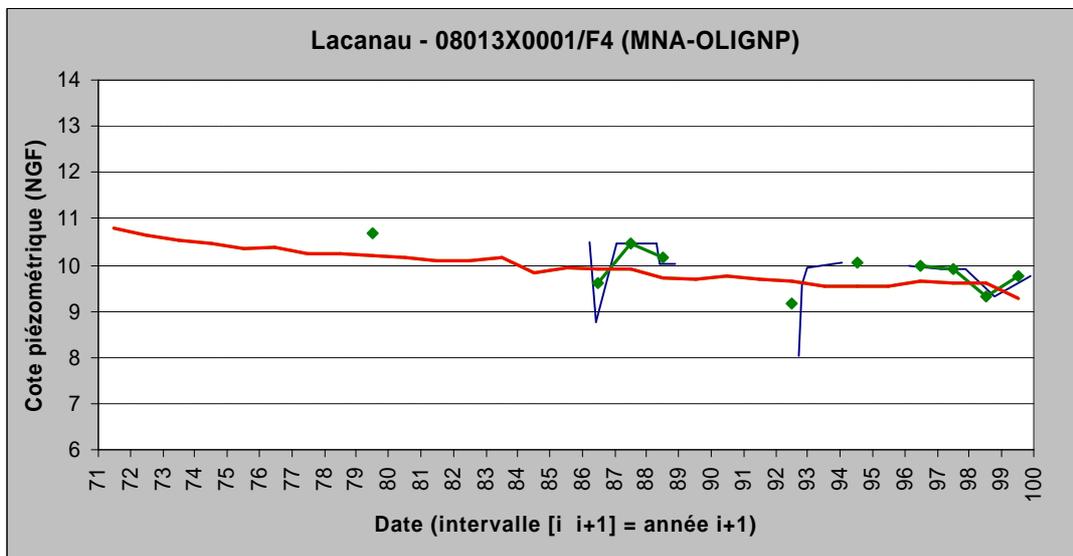
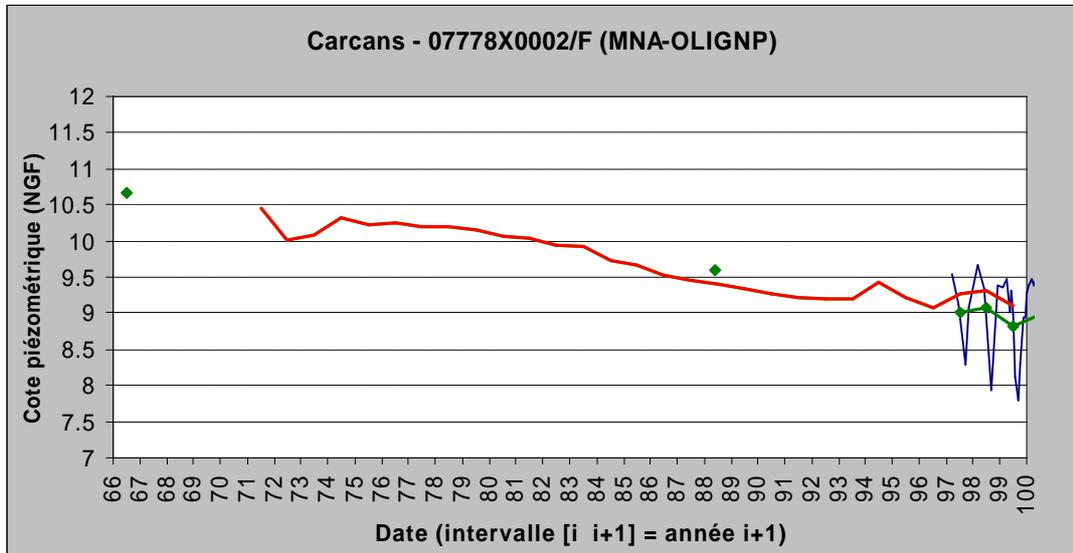
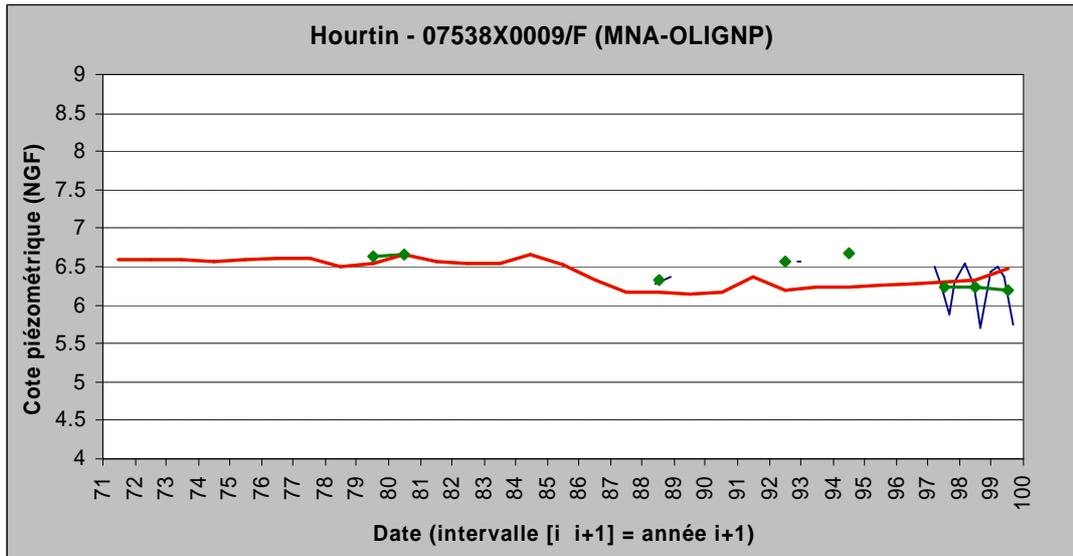


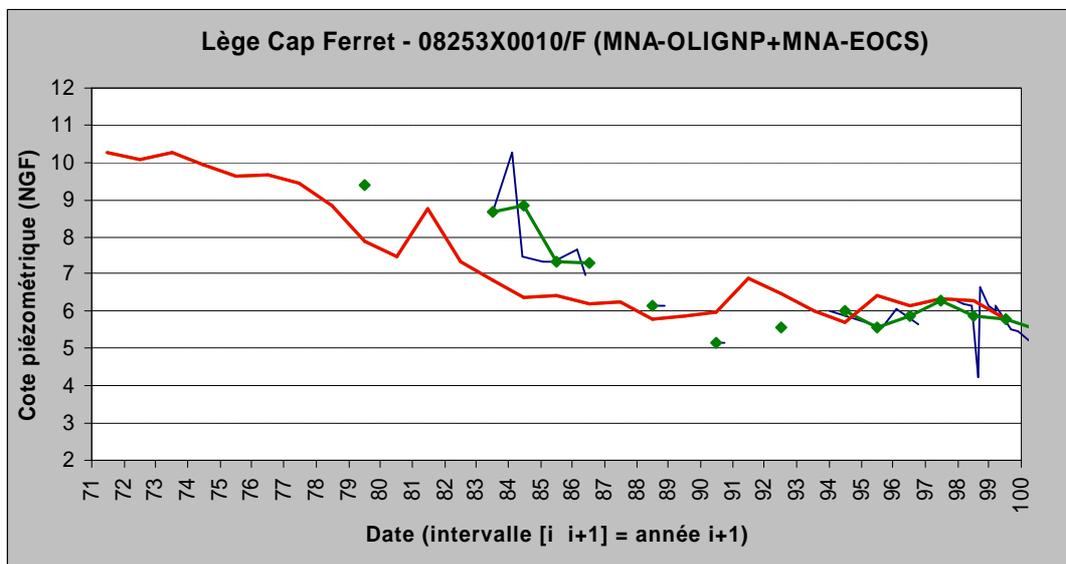
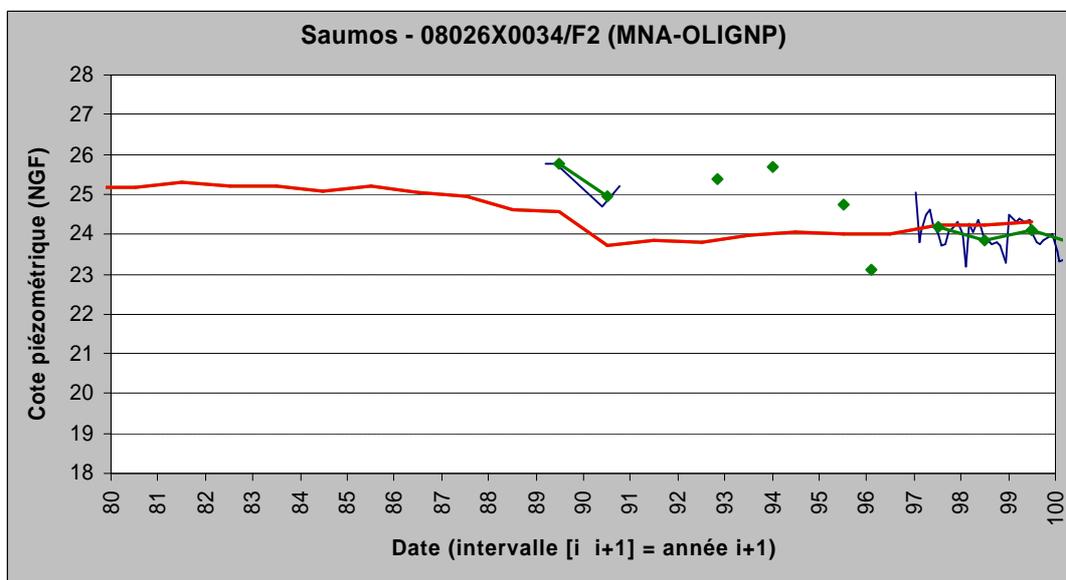
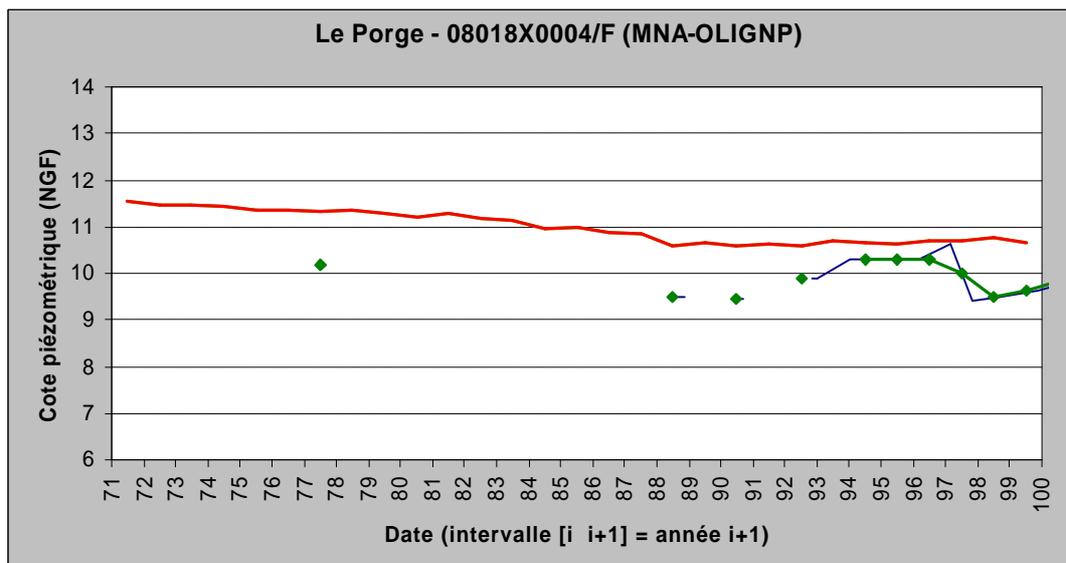
# **Nappe de l'Oligocène**

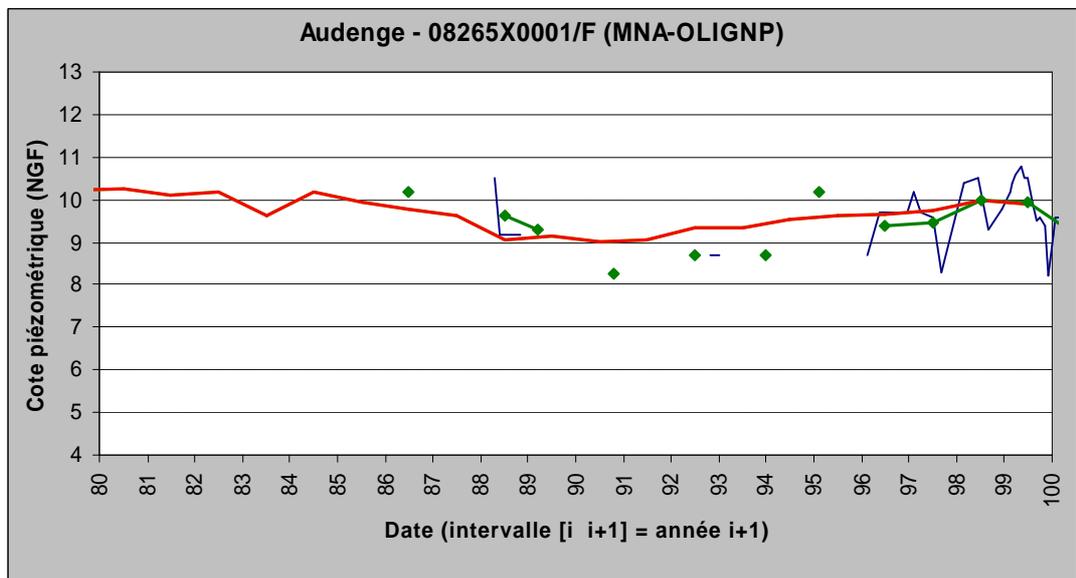
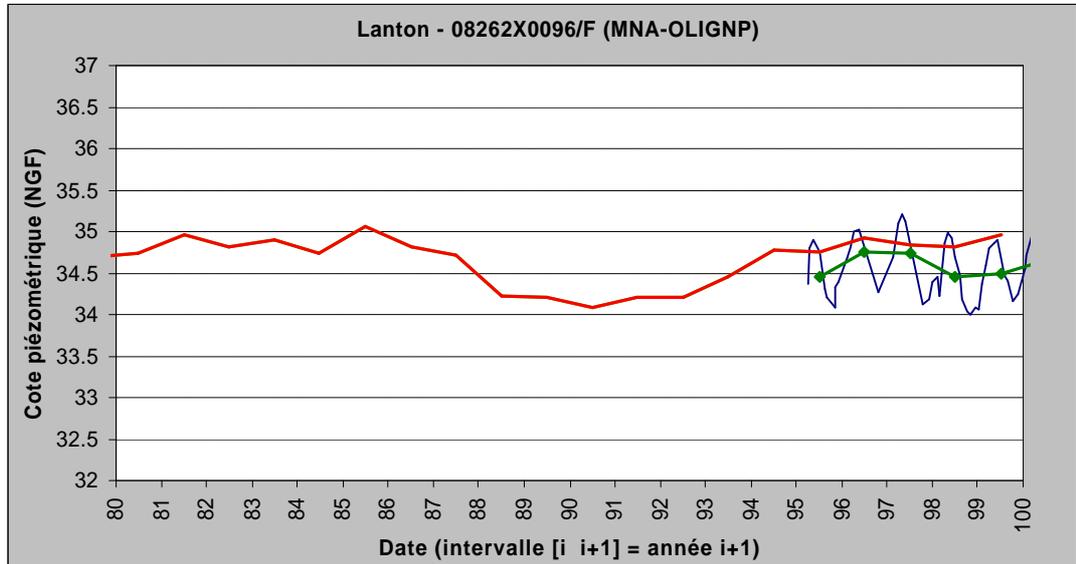
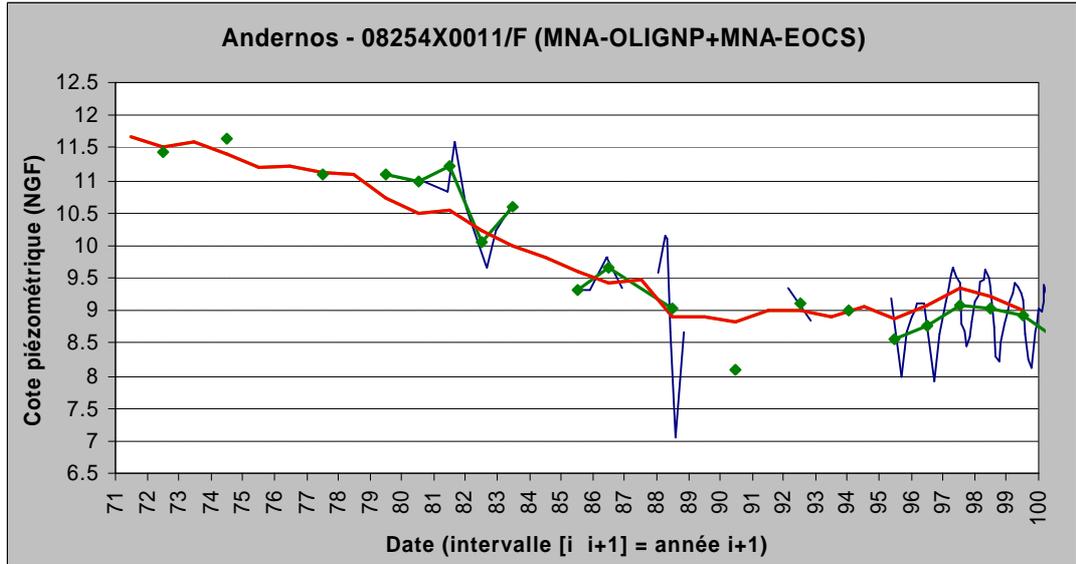
## **MNA-OLIGNP**

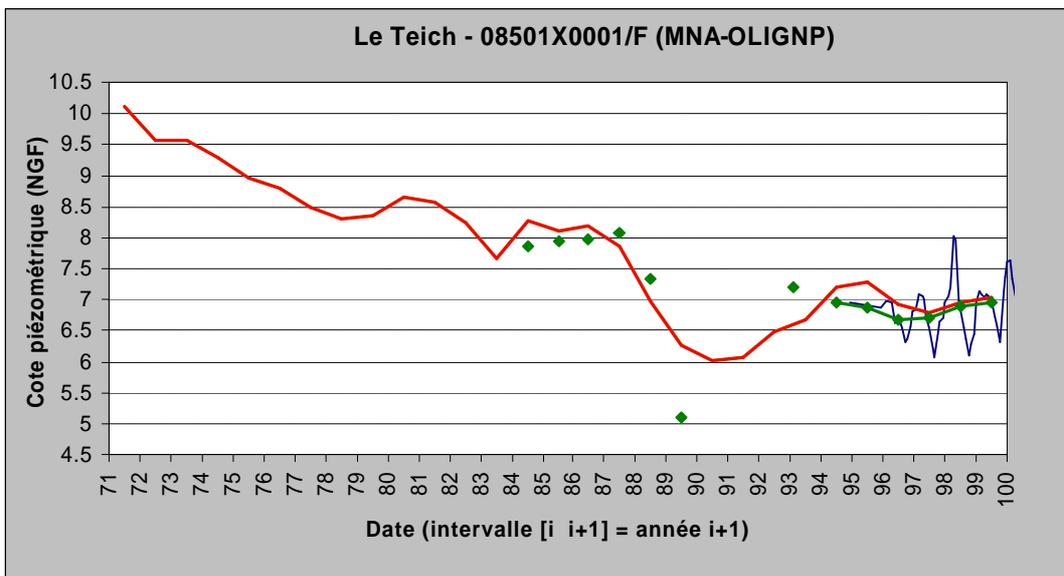
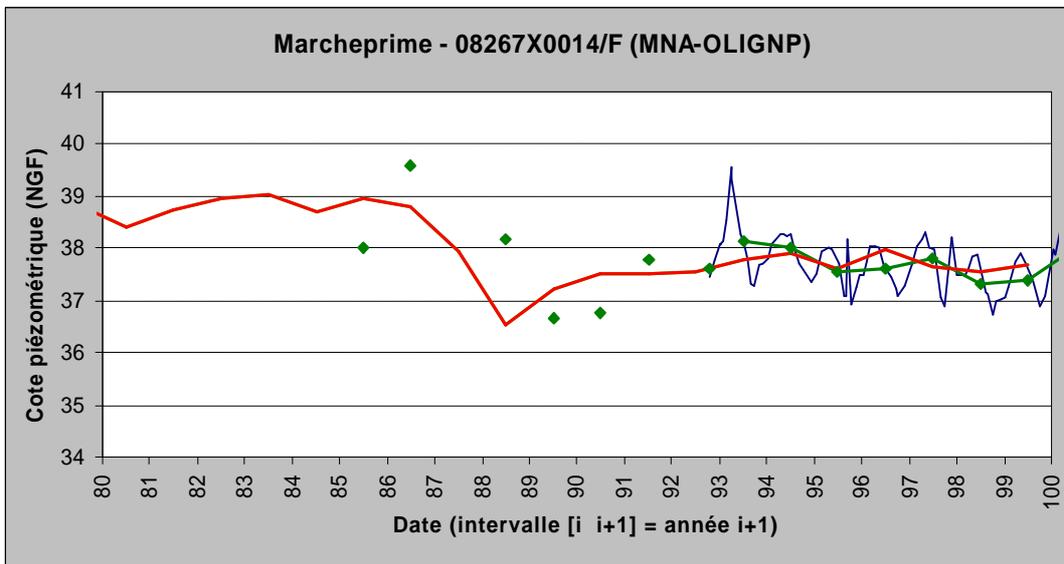
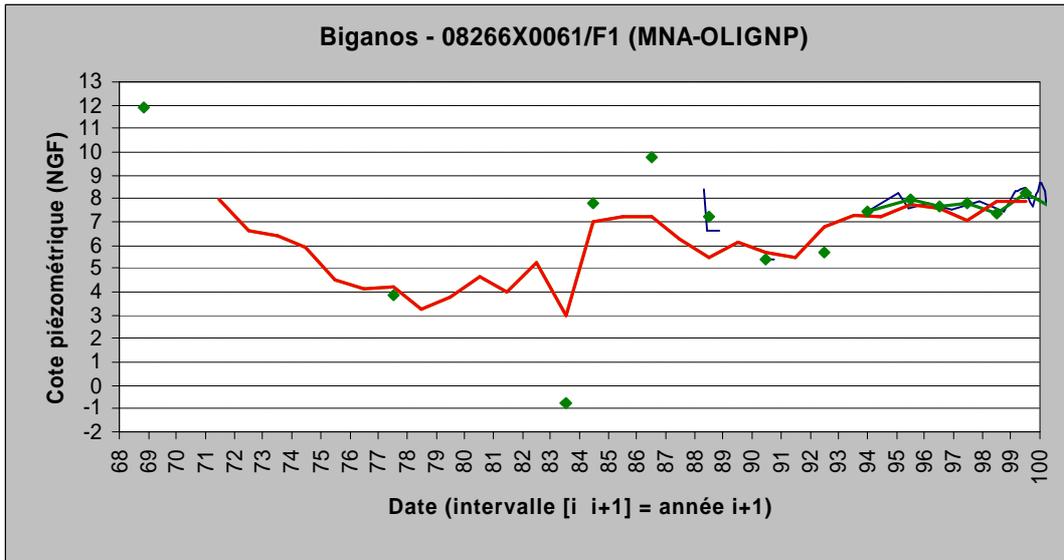


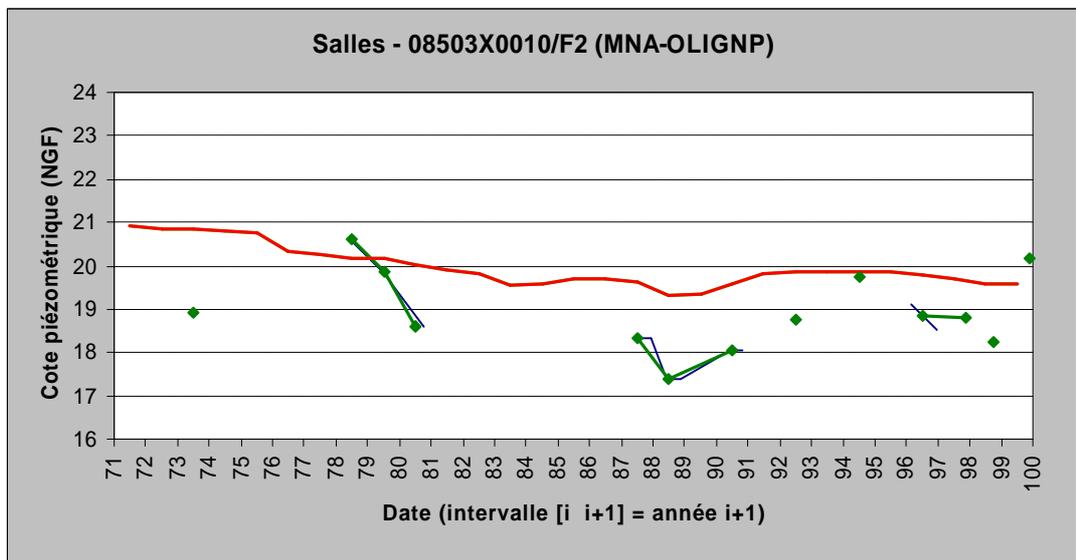
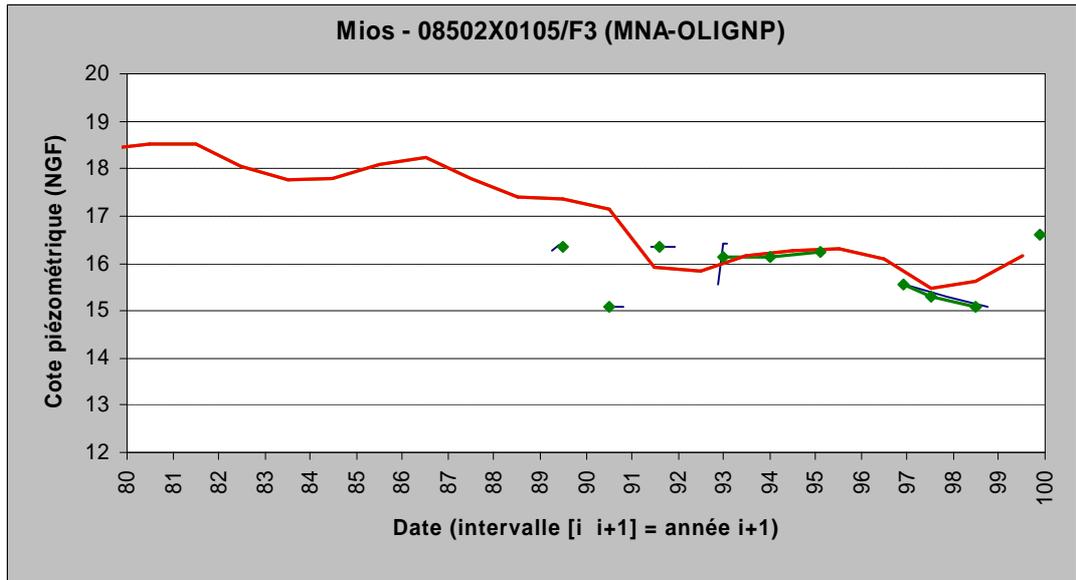
**GIRONDE (33) (UG\_LITTORAL)**



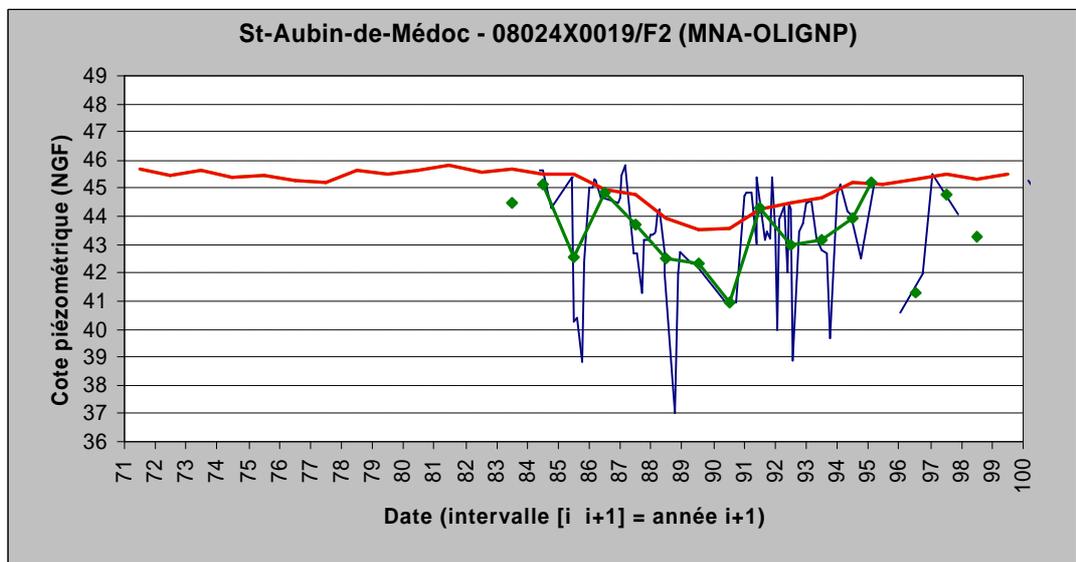


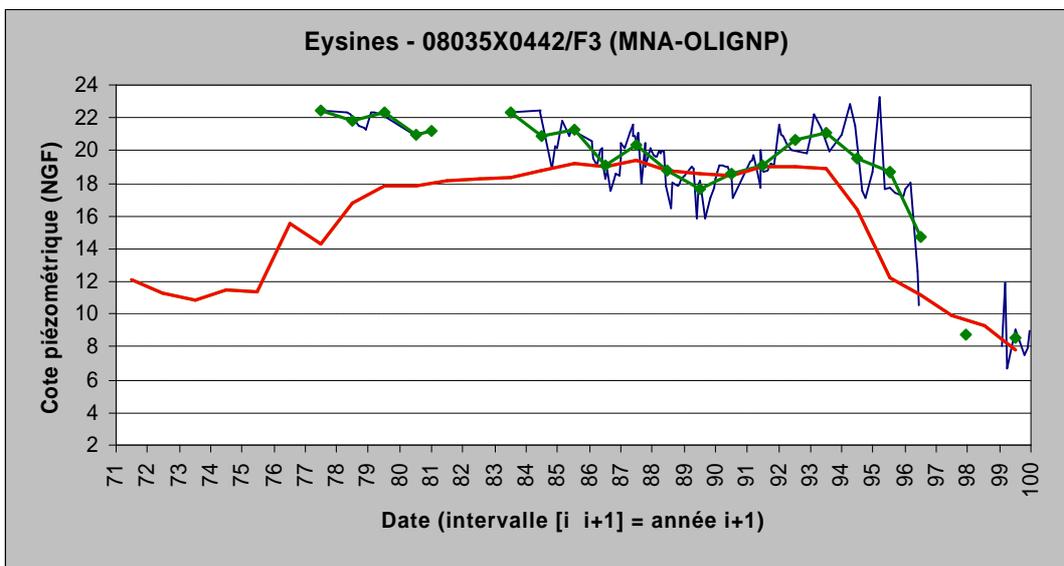
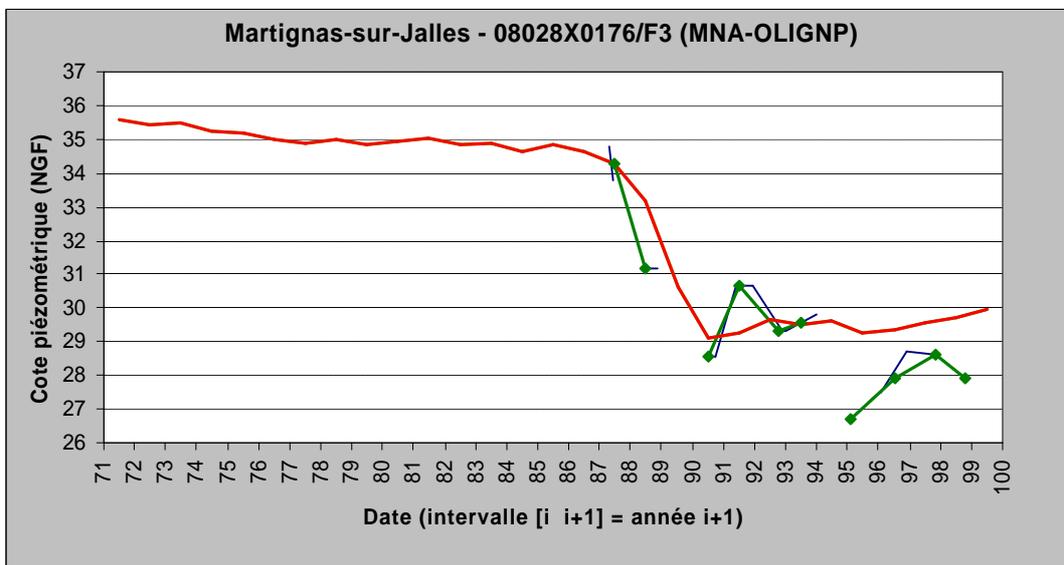
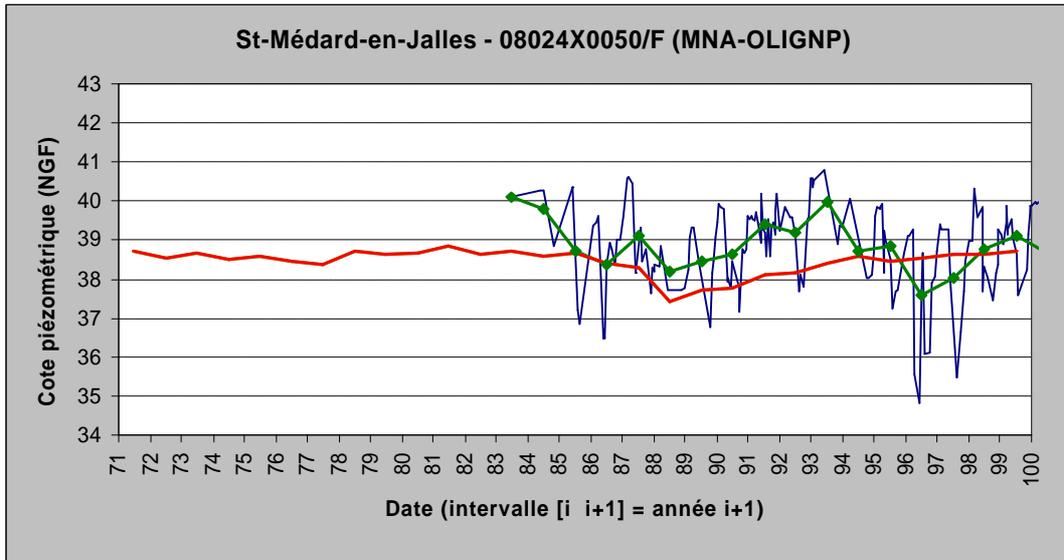


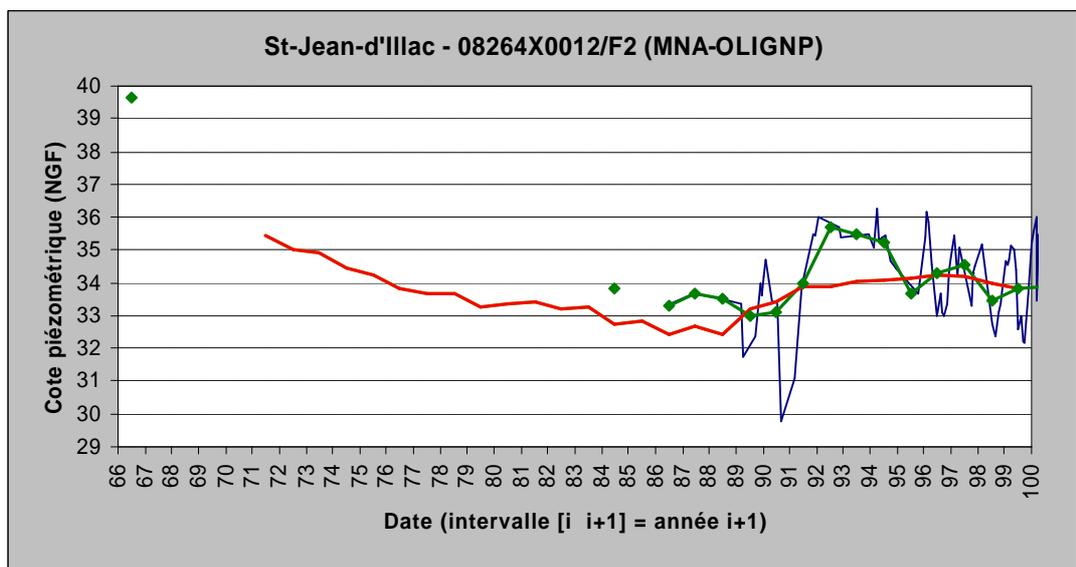
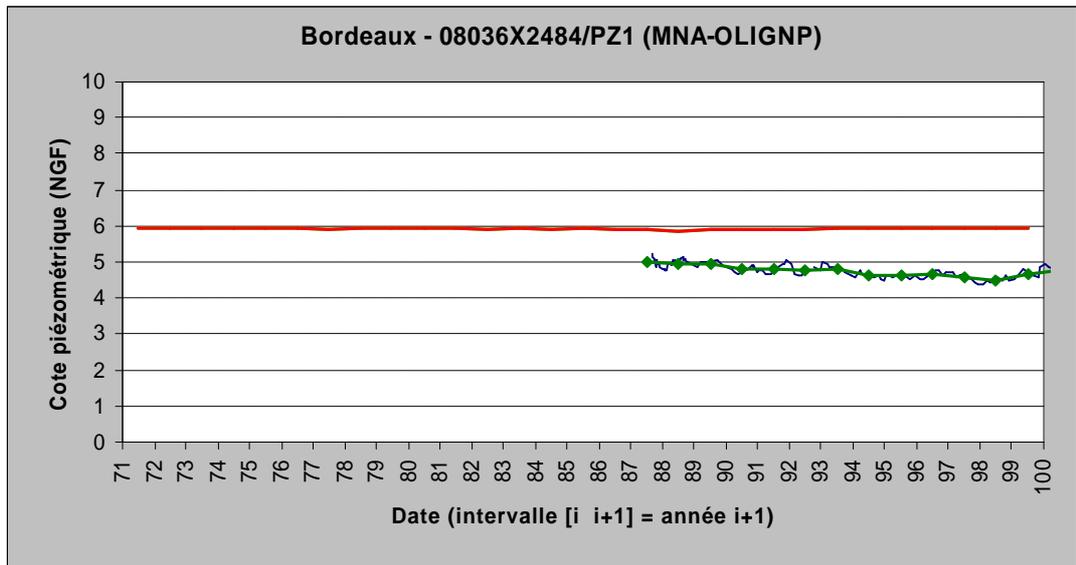
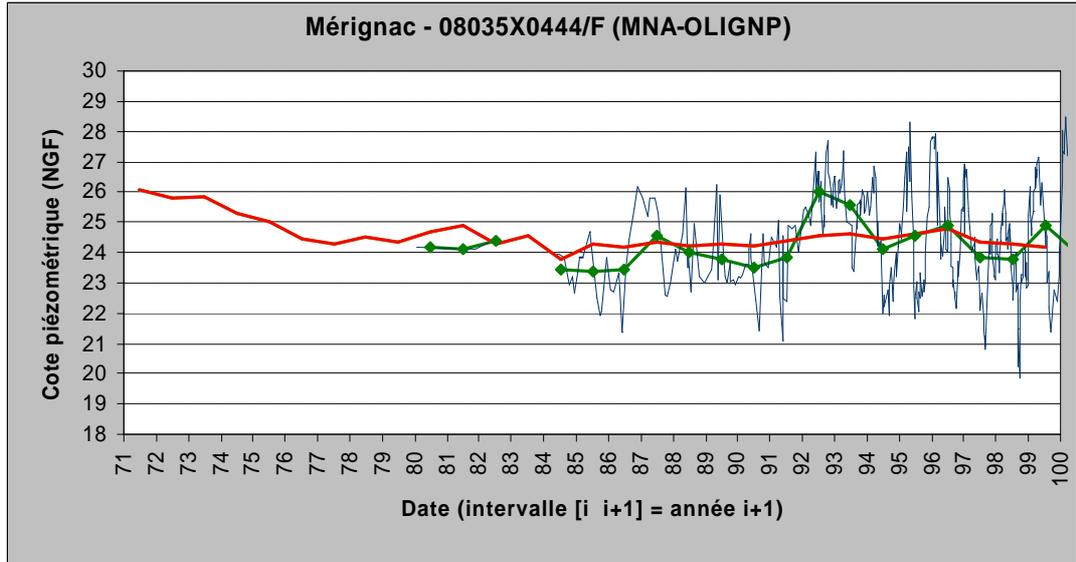


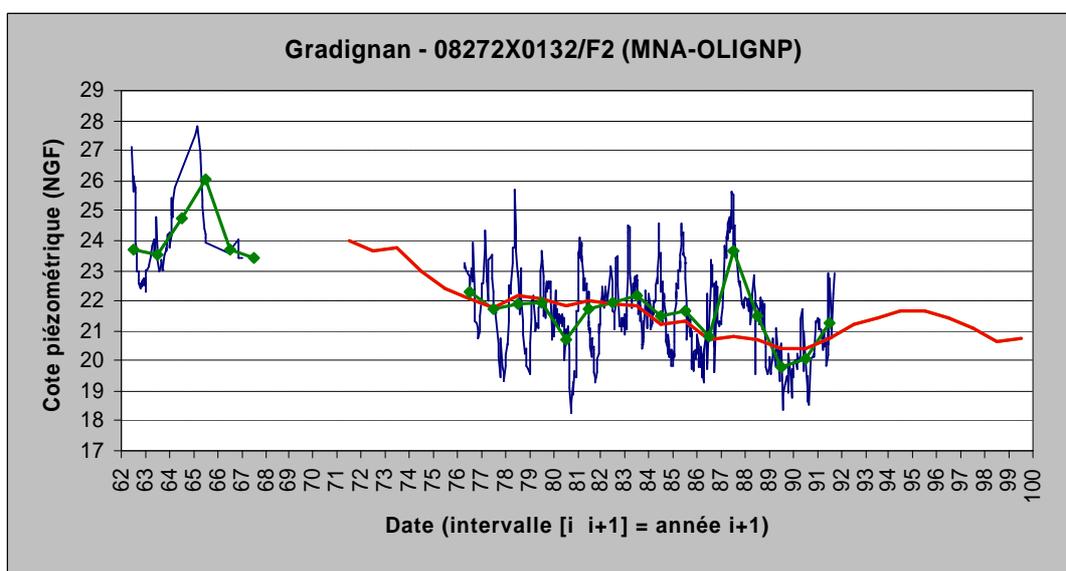
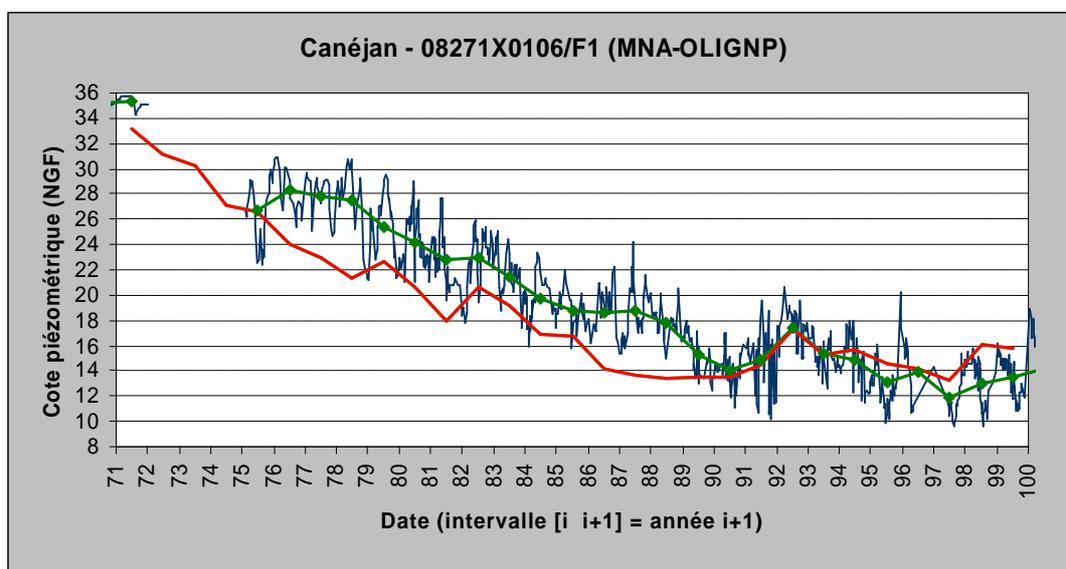
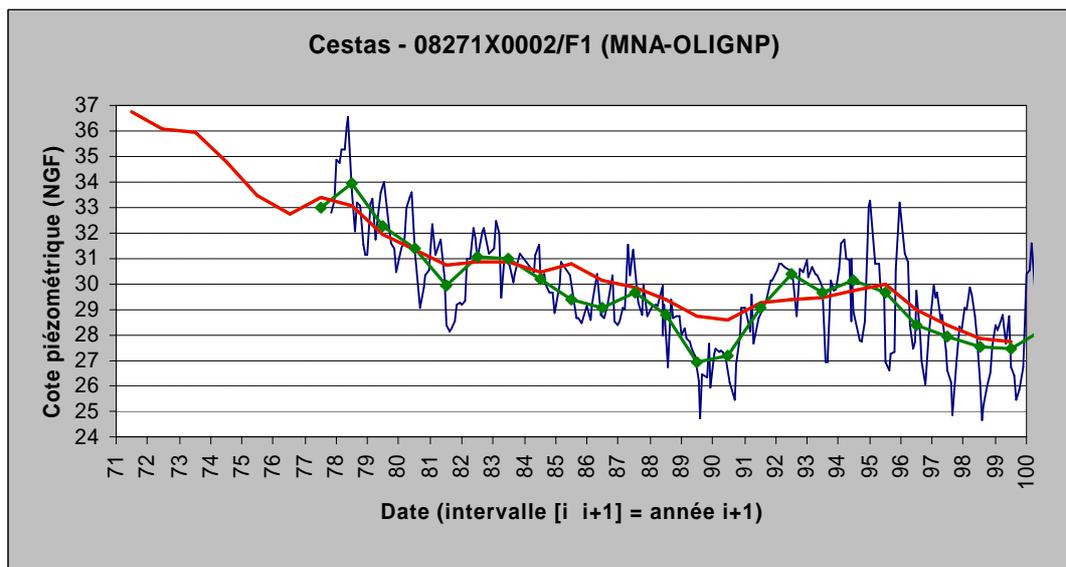


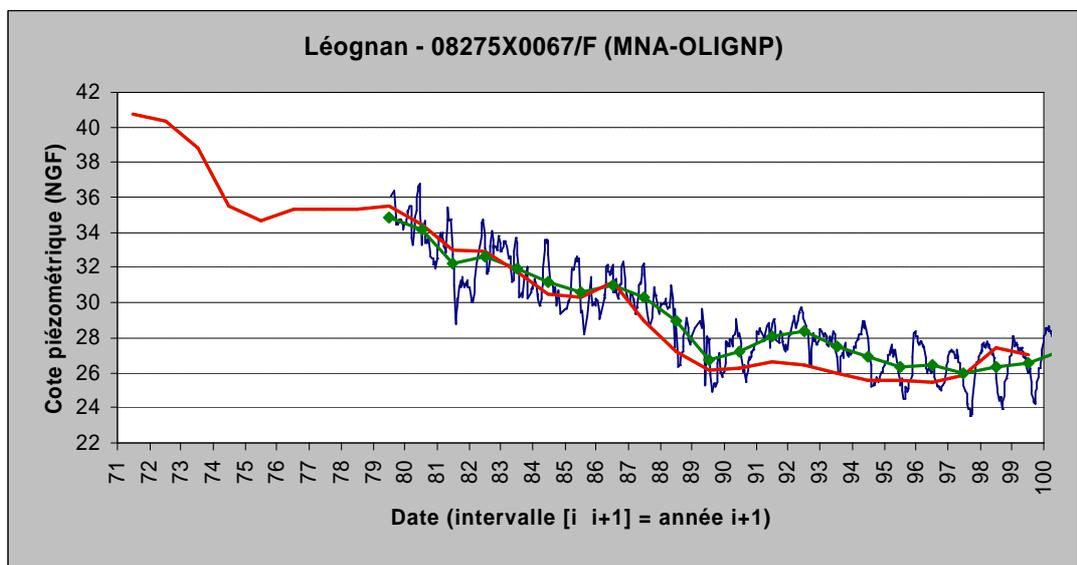
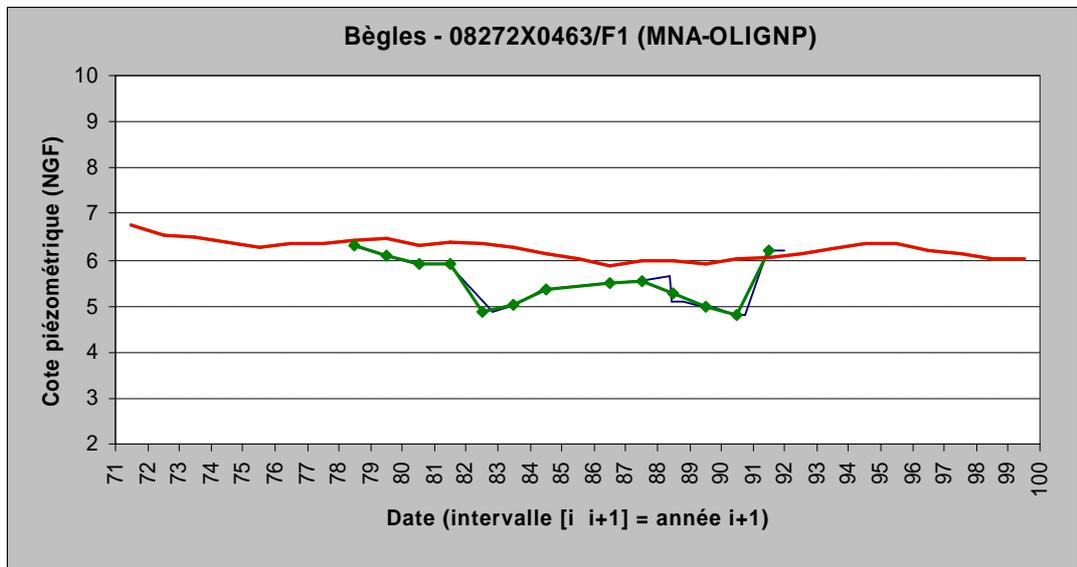
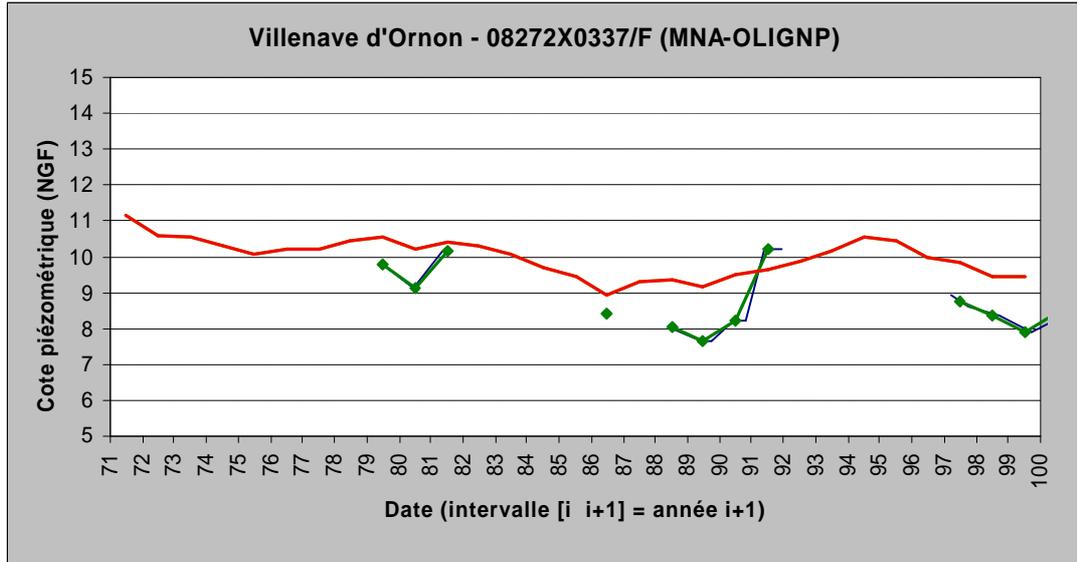
**GIRONDE (33) (UG\_CENTRE)**

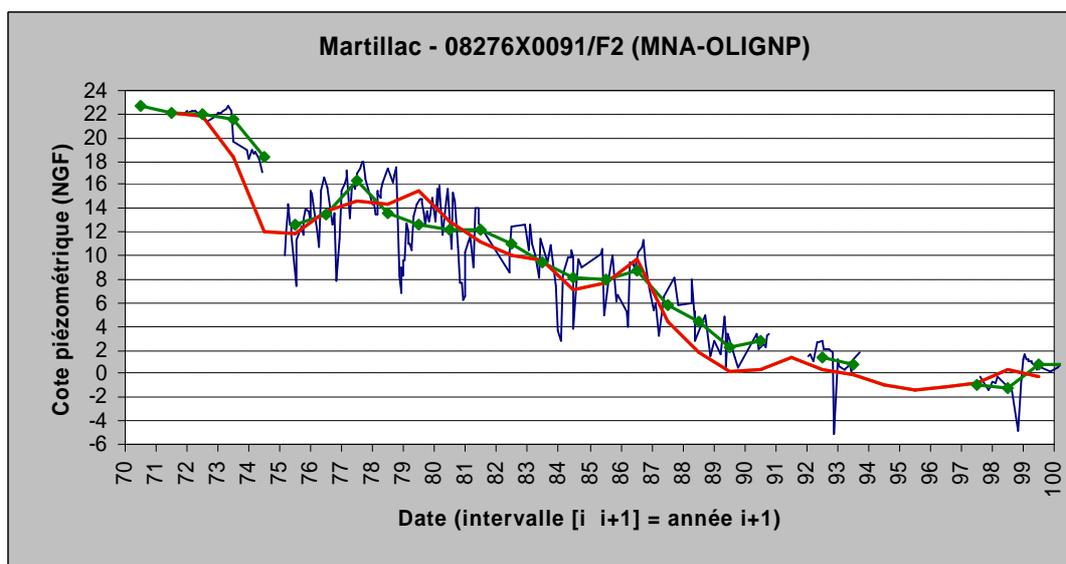
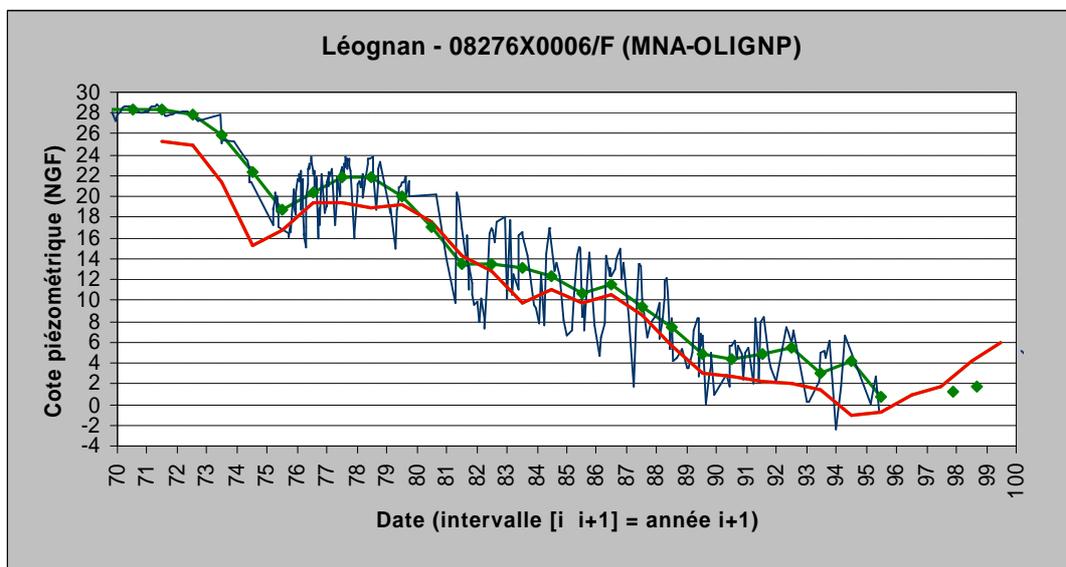
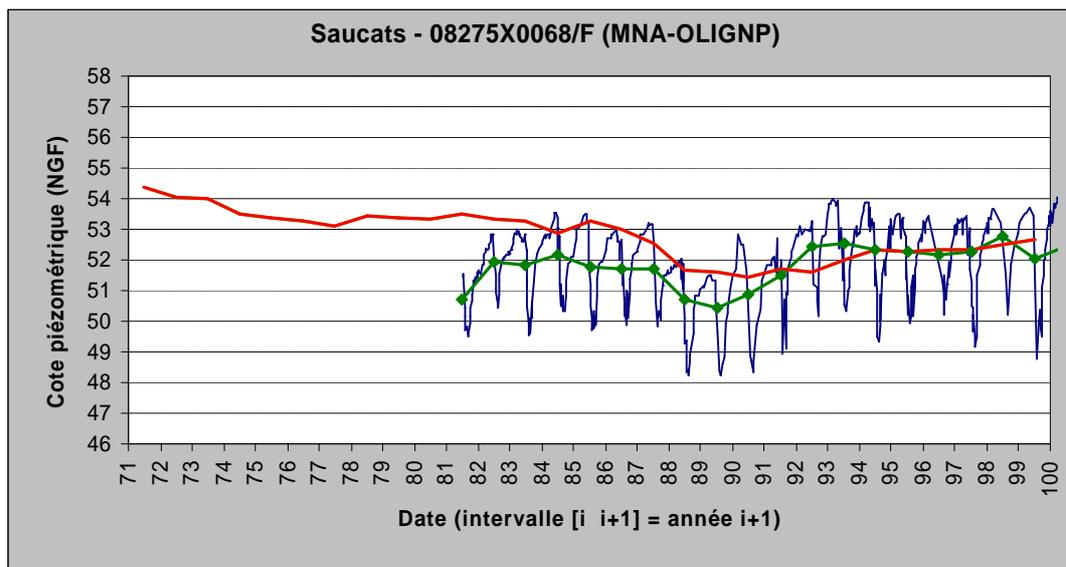


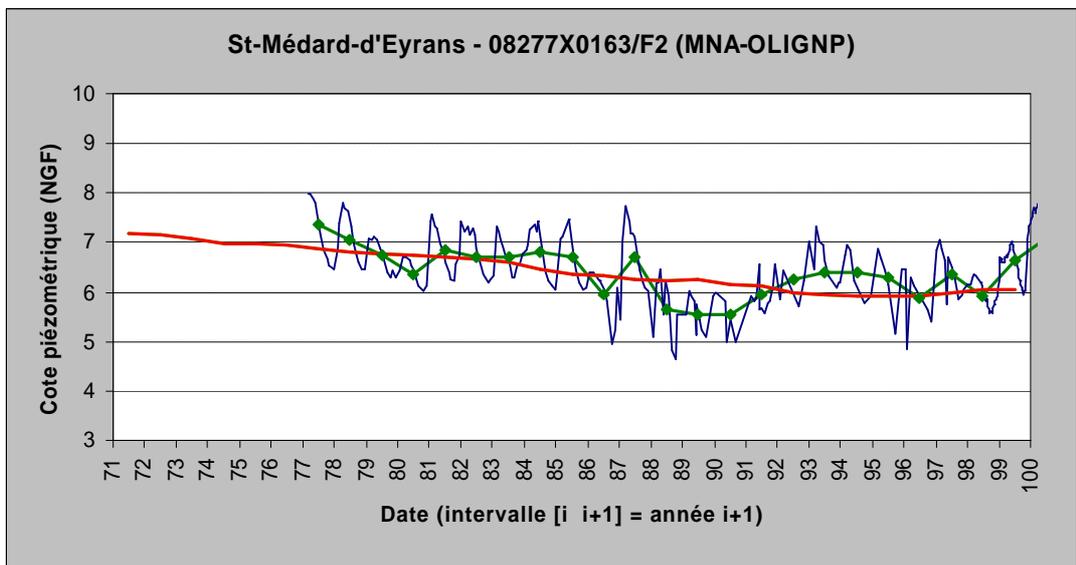
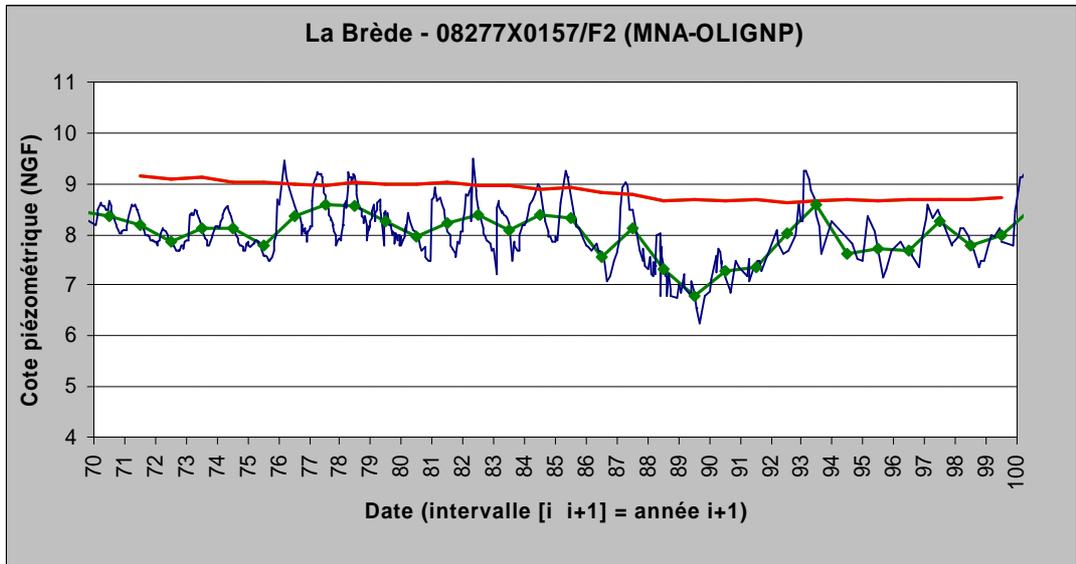
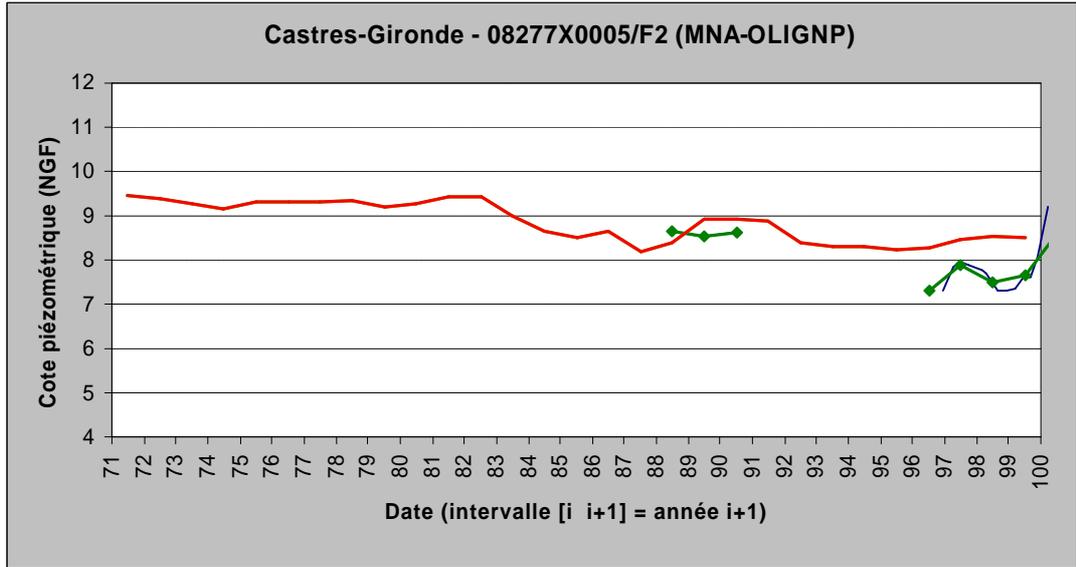


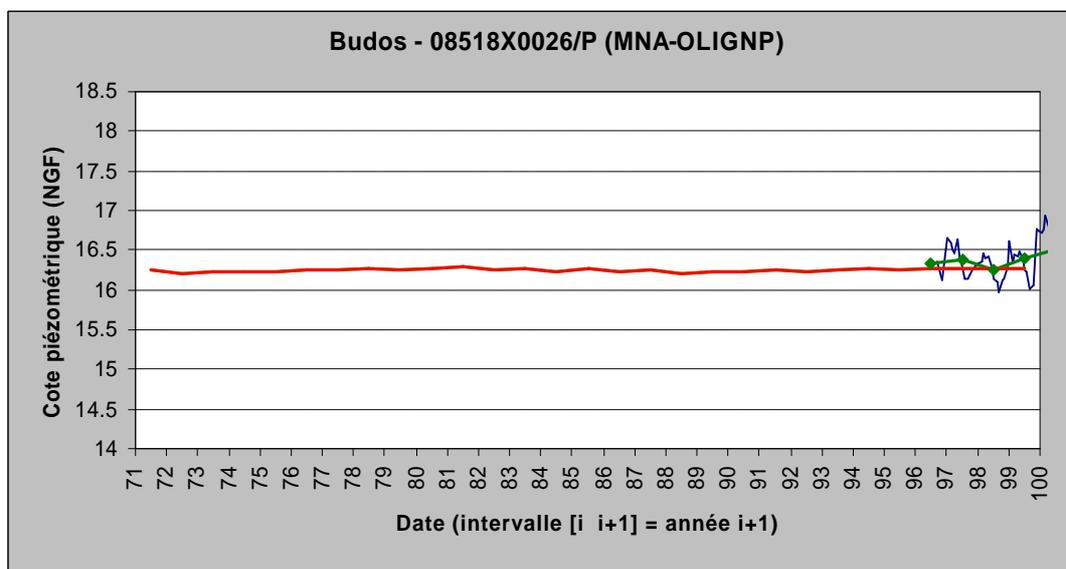
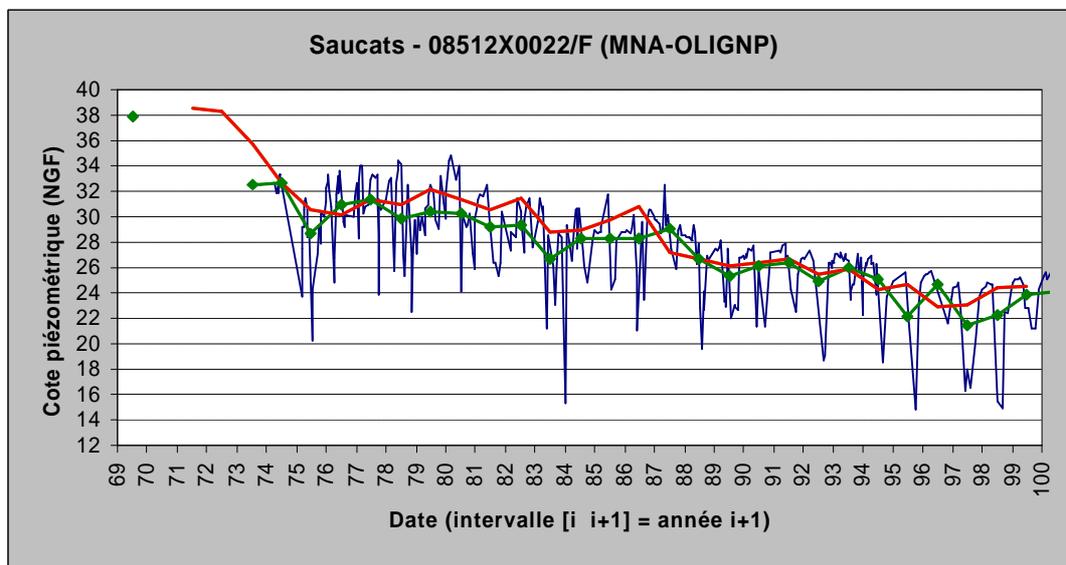
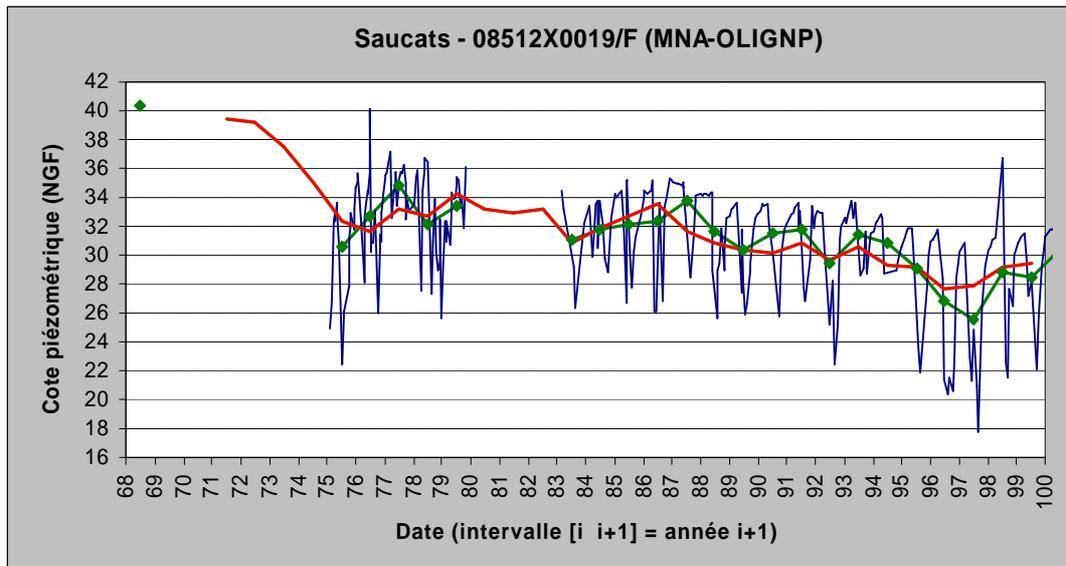


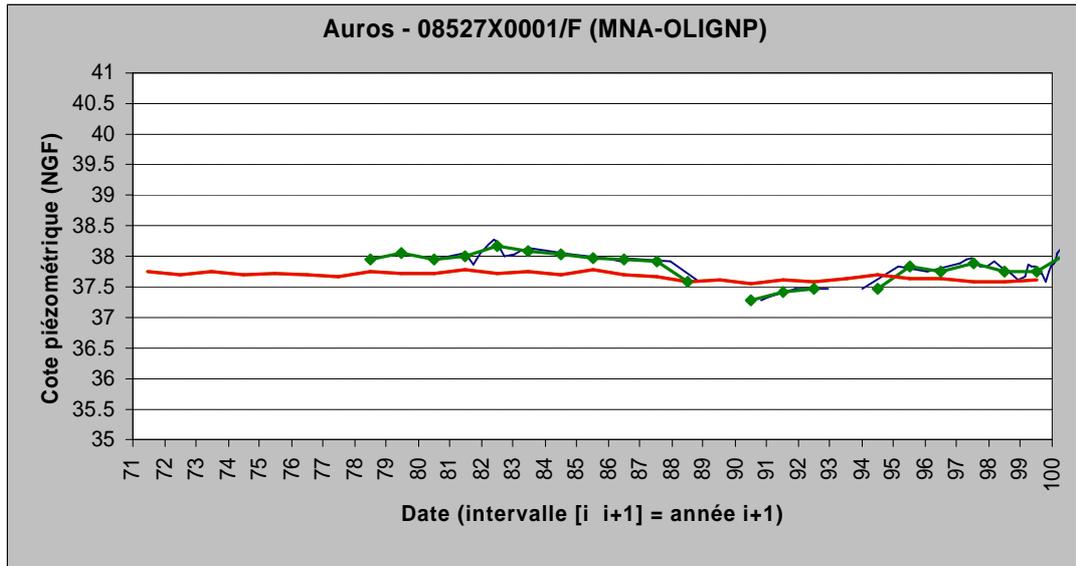












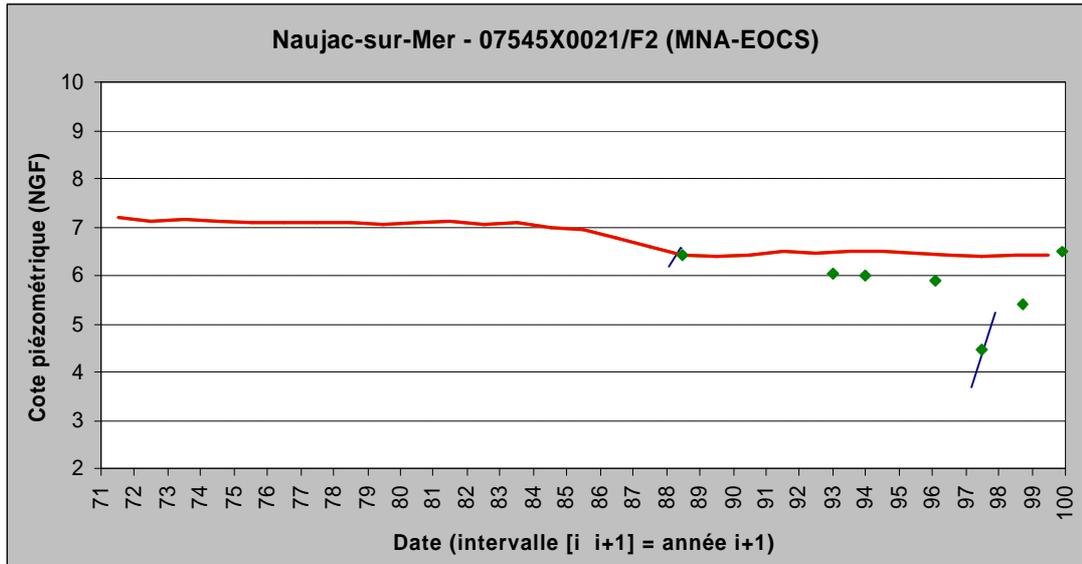


# **Nappe de l'Eocène supérieur**

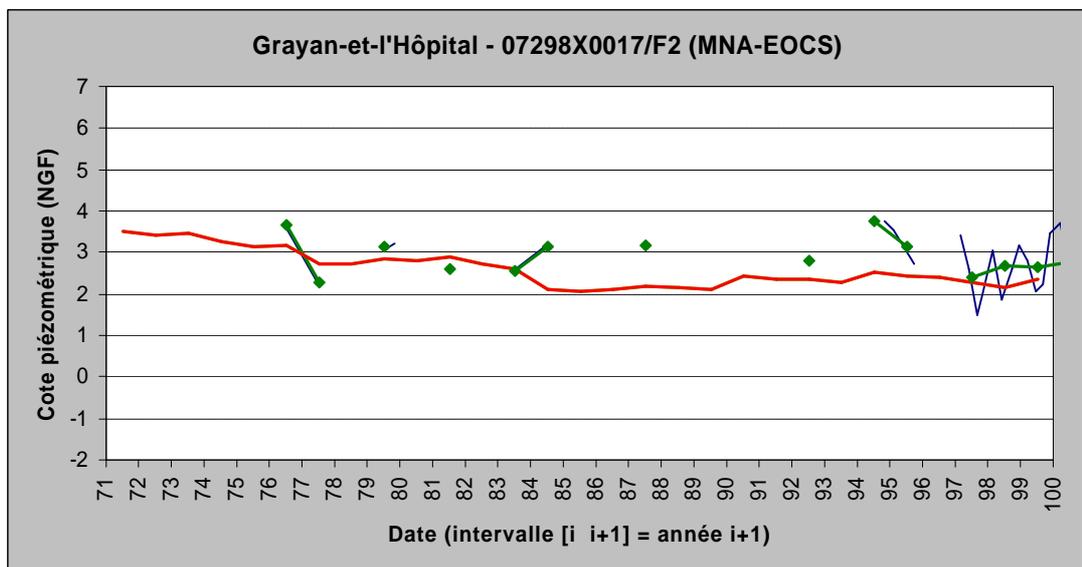
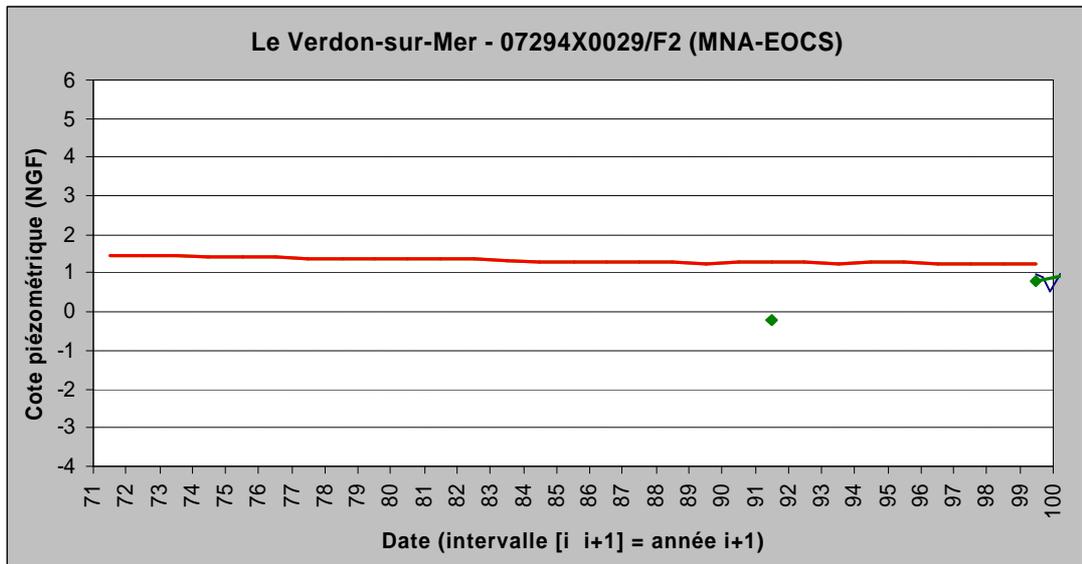
## **MNA-EOCS**

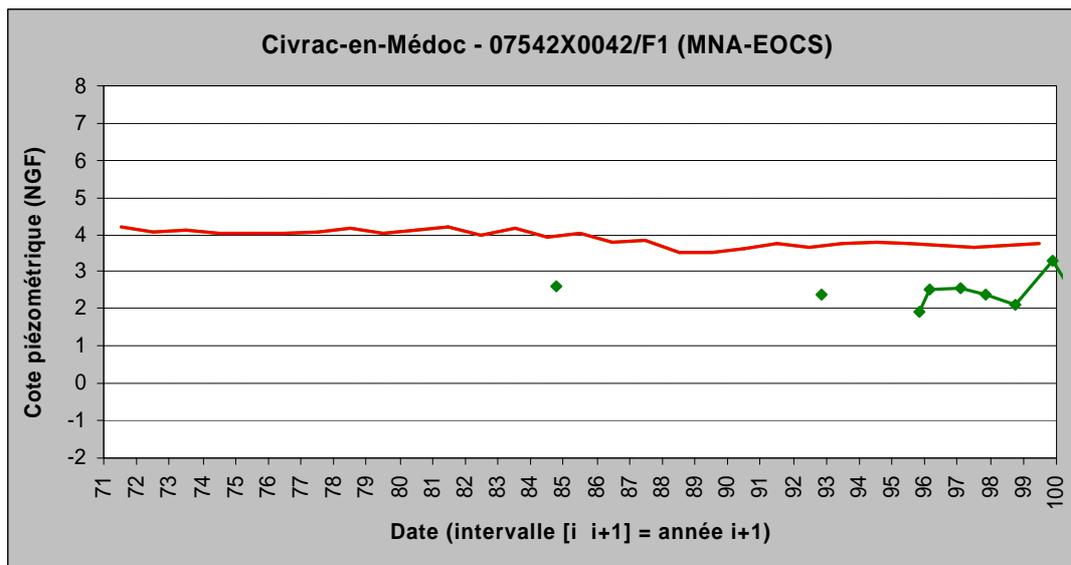


**GIRONDE (33) (UG\_LITTORAL)**

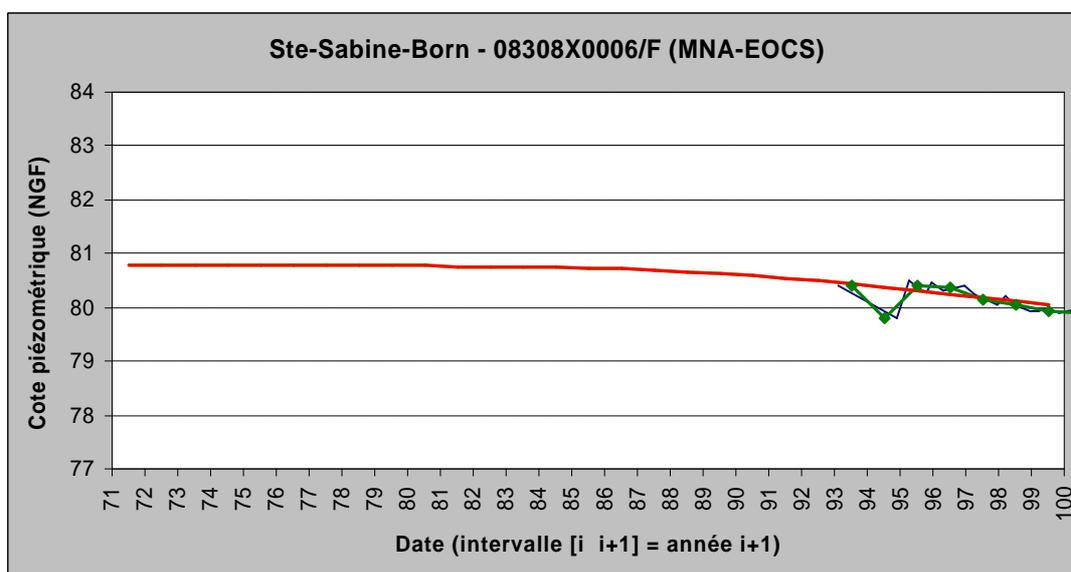
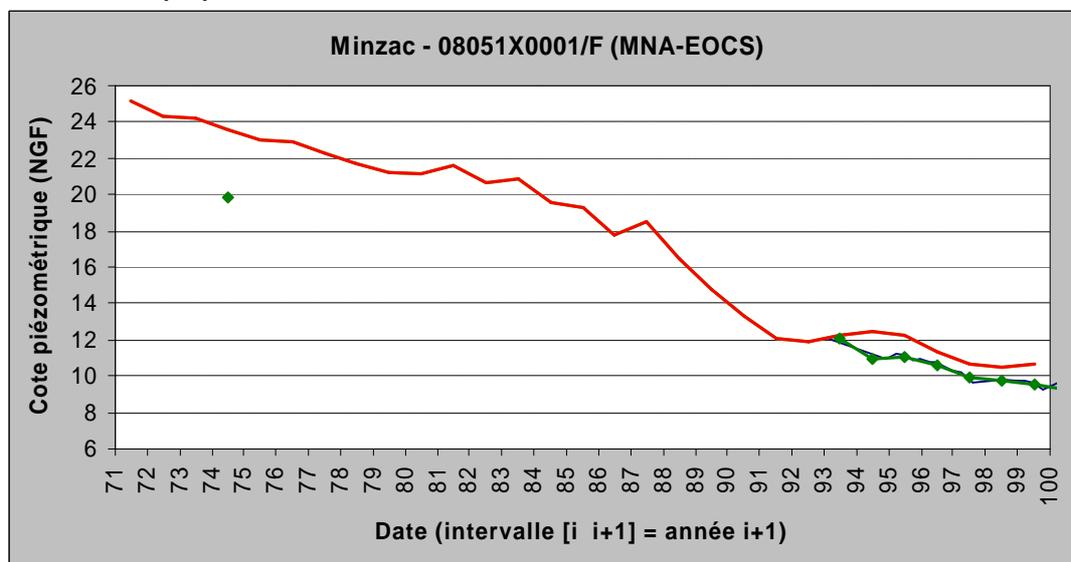


**GIRONDE (33) (UG\_MEDOC)**





**DORDOGNE (24)**

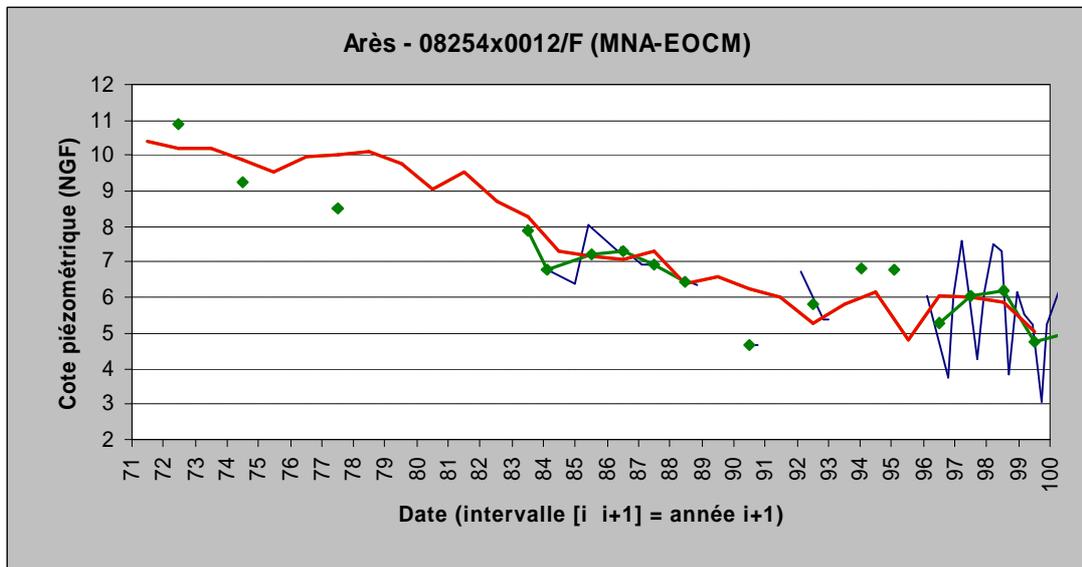
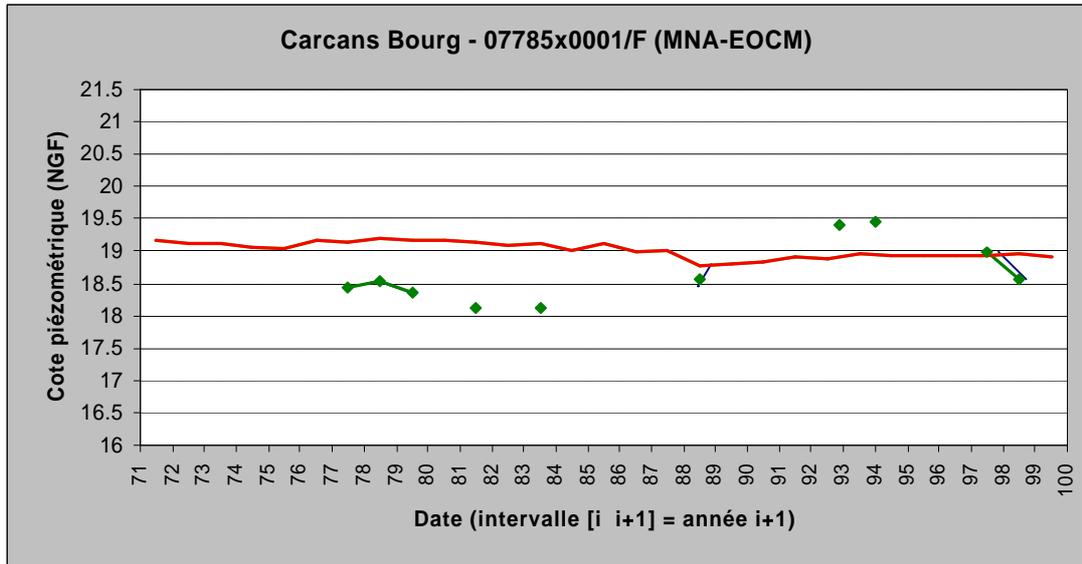
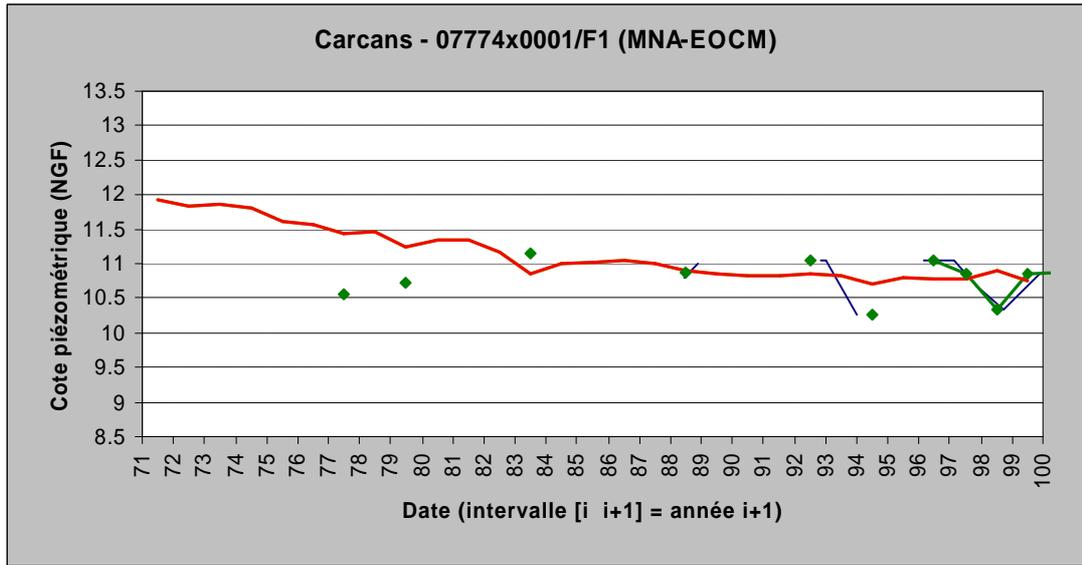


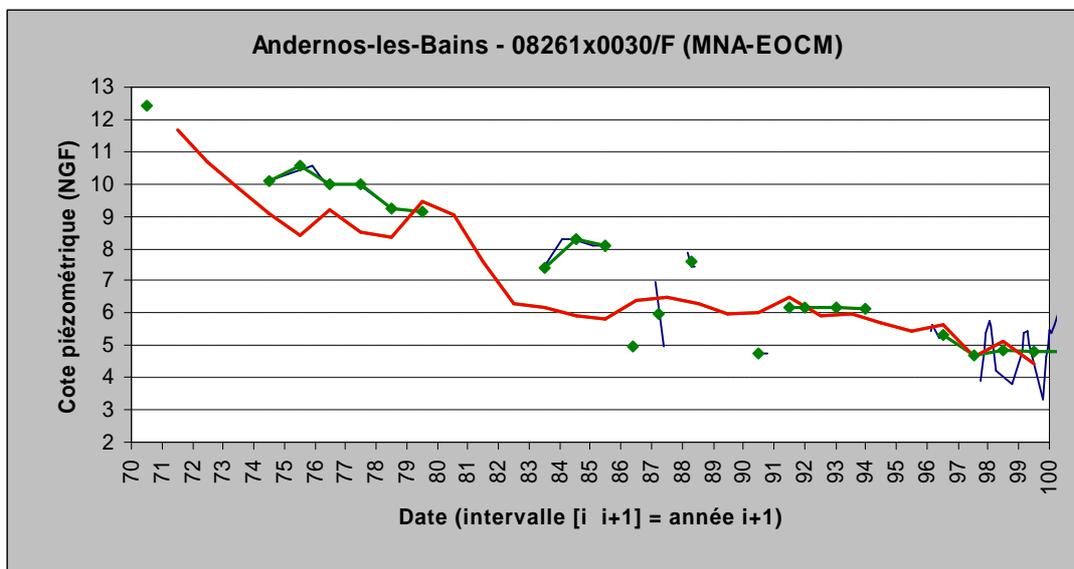
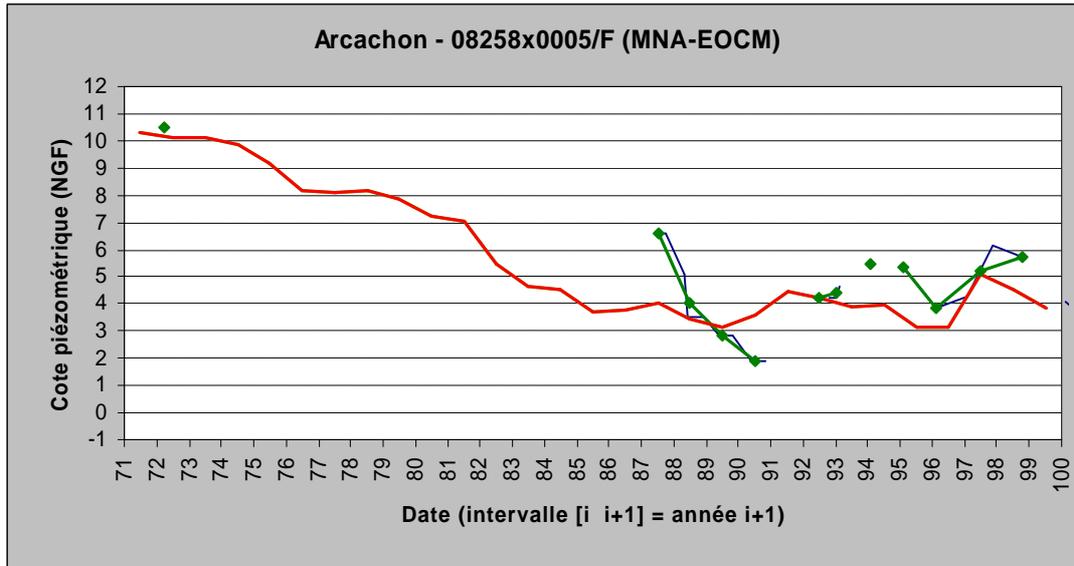
# **Nappe de l'Eocène moyen**

**MNA-EOCM**

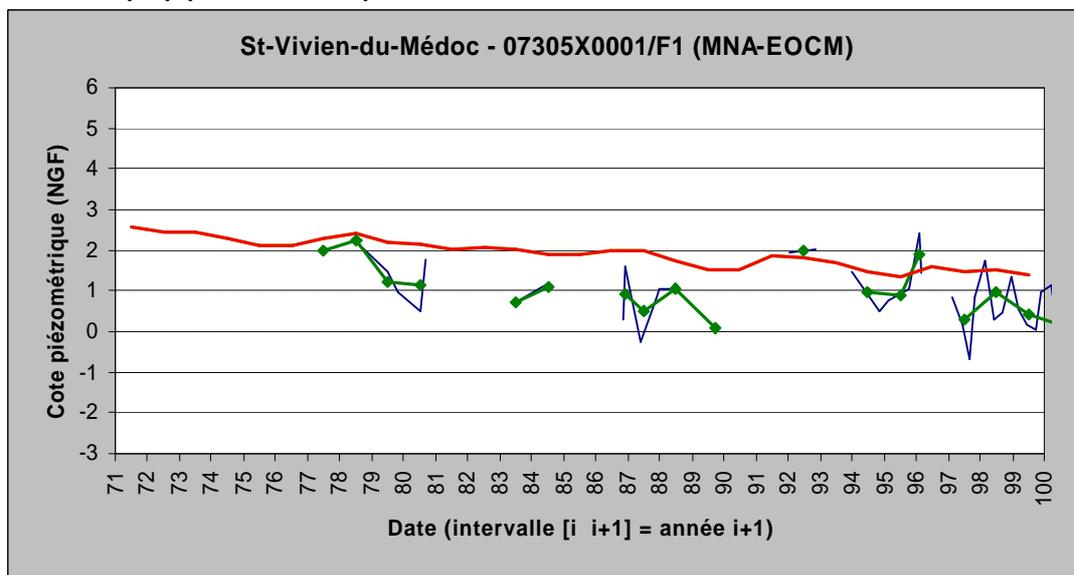


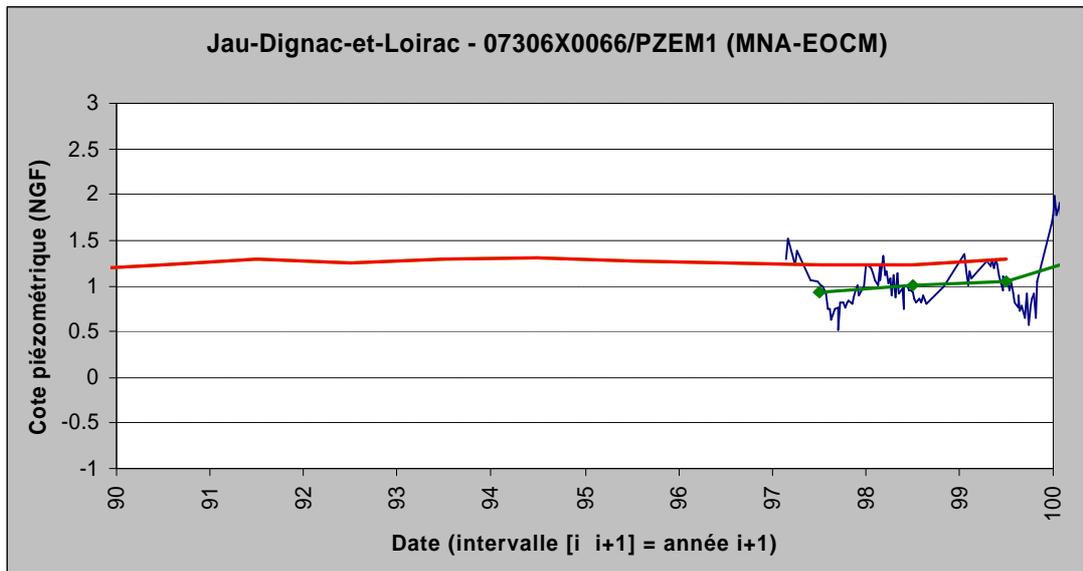
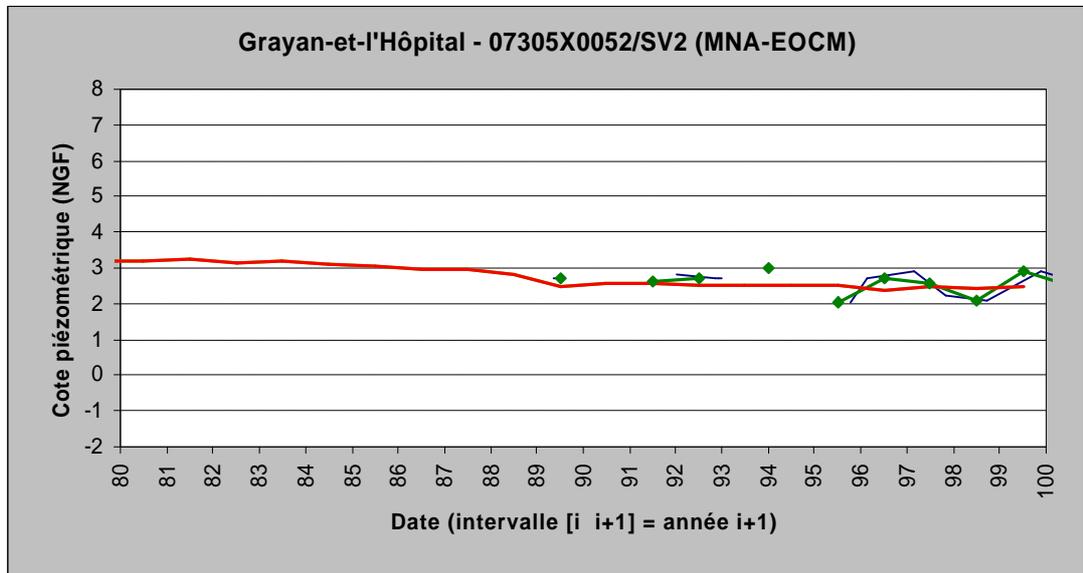
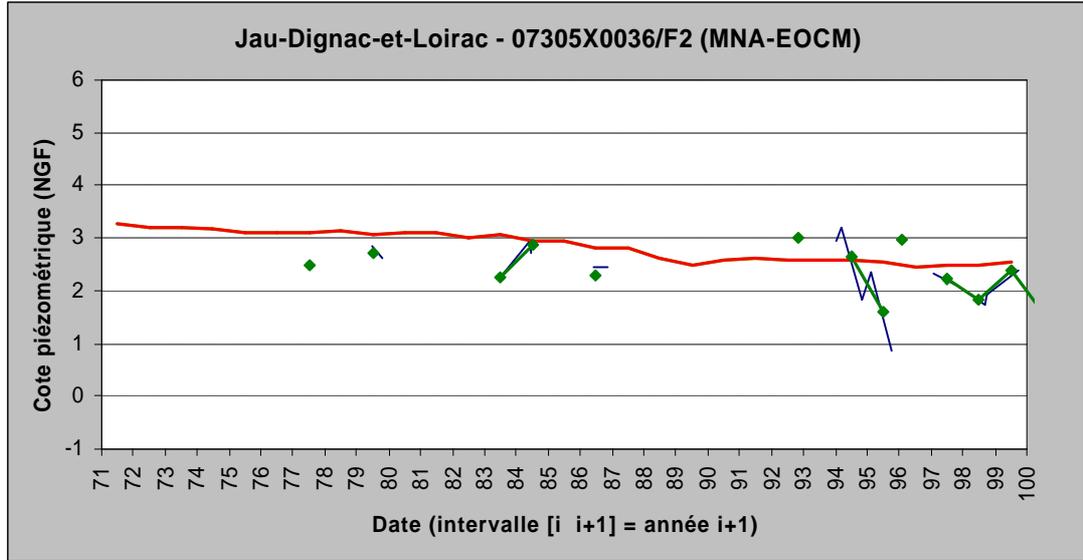
**GIRONDE (33) (UG\_LITTORAL)**

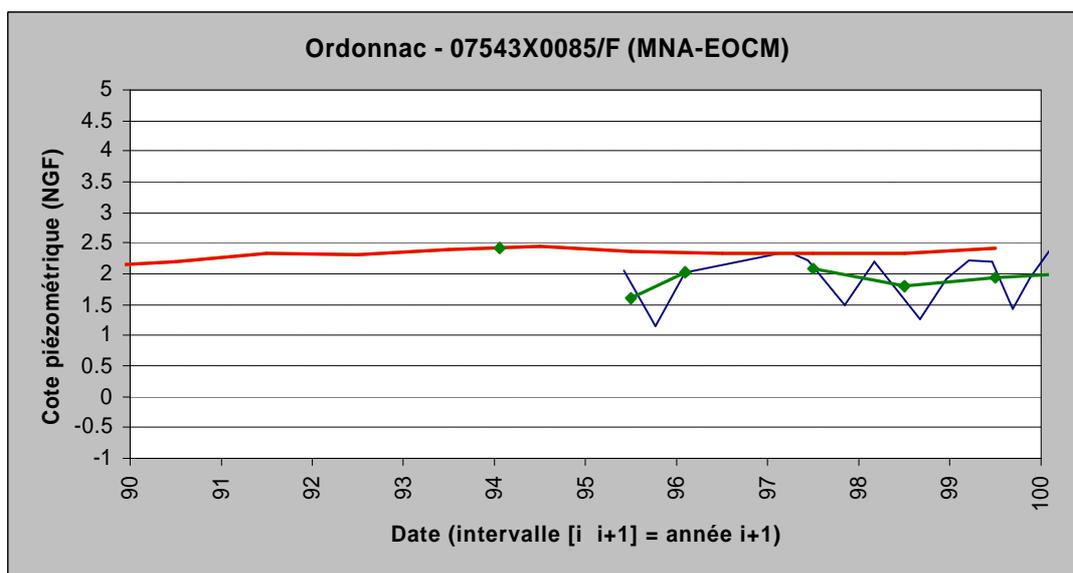
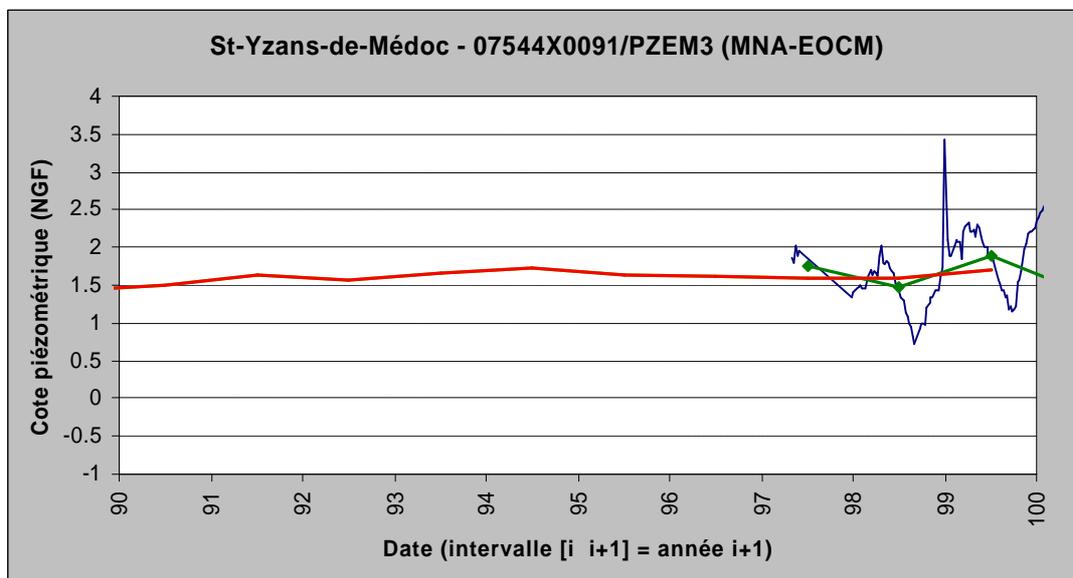
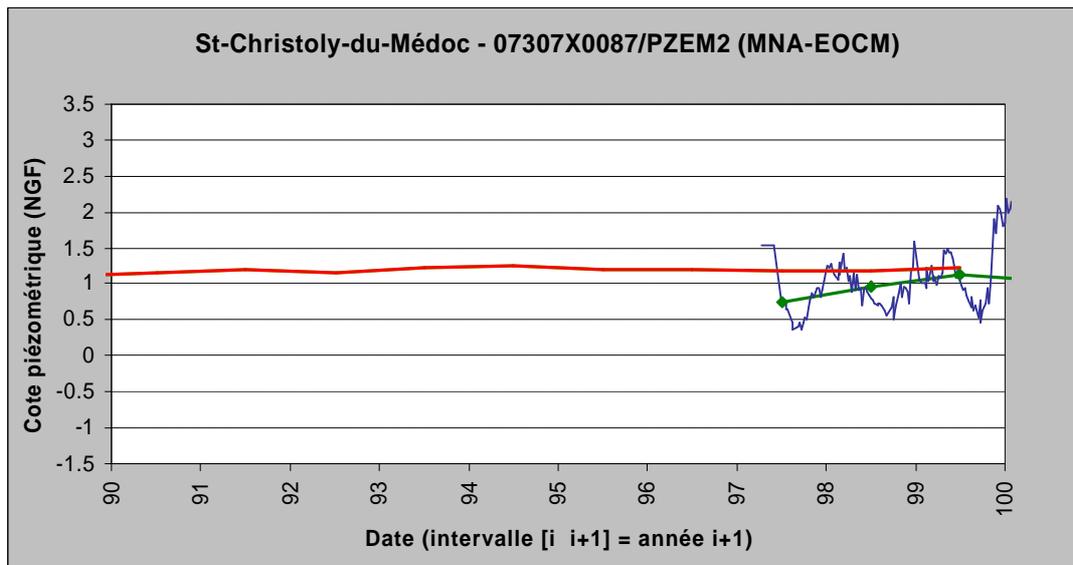


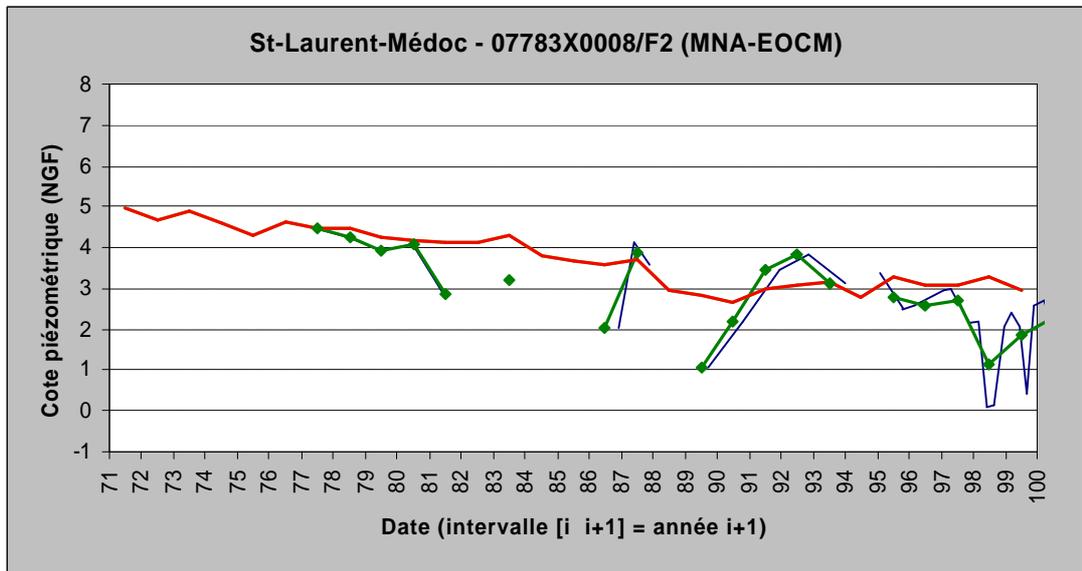
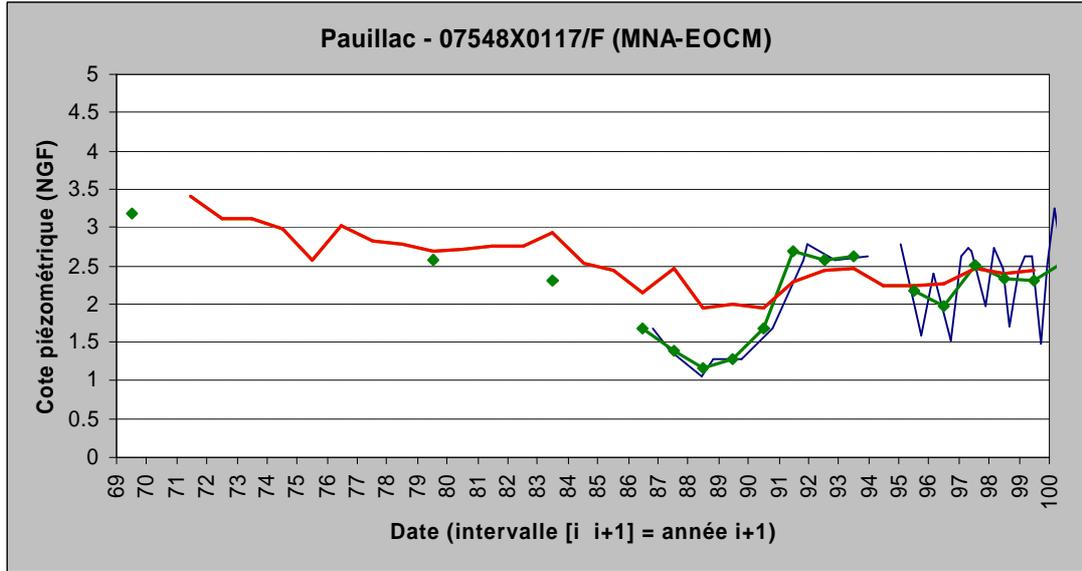


**GIRONDE (33) (UG\_MEDOC)**

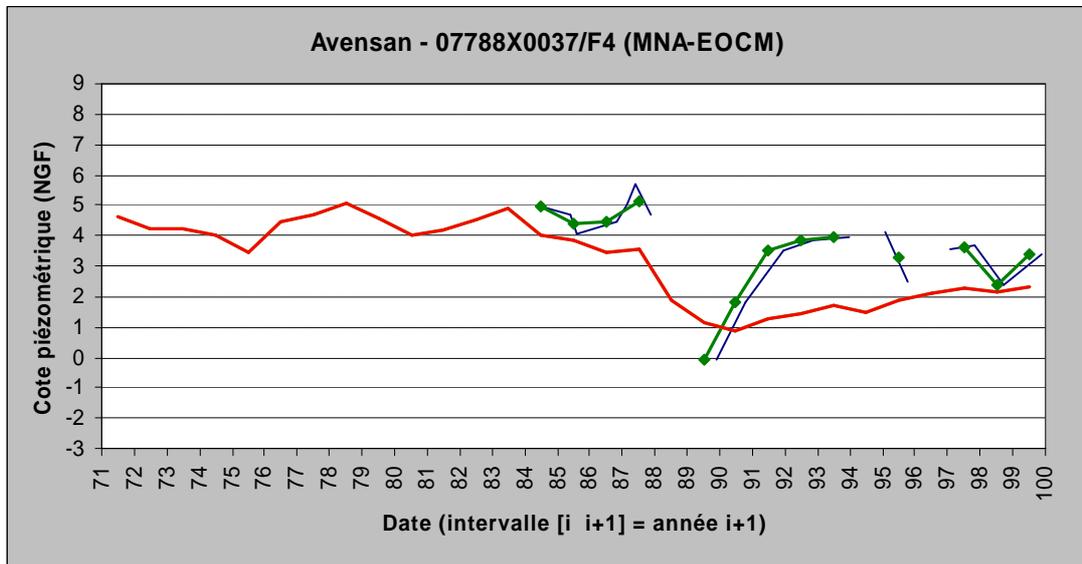


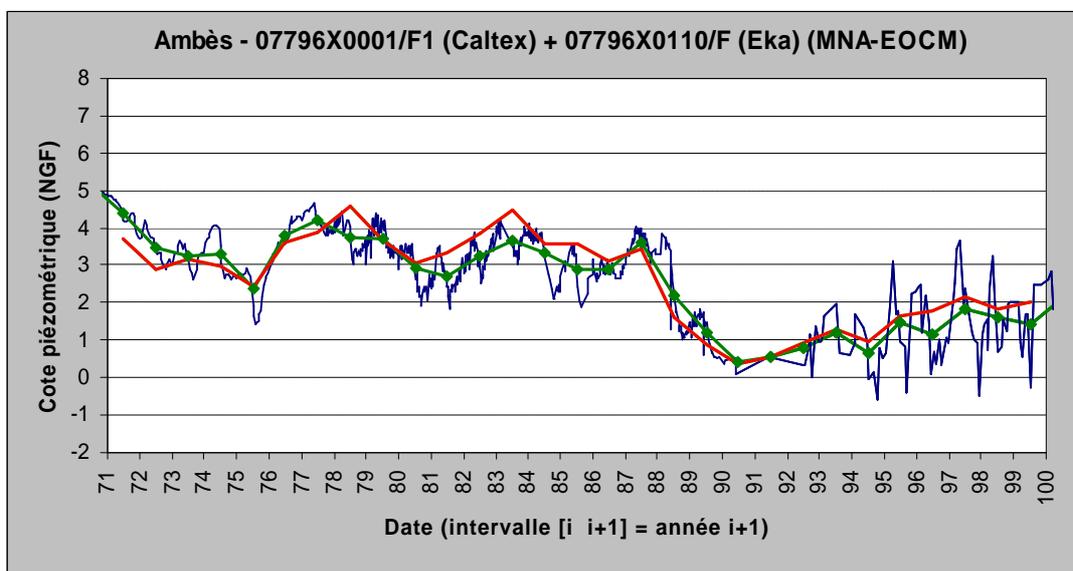
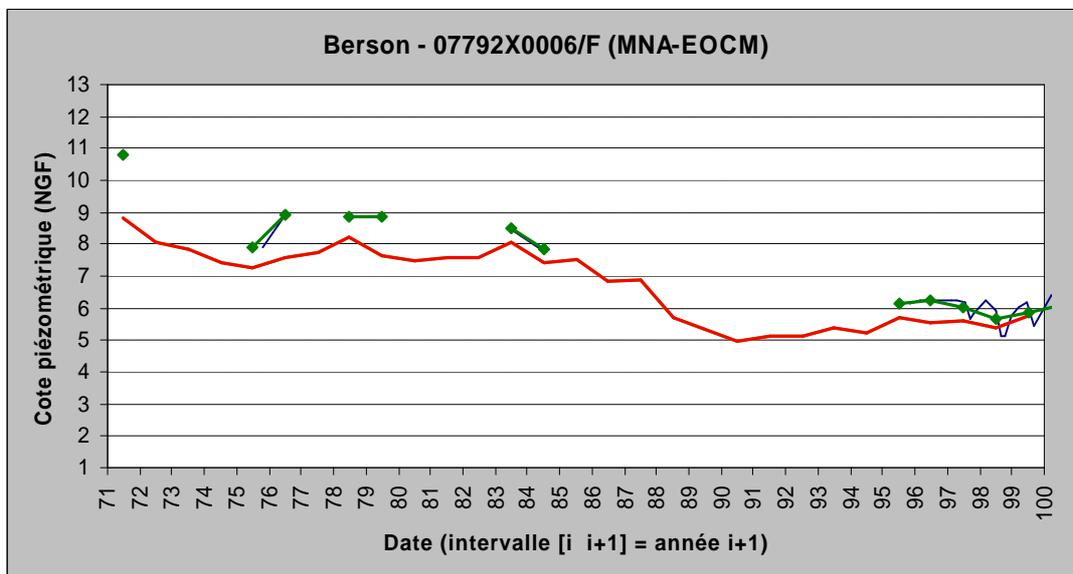
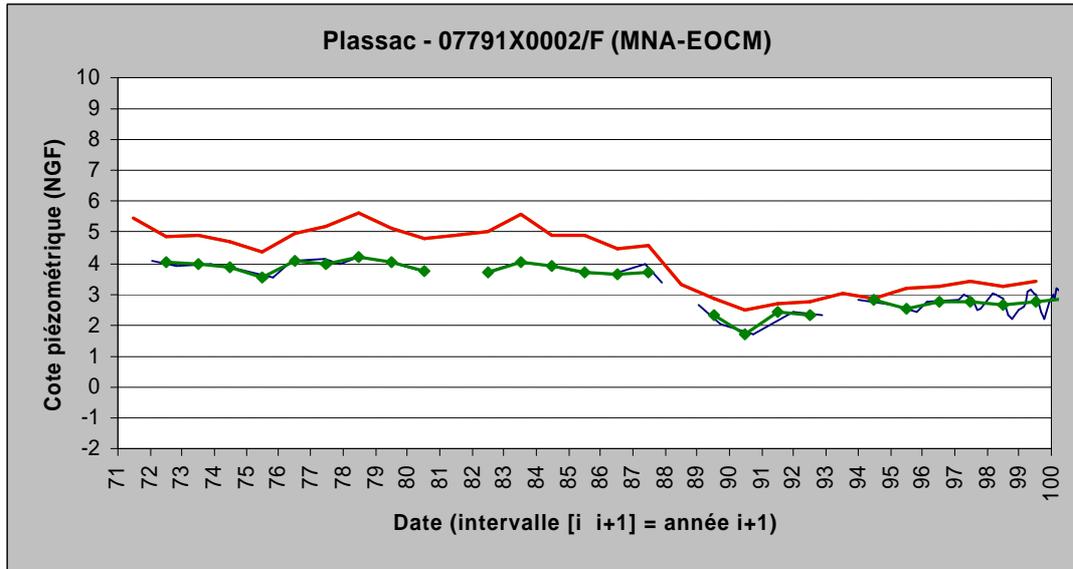


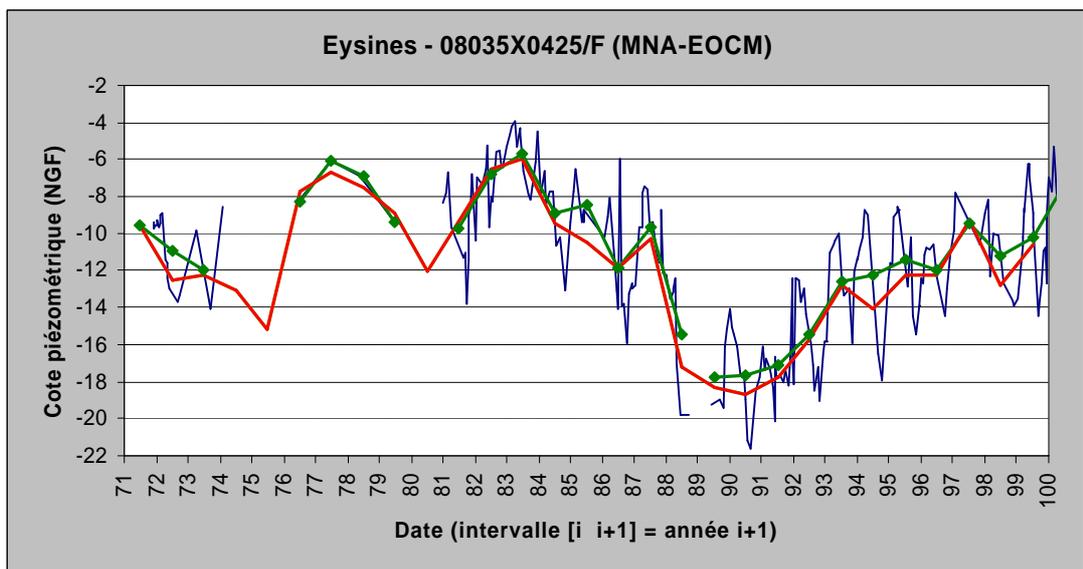
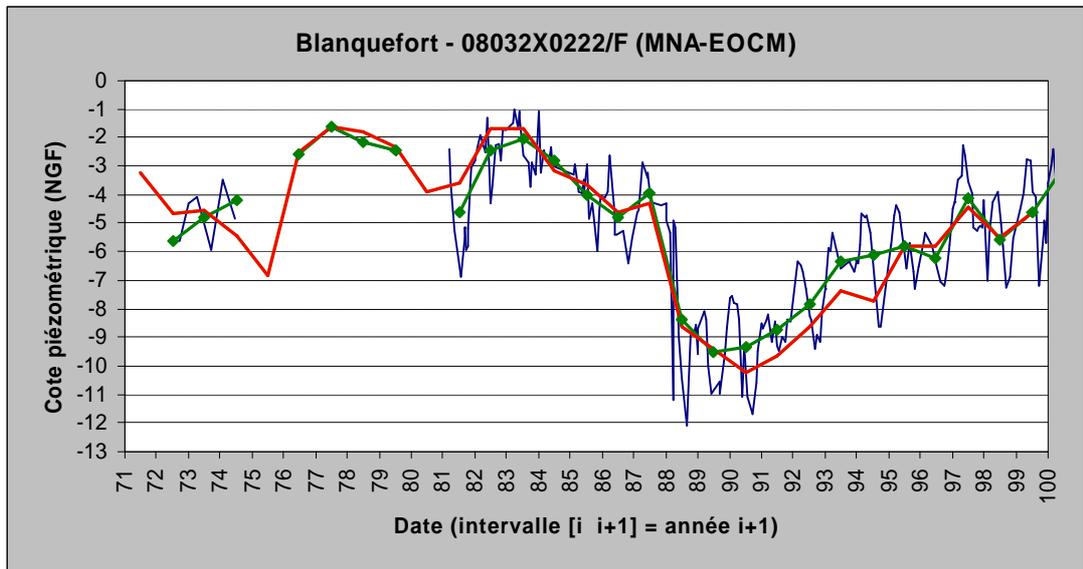
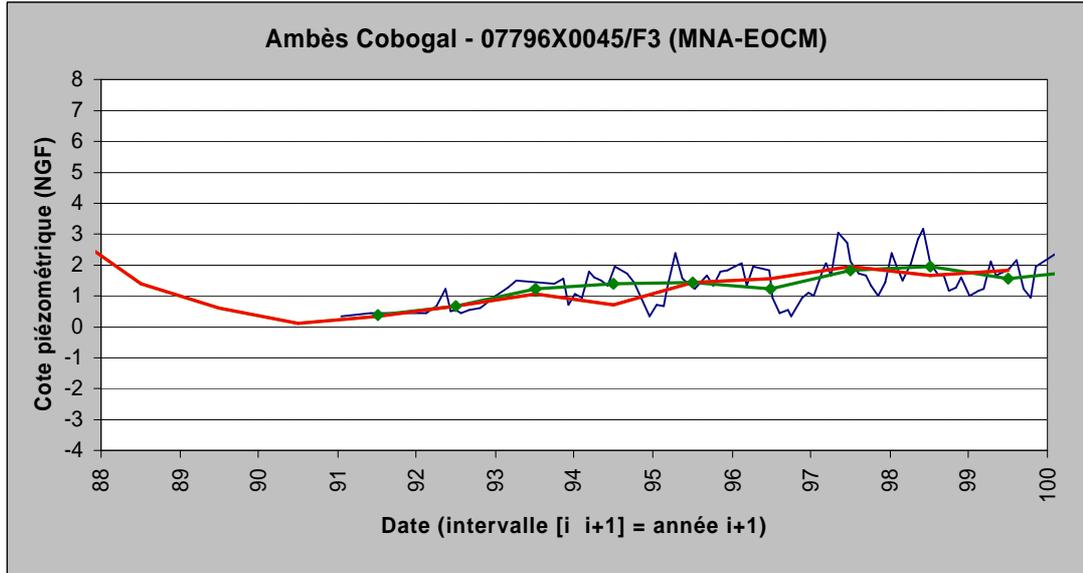


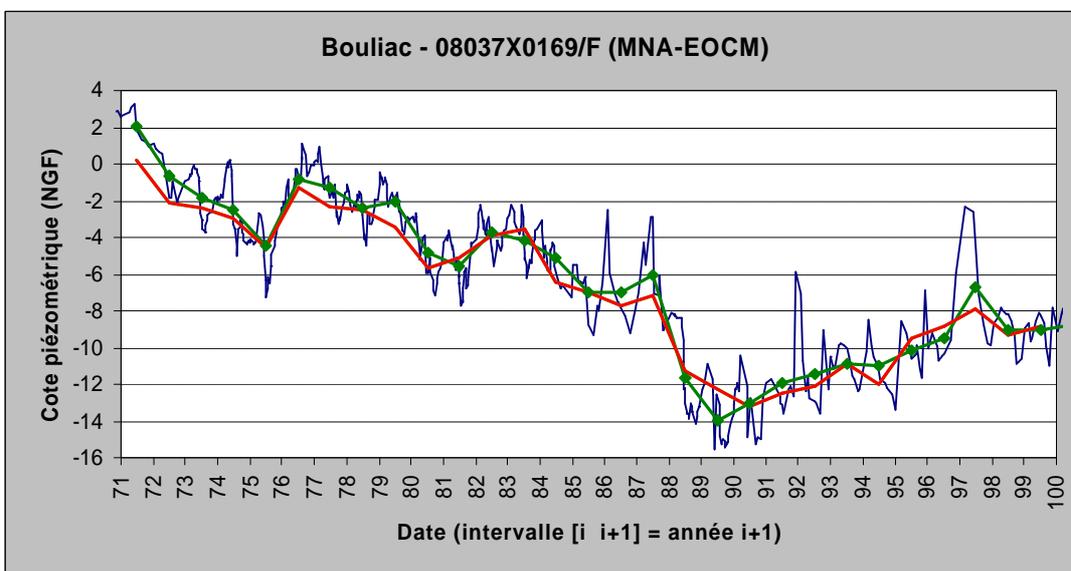
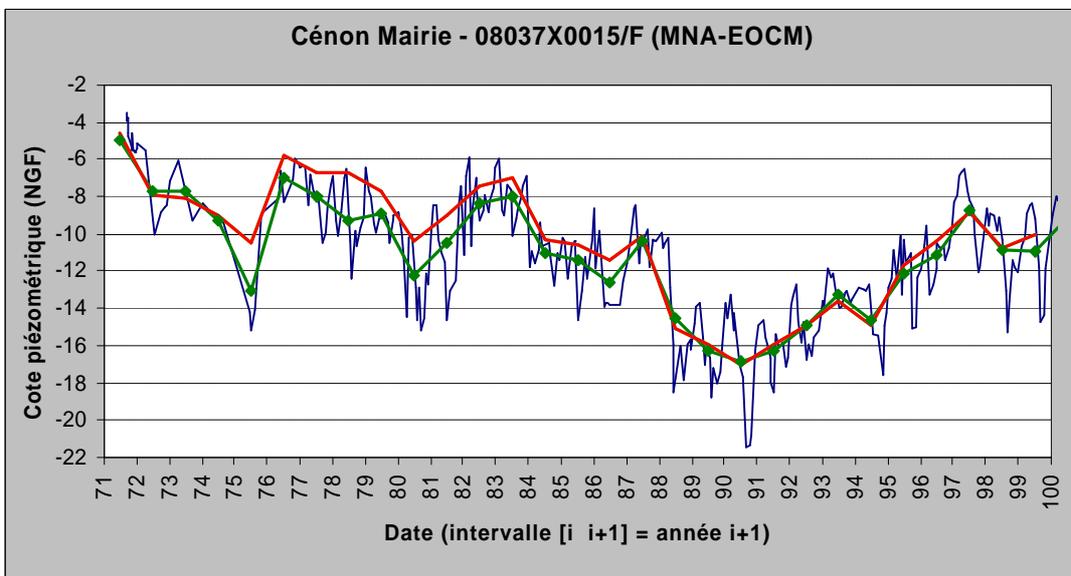
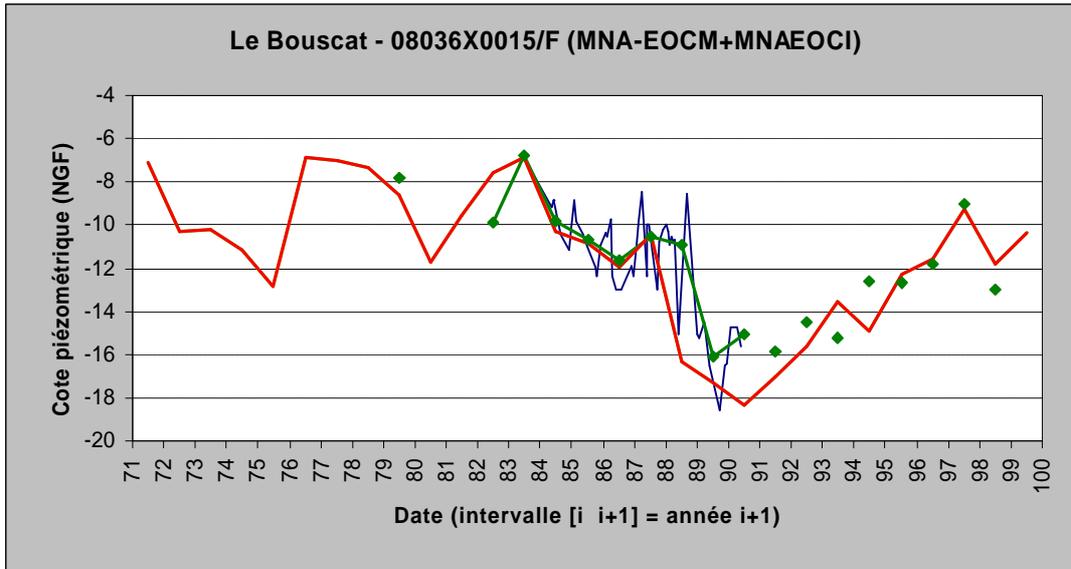


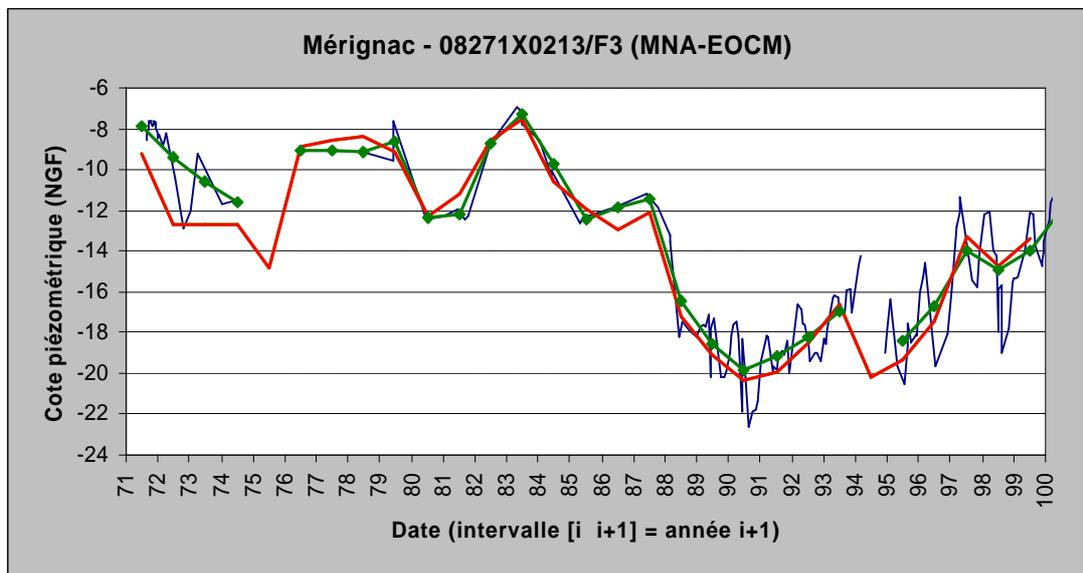
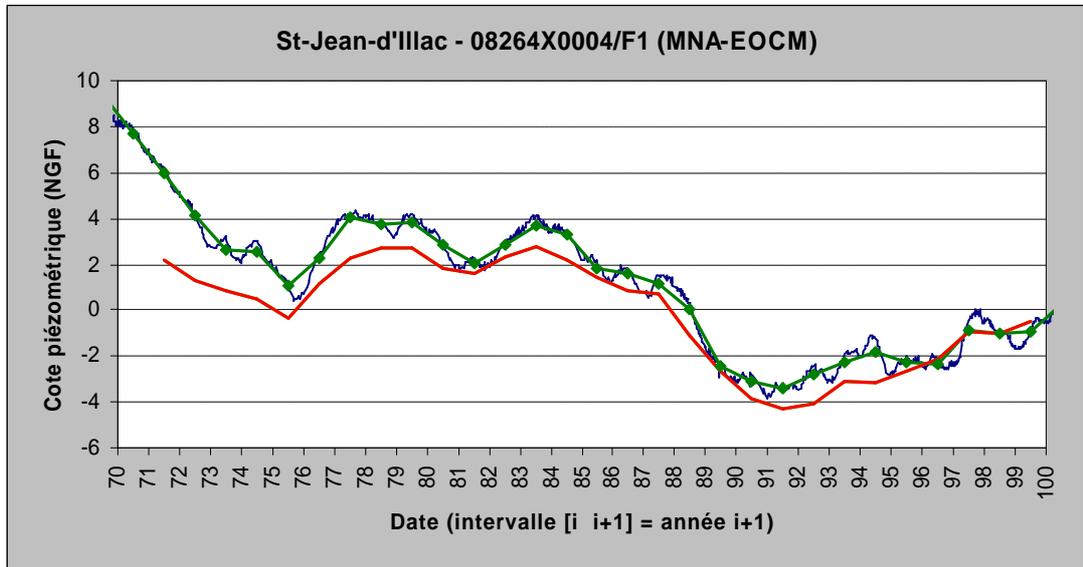
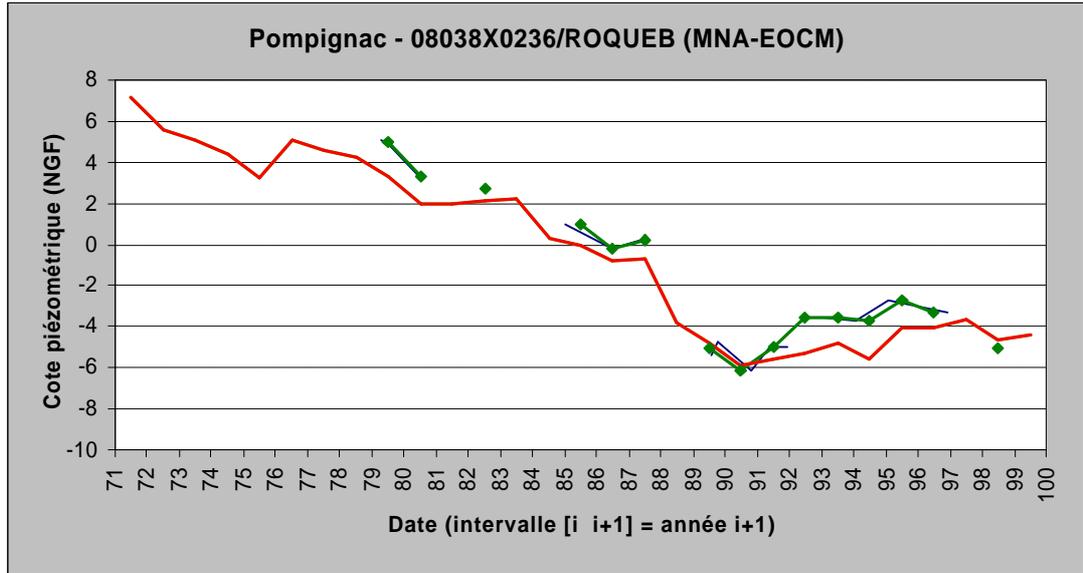
**GIRONDE (33) (UG\_CENTRE)**

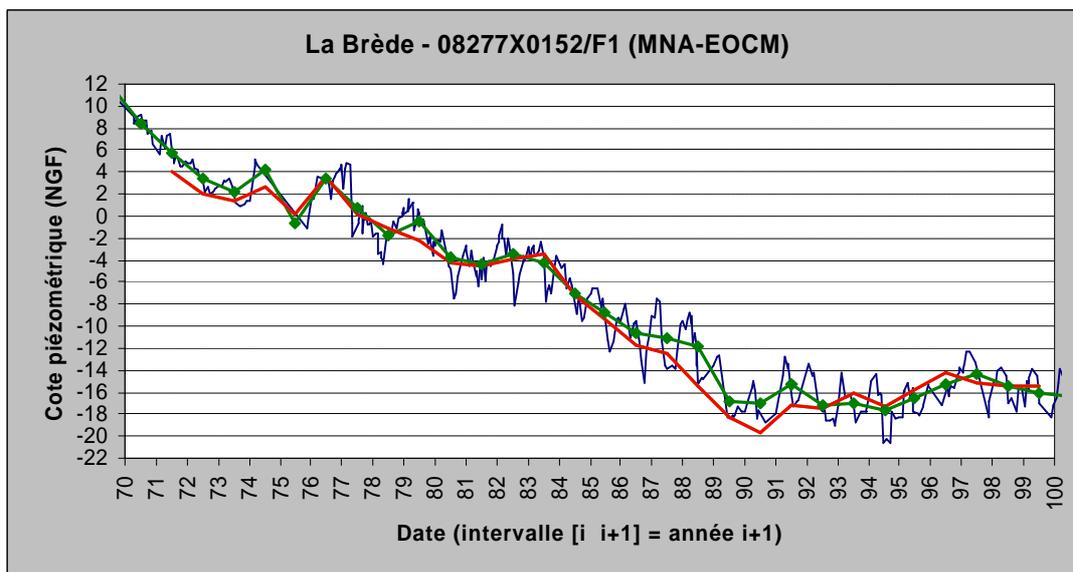
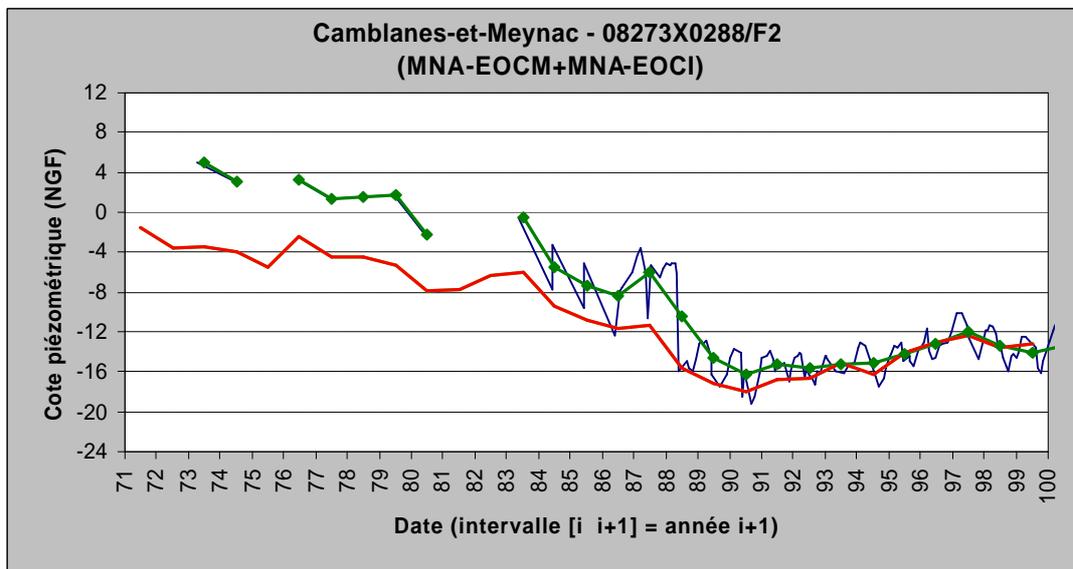
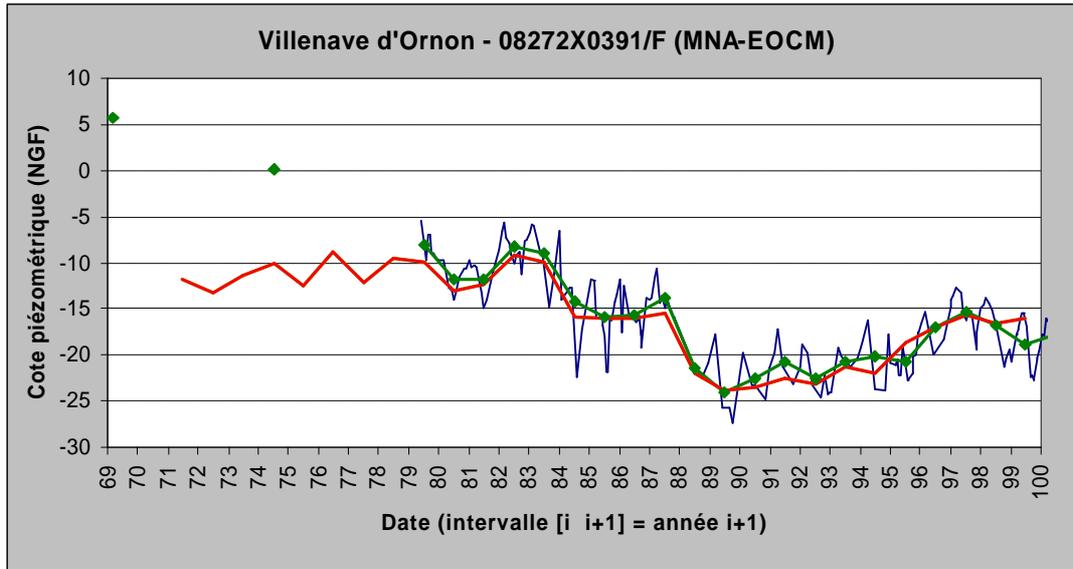


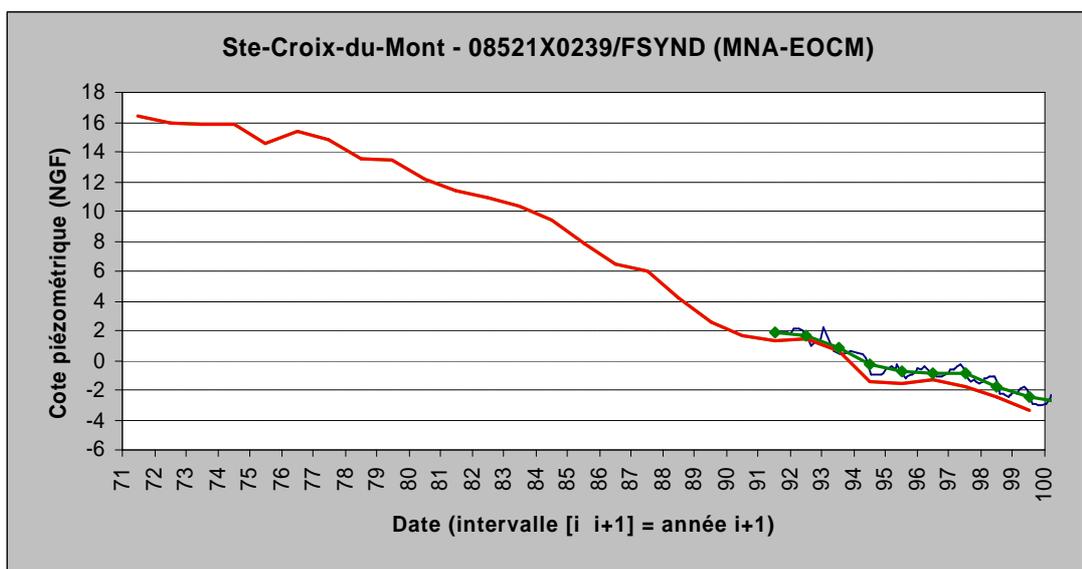
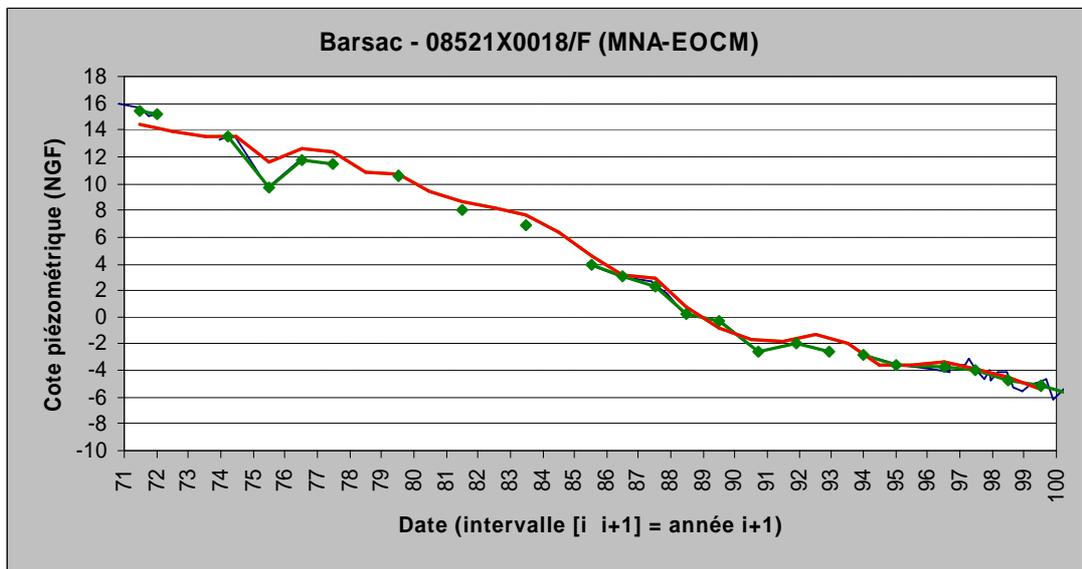
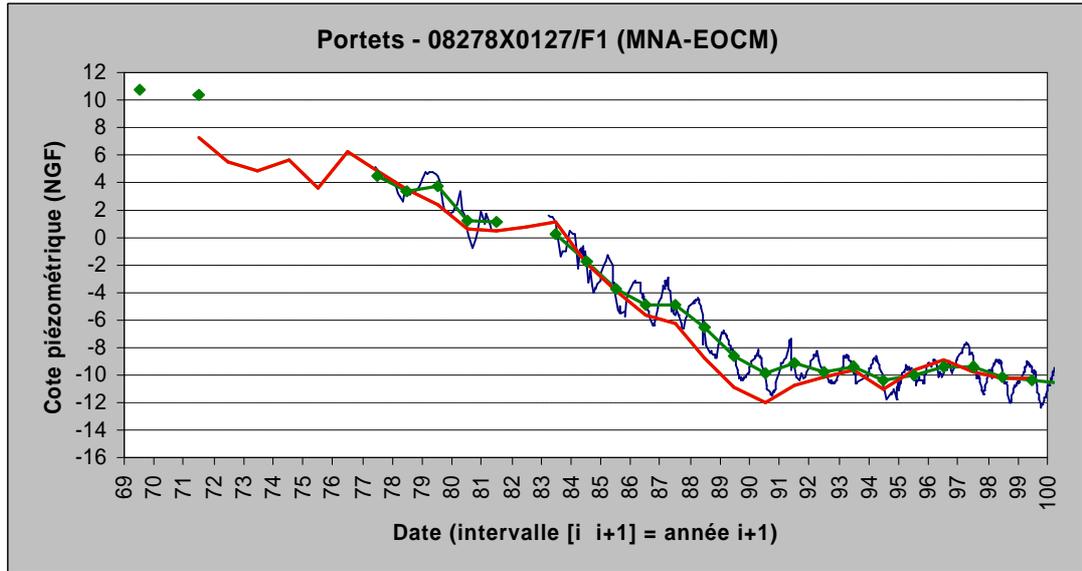


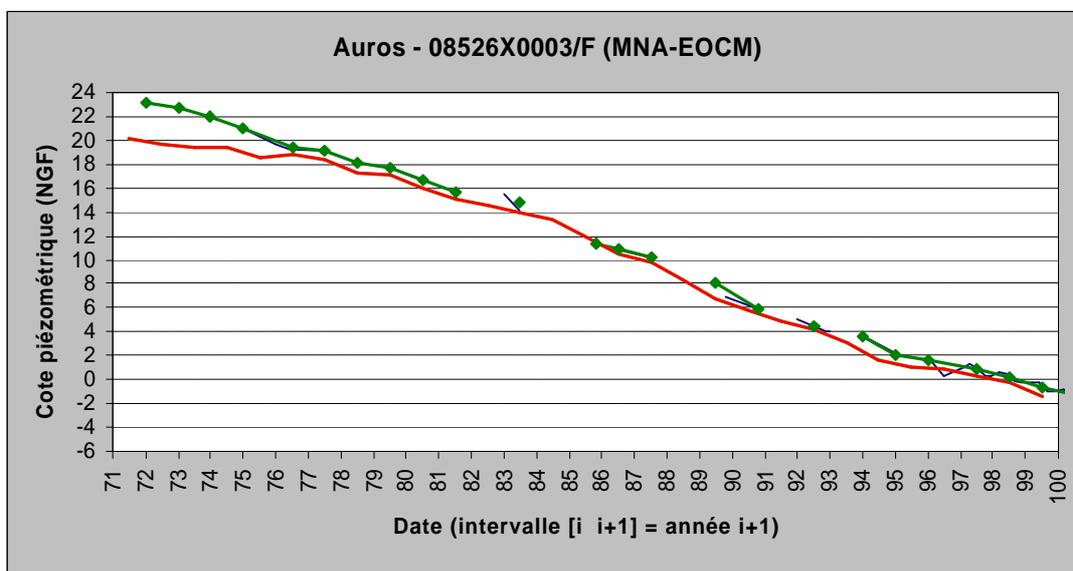
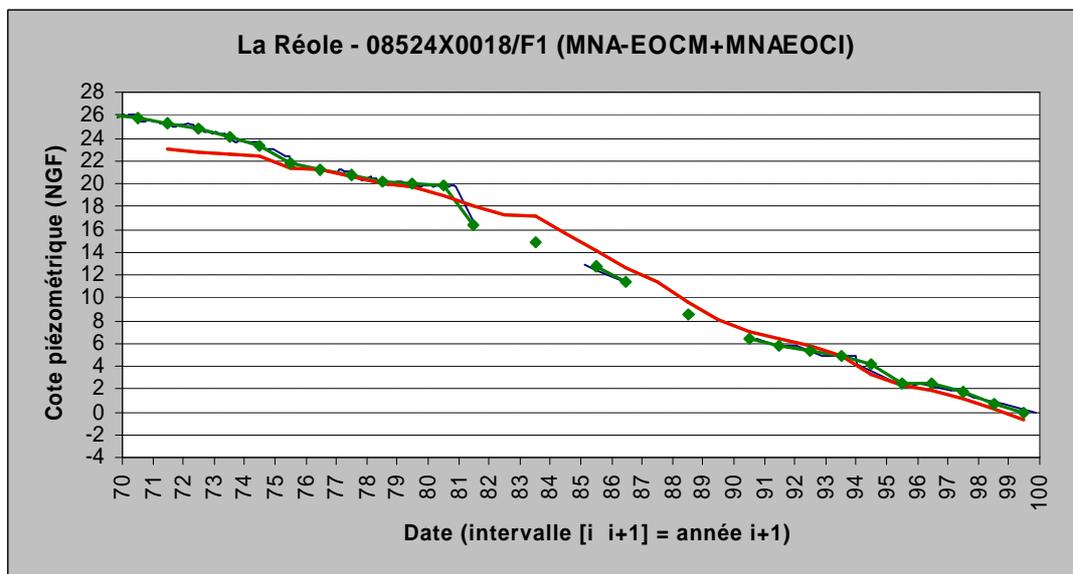
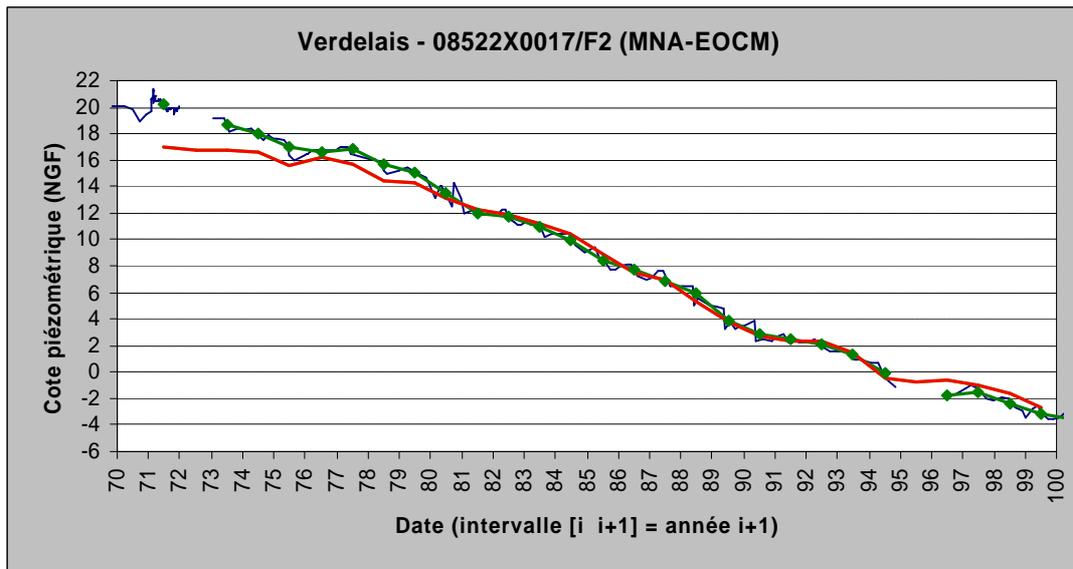


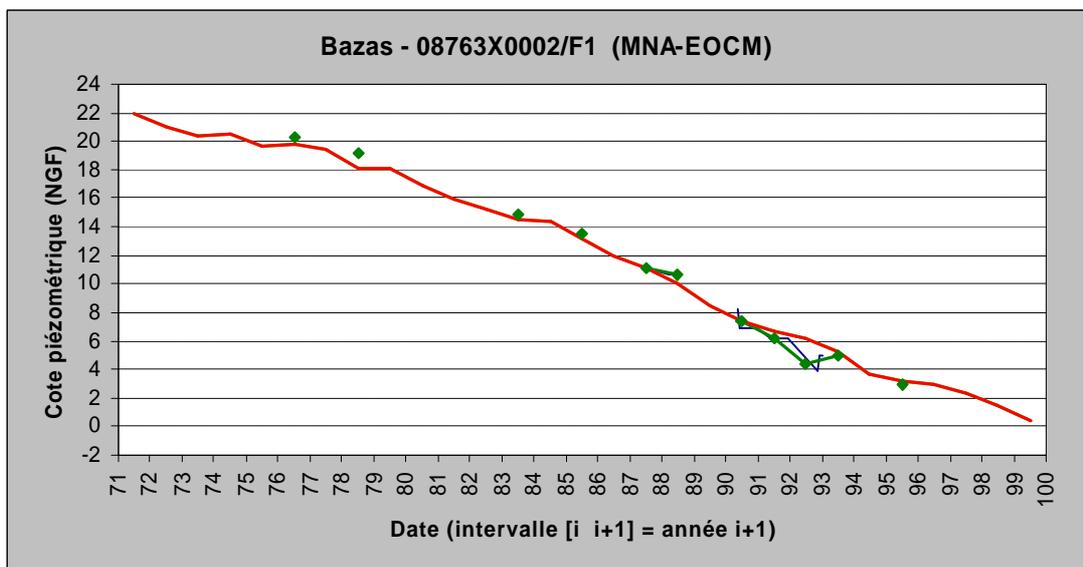
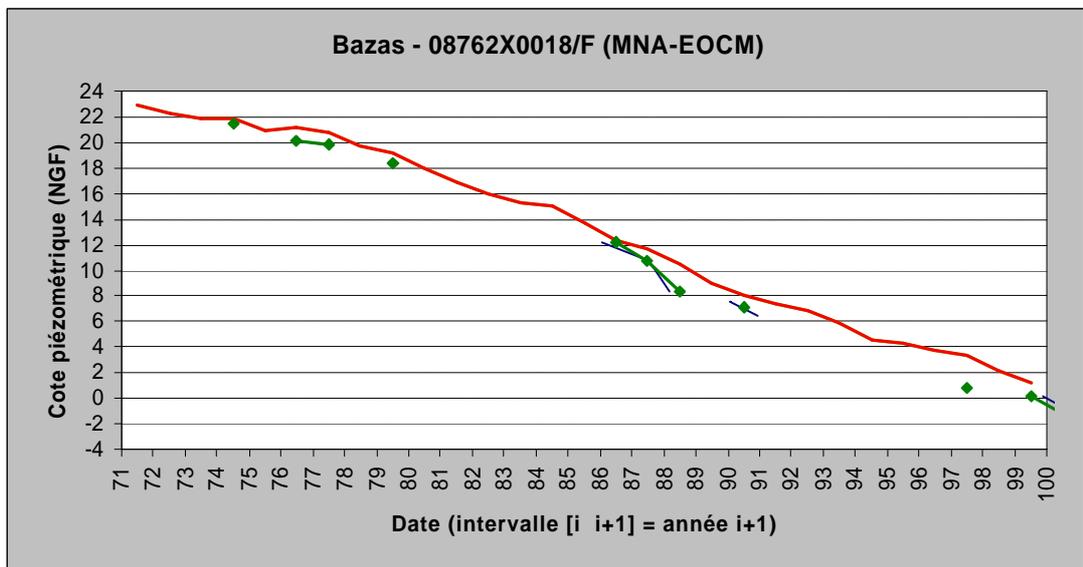
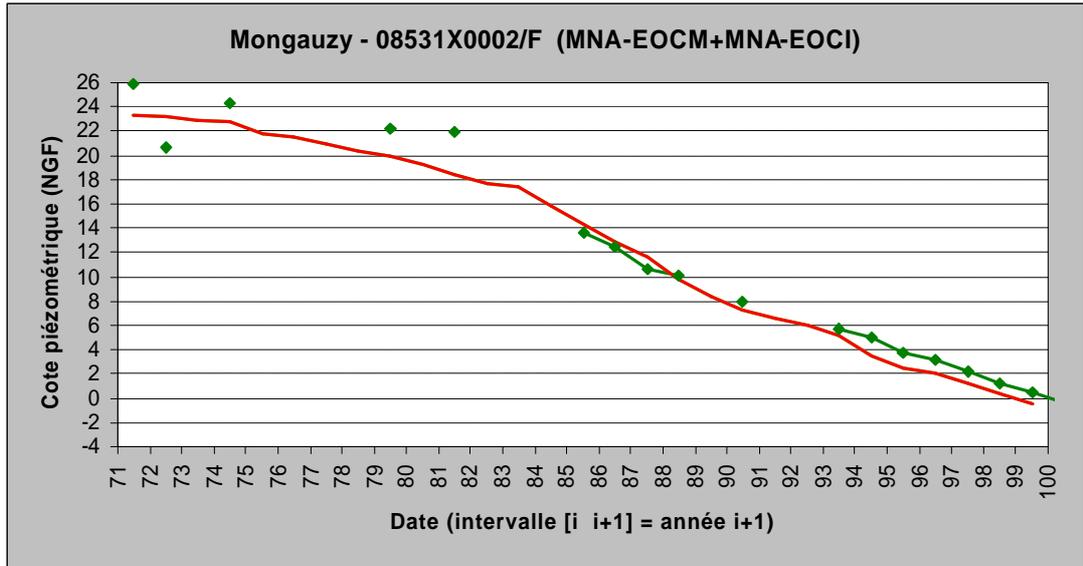


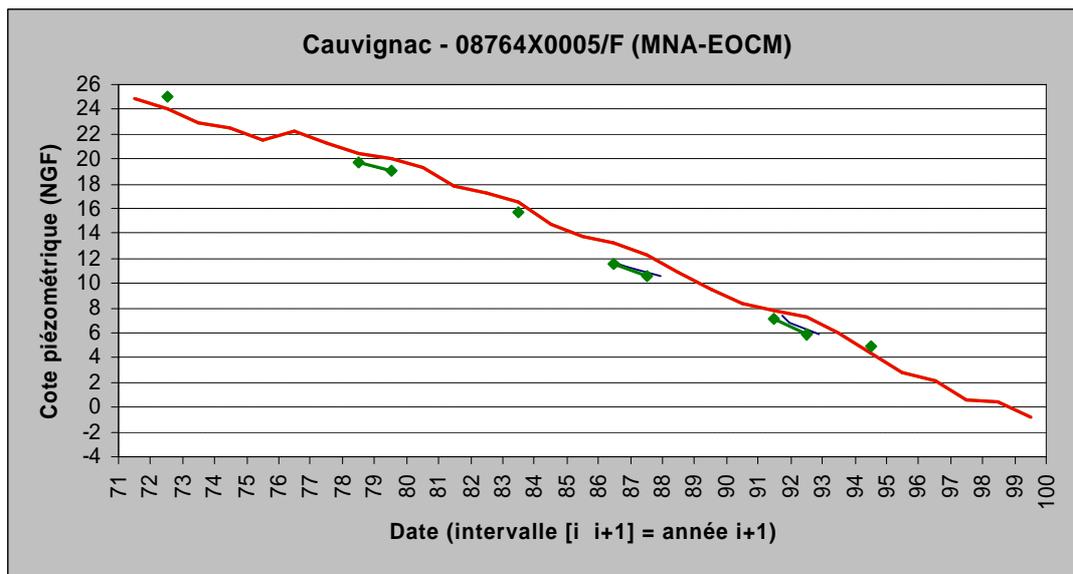




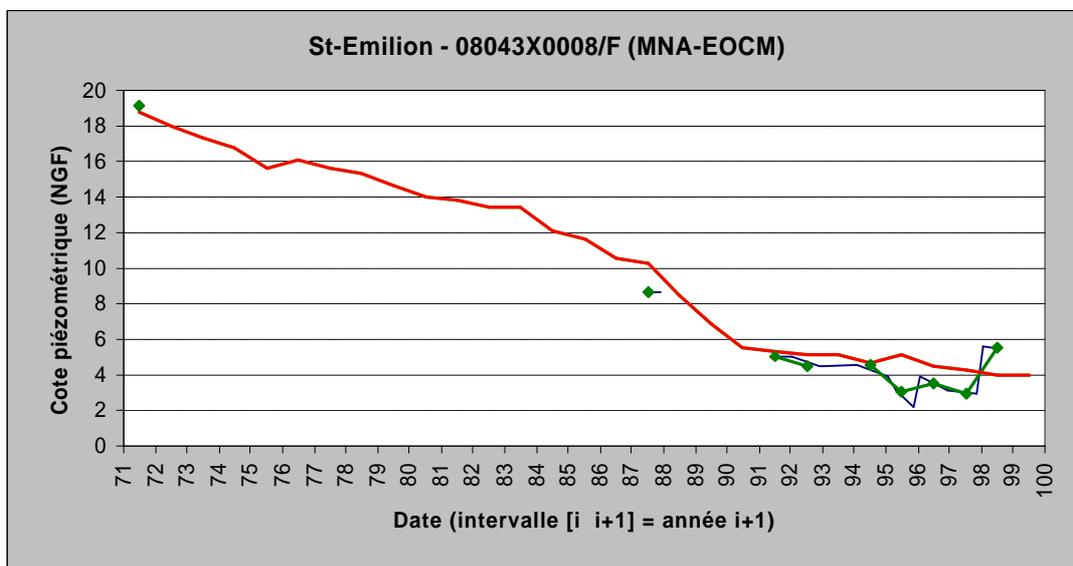
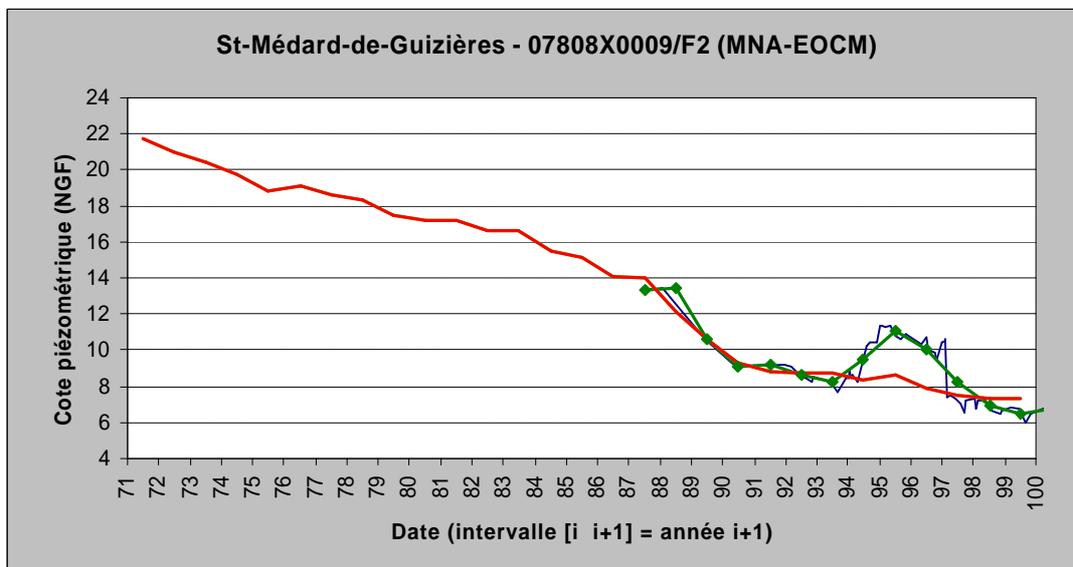


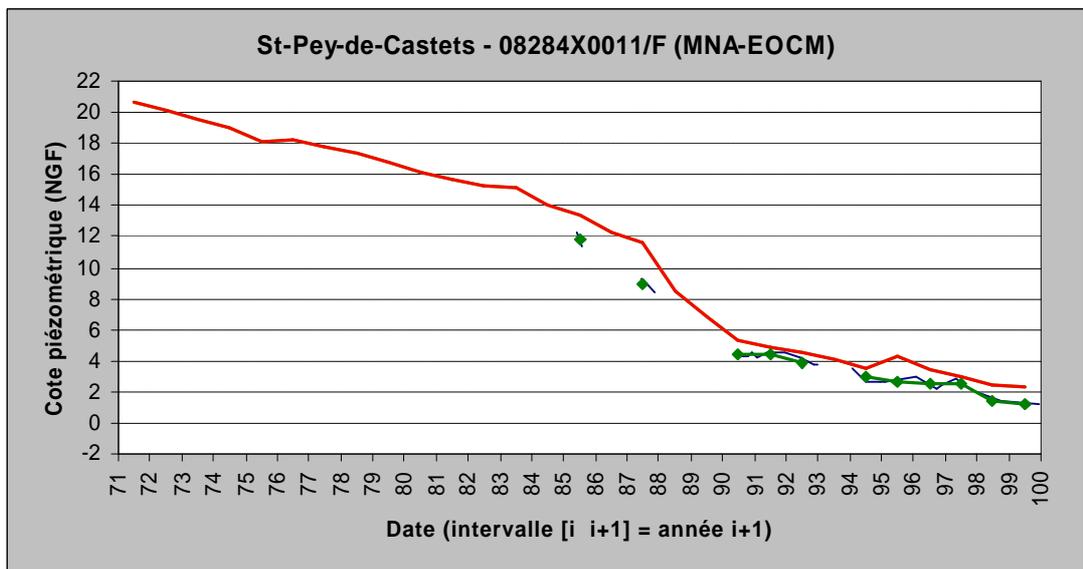
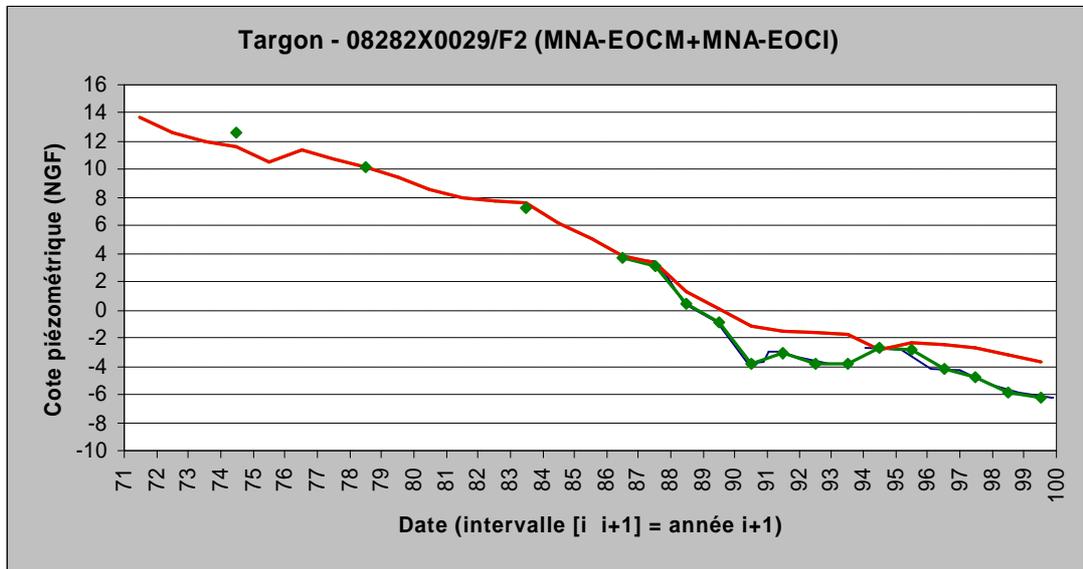
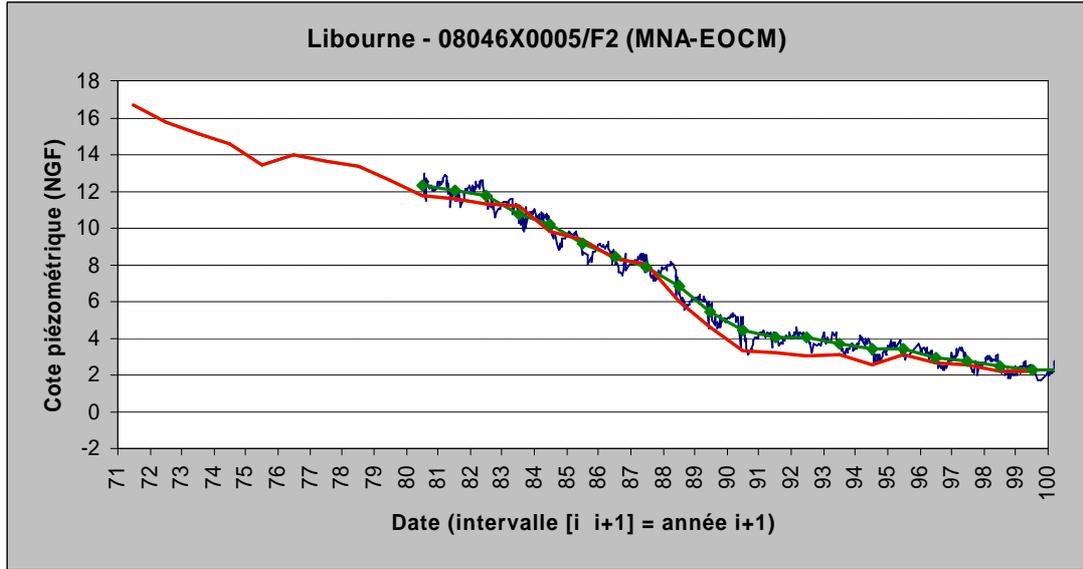


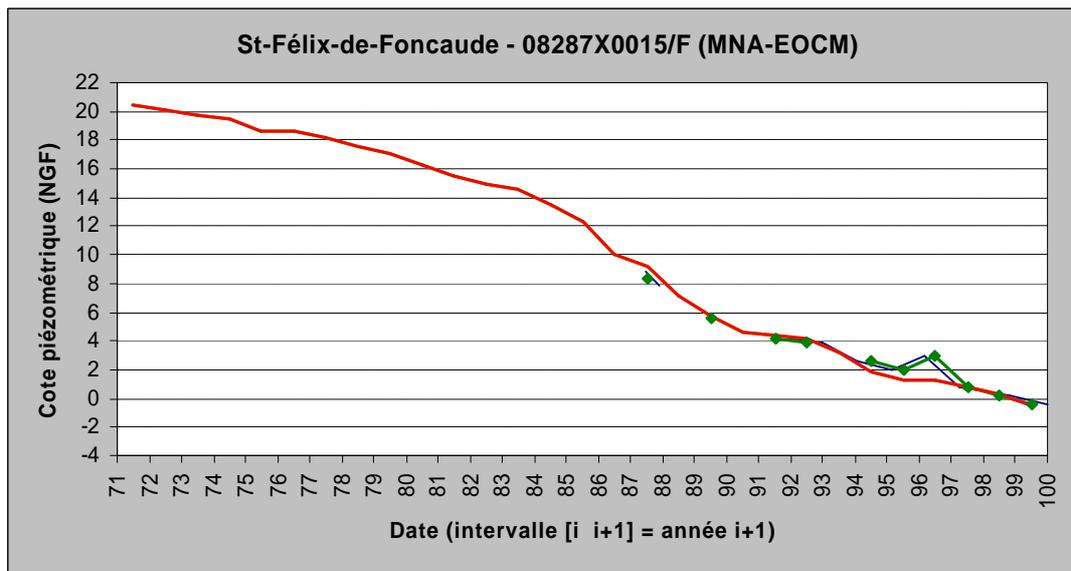




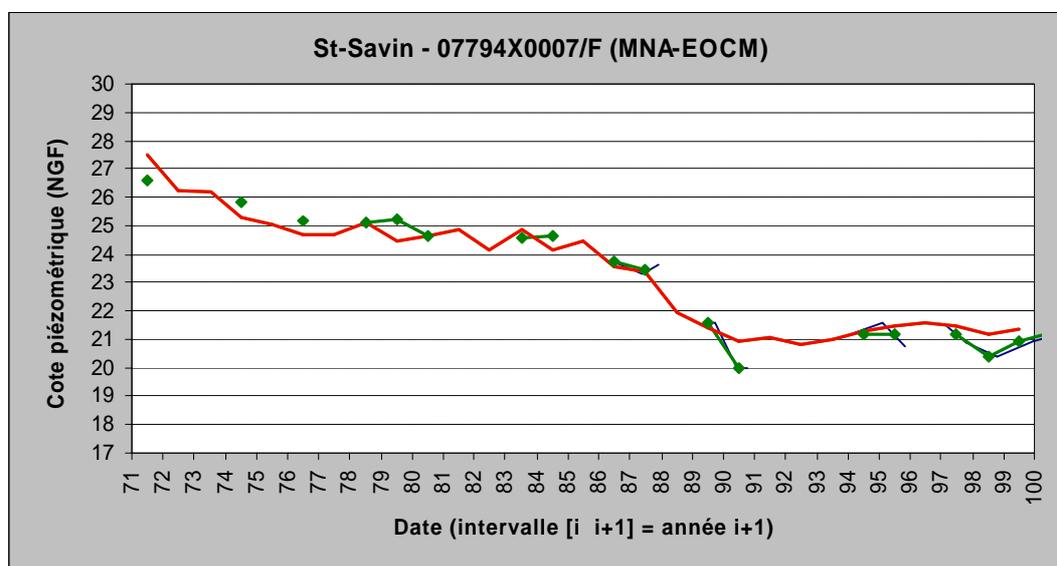
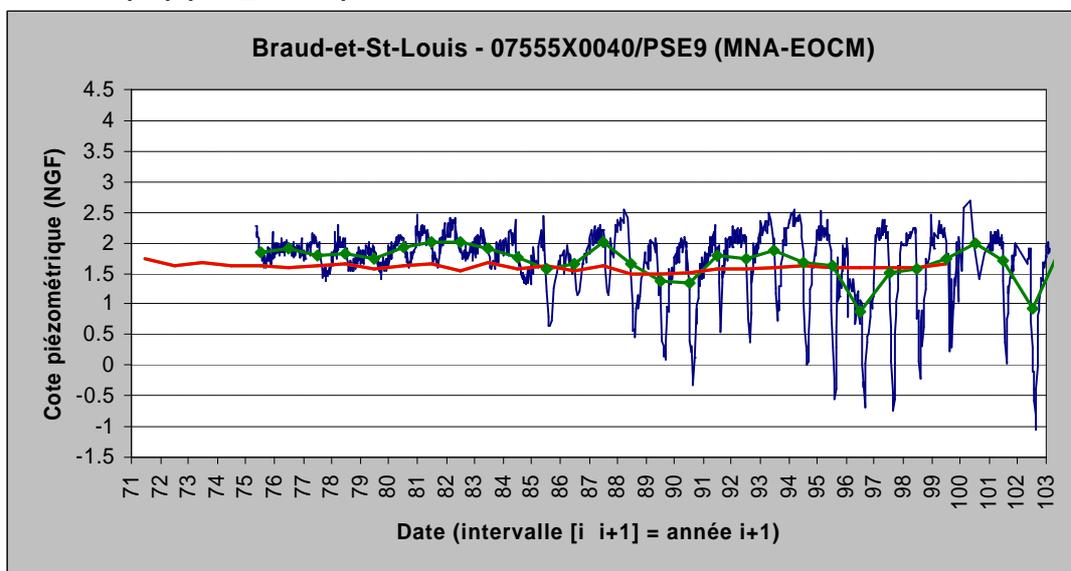
**GIRONDE (33) (UG\_CENTRE) – secteur Nord-Est**

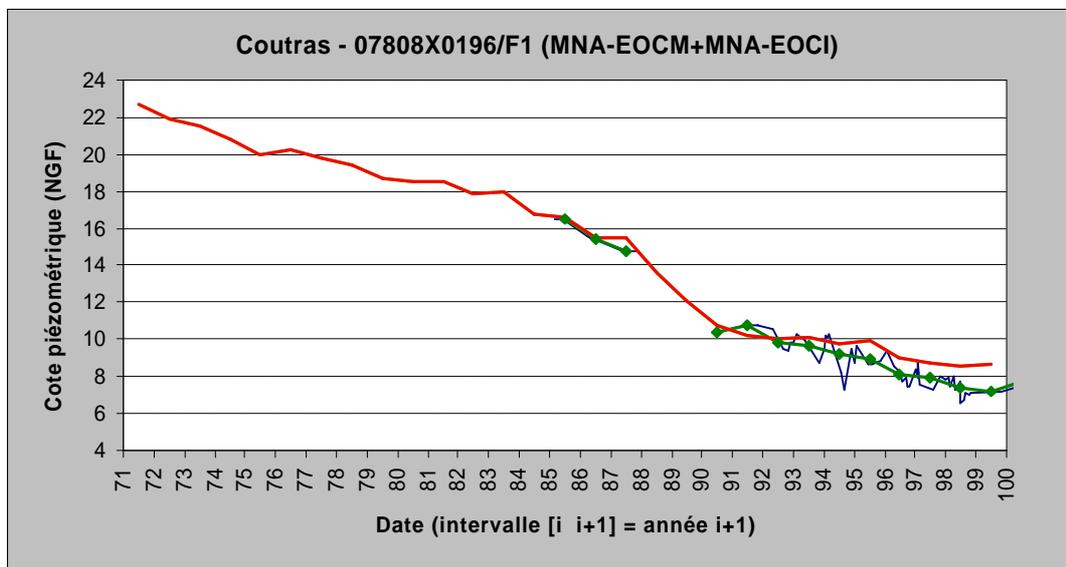
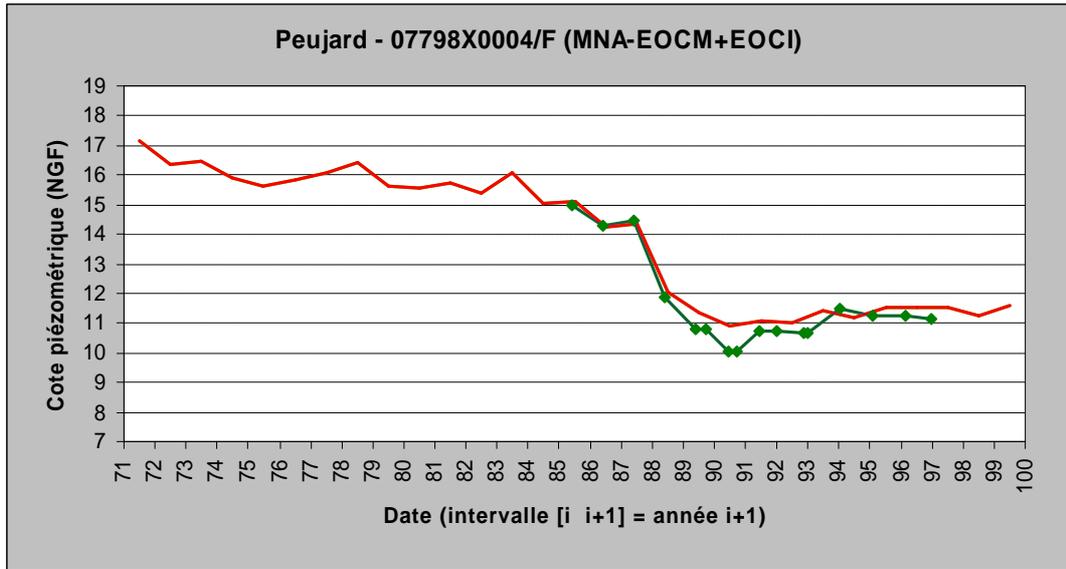




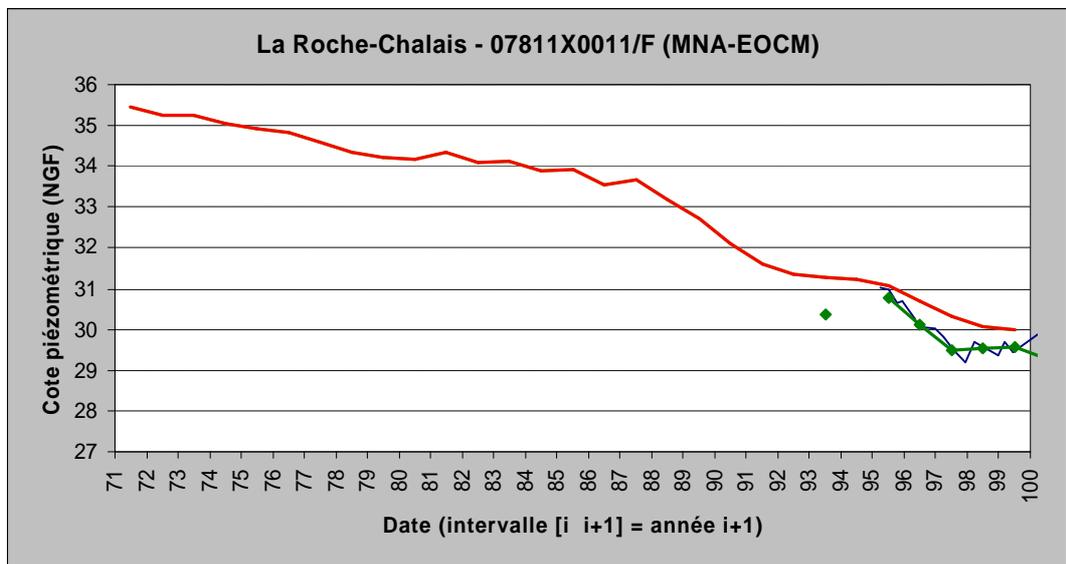


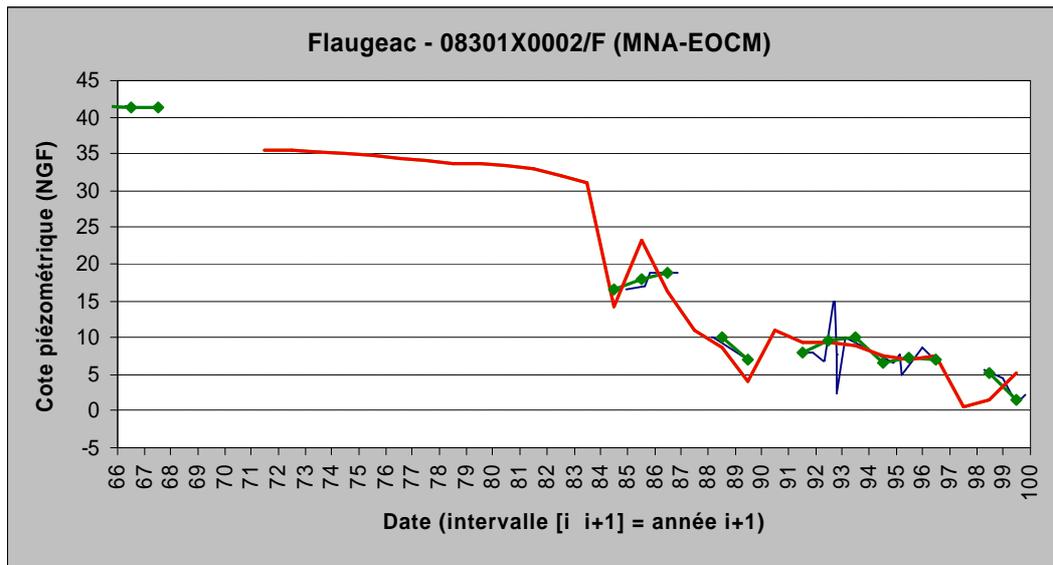
**GIRONDE (33) (UG\_NORD)**



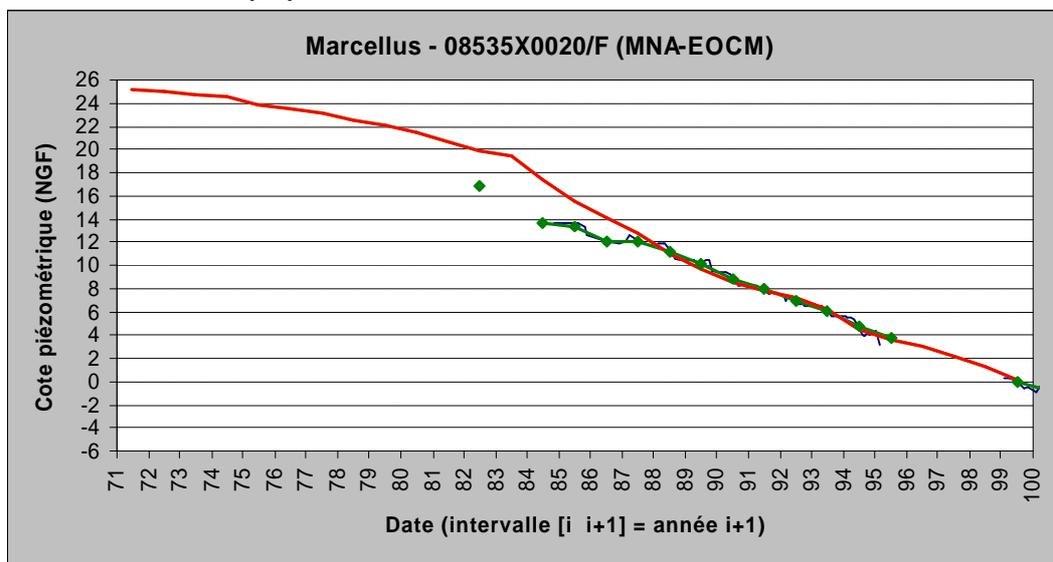


**DORDOGNE (24)**





**LOT-ET-GARONNE (47)**

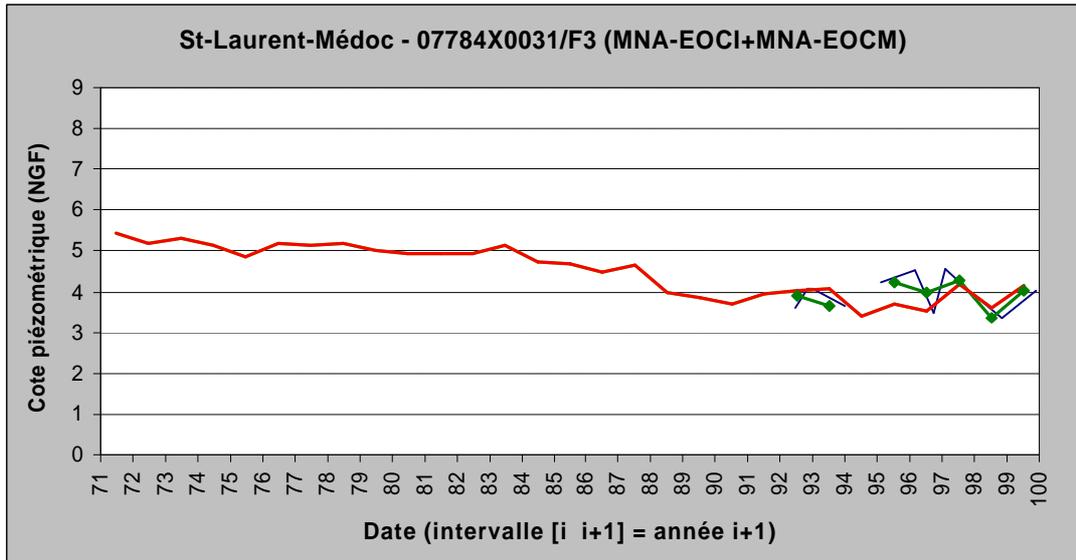
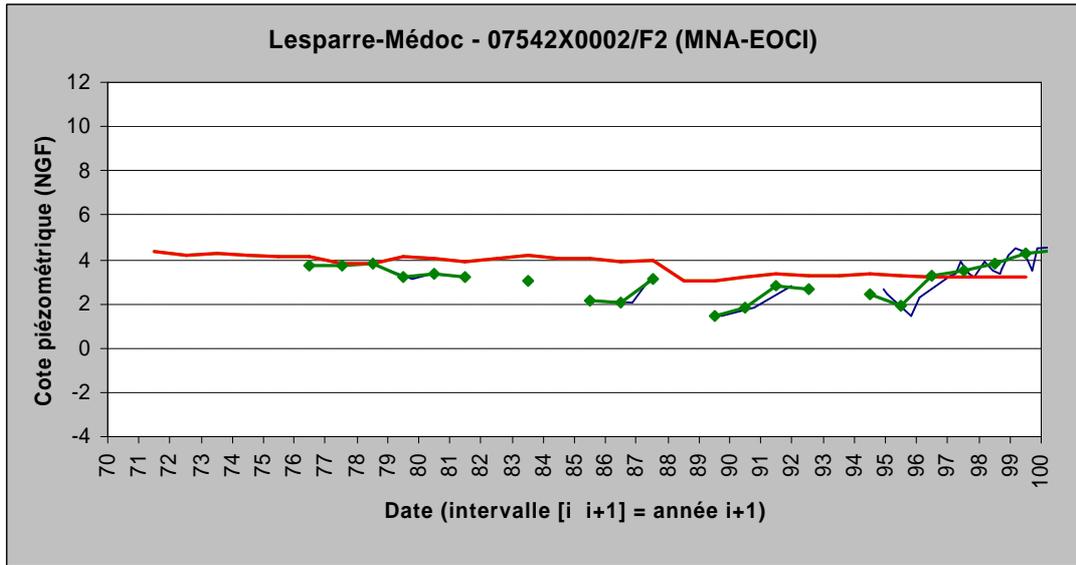


# **Nappe de l'Eocène inférieur**

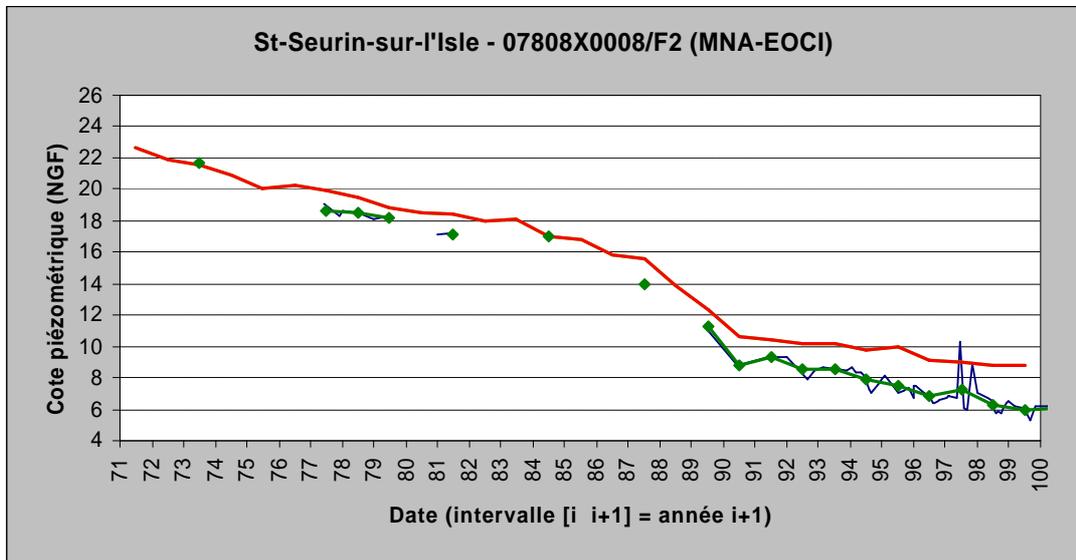
## **MNA-EOCI**

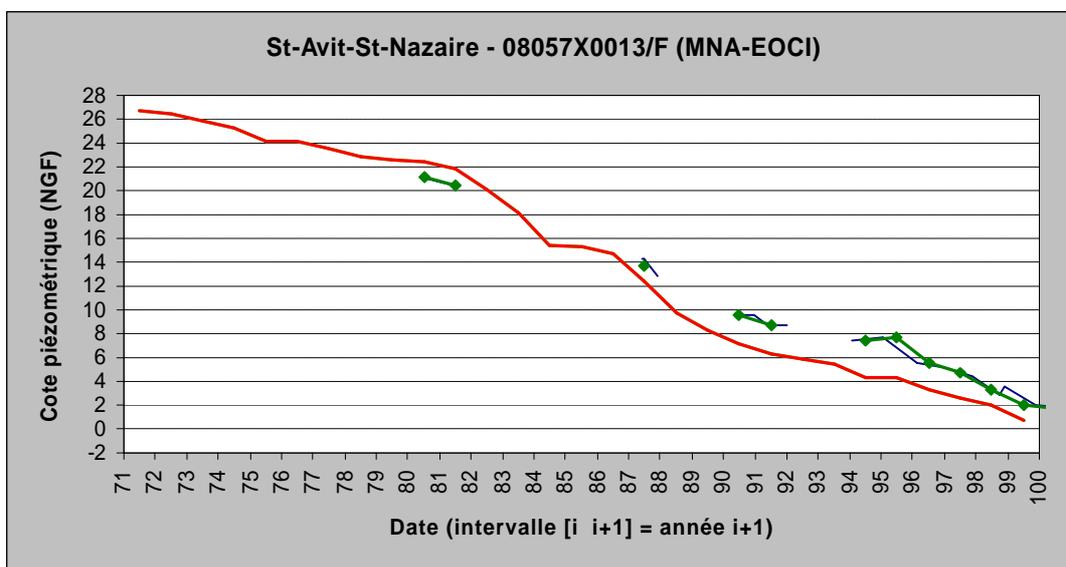
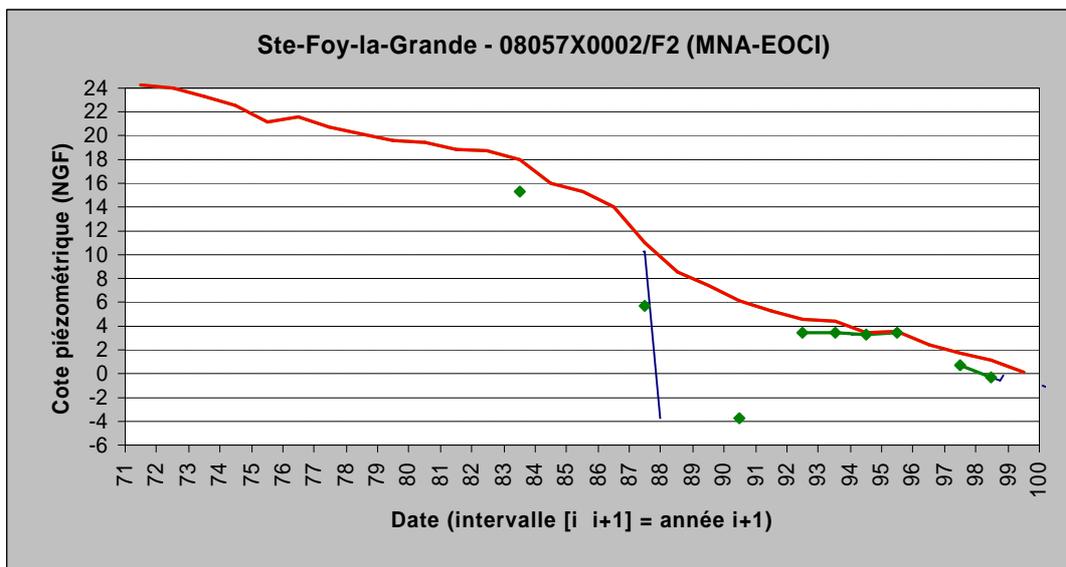
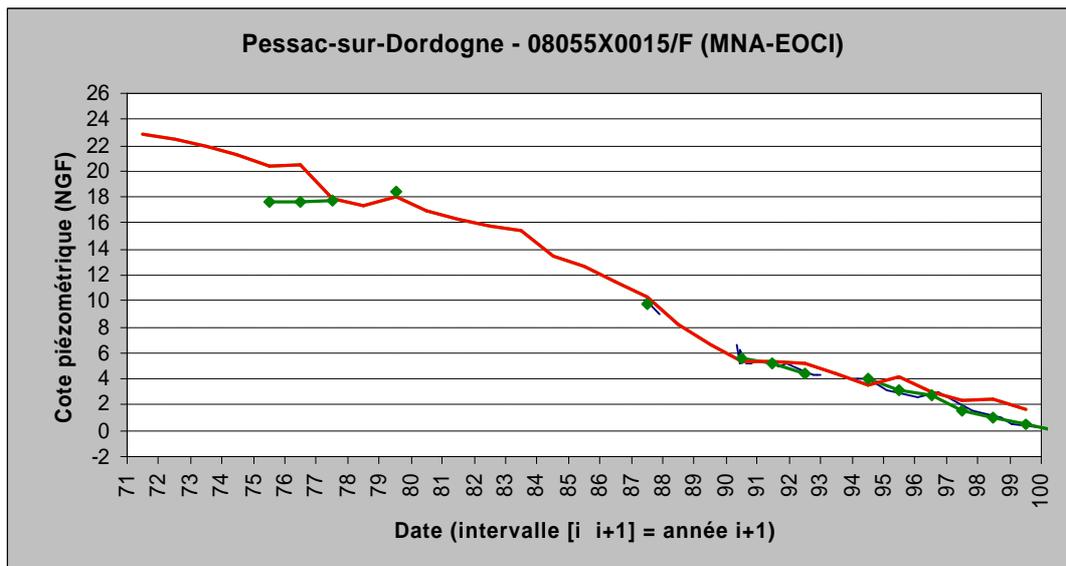


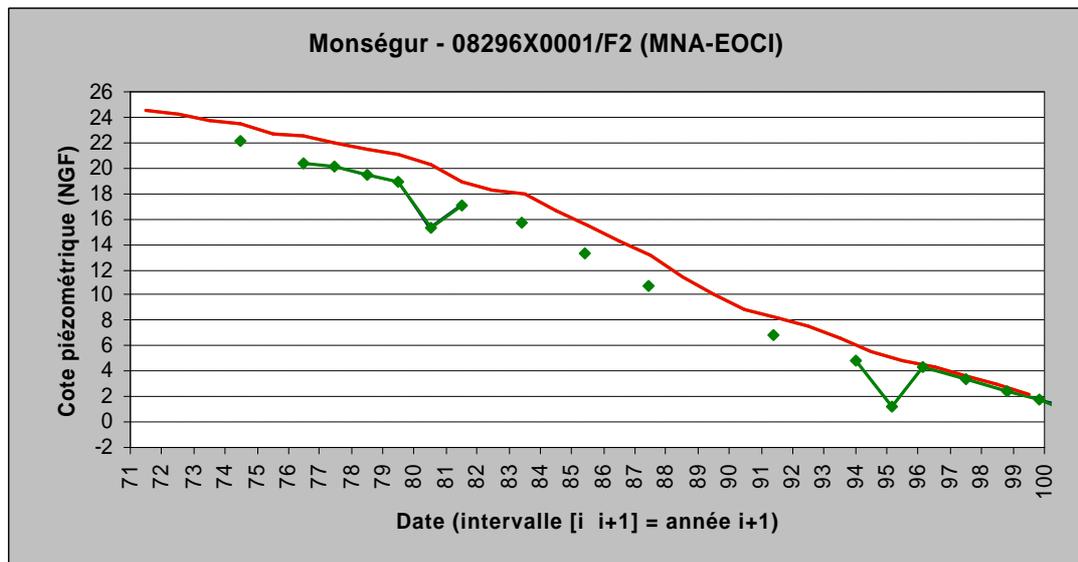
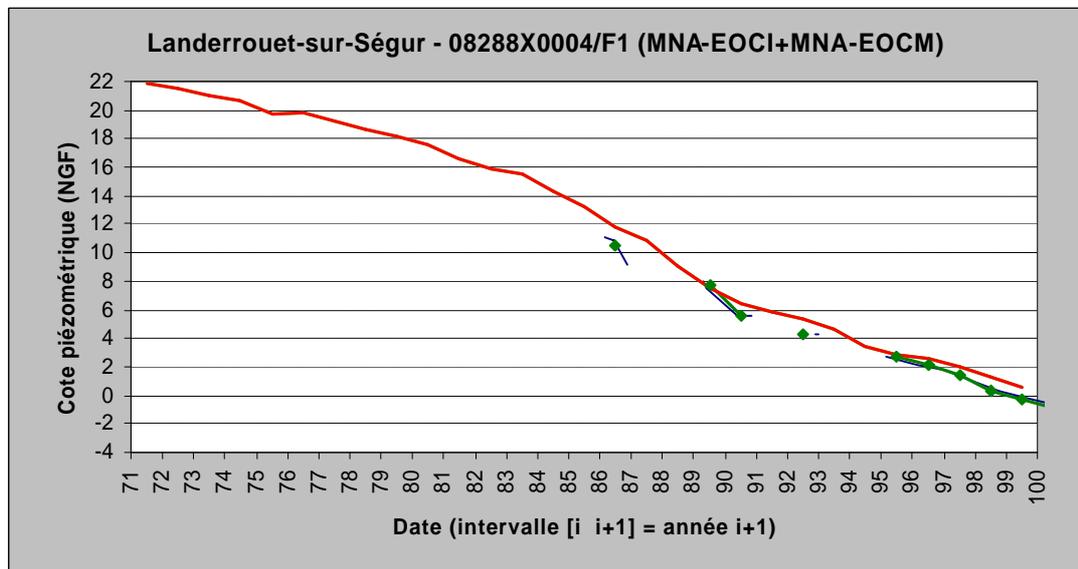
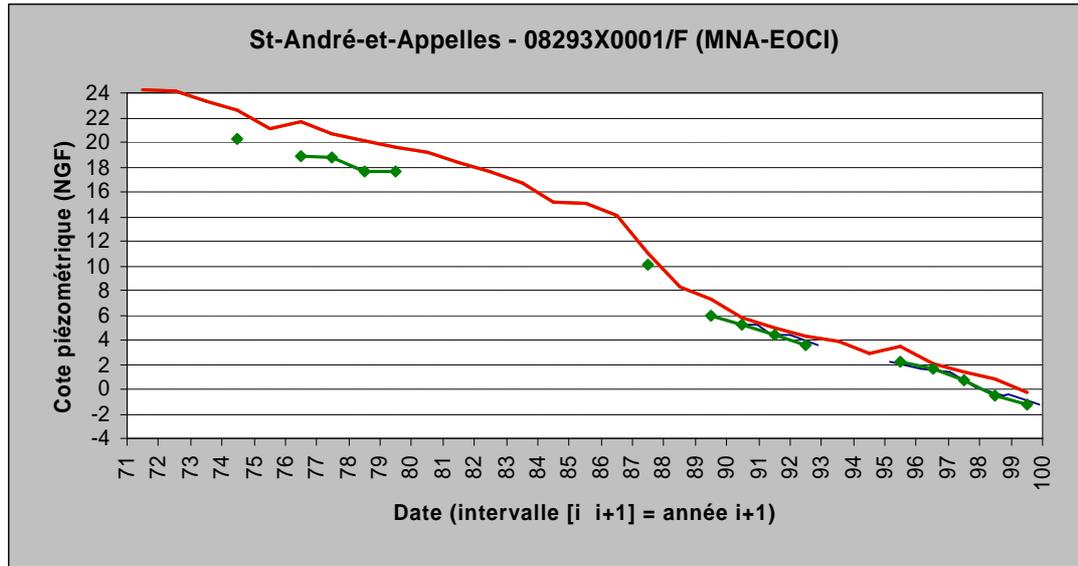
**GIRONDE (33) (UG\_MEDOC)**

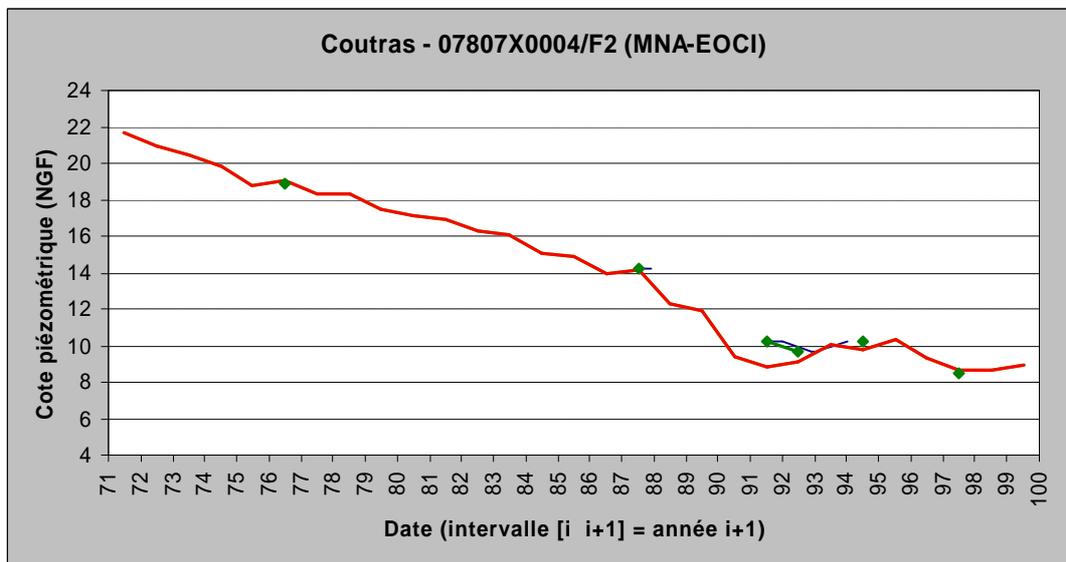
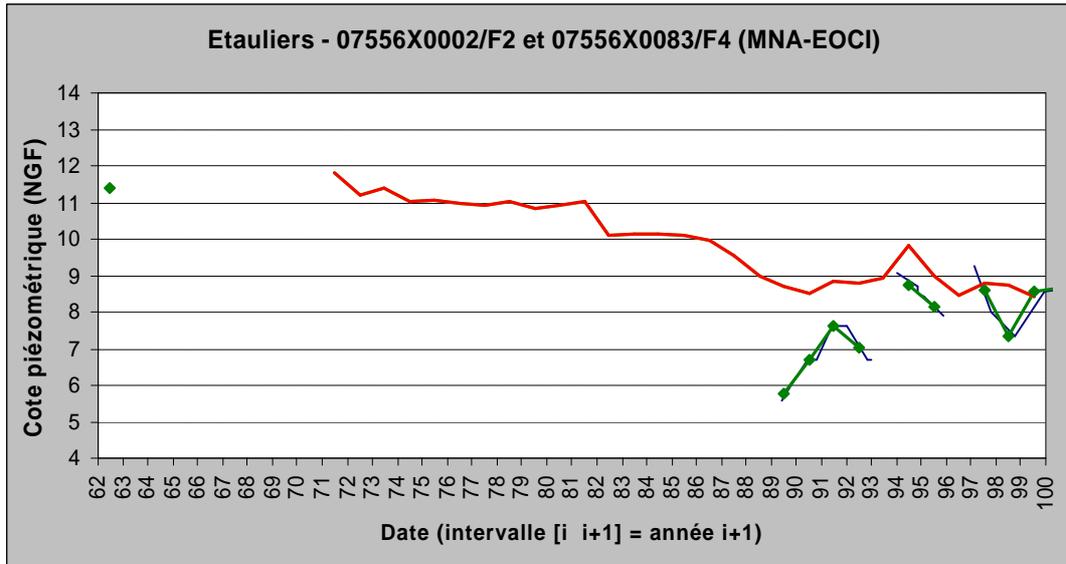


**GIRONDE (33) (UG\_CENTRE)**

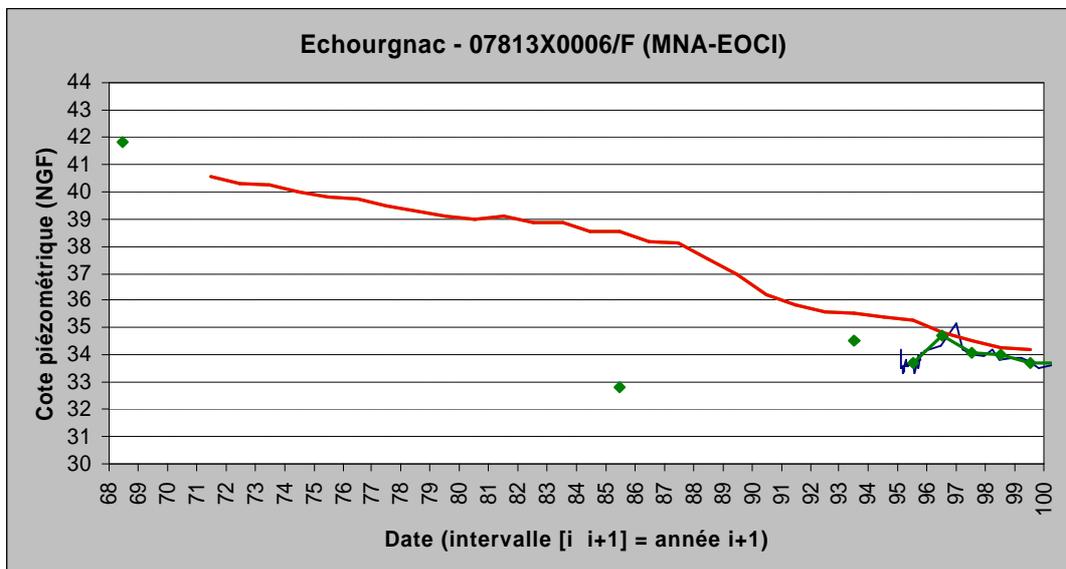


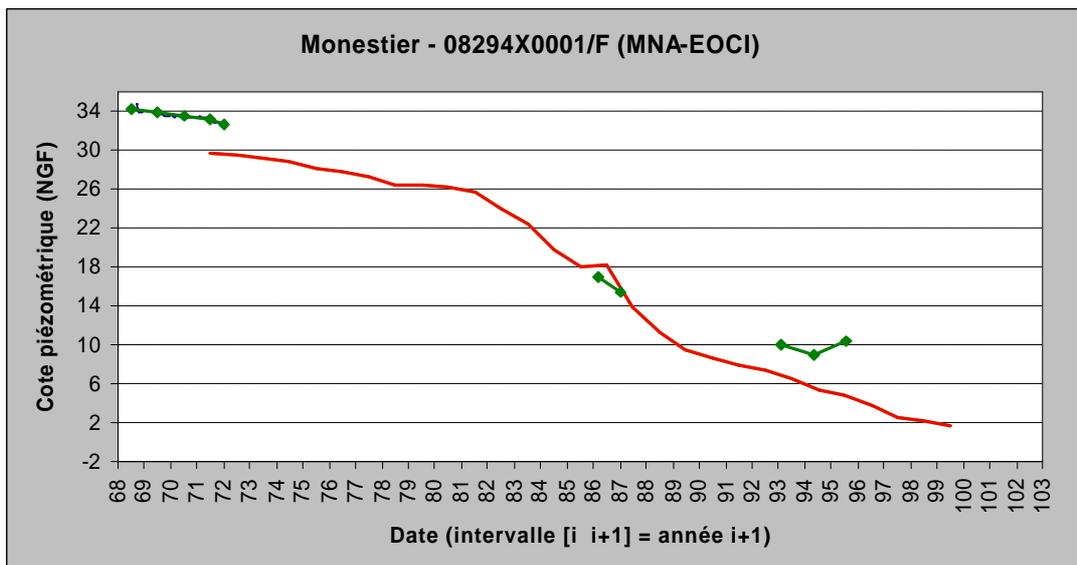
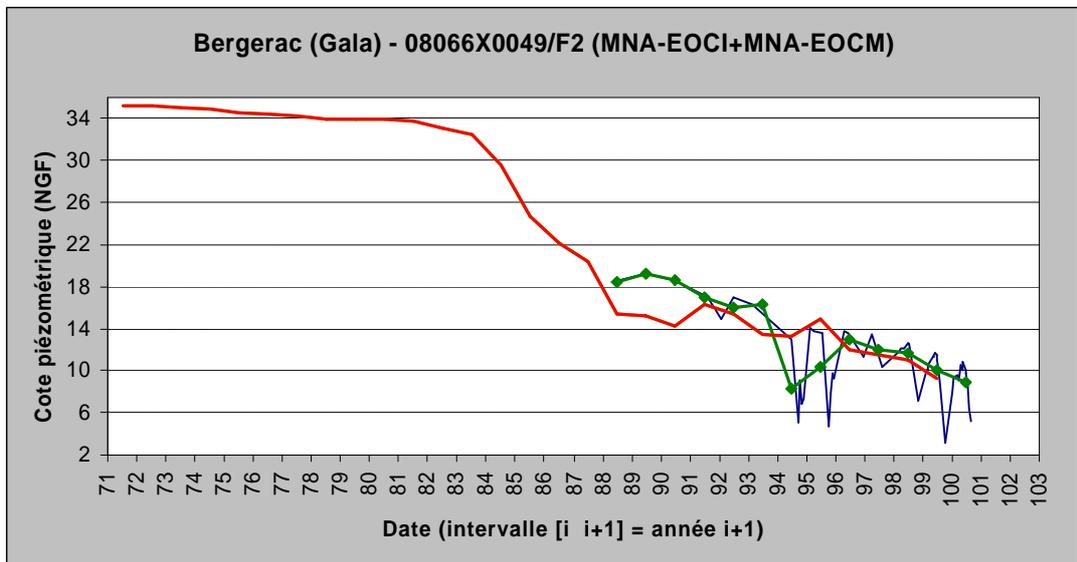
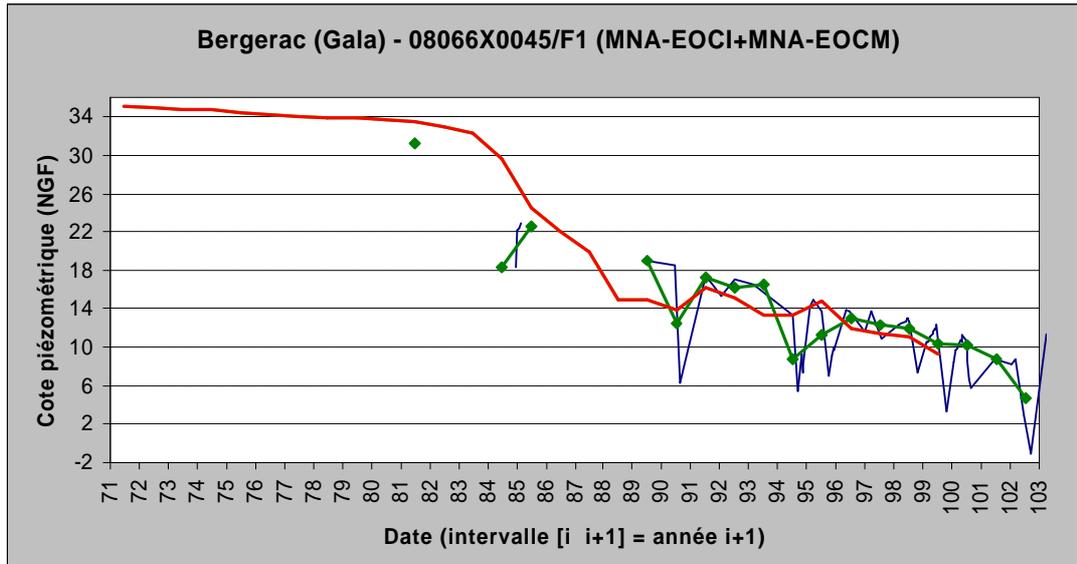




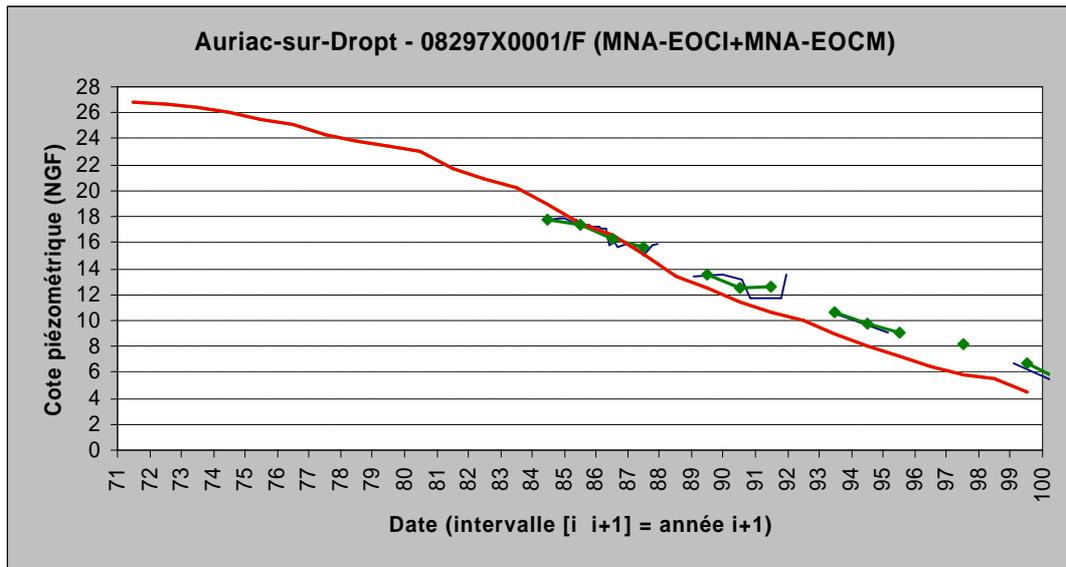


**DORDOGNE (24)**





## LOT-ET-GARONNE (47)



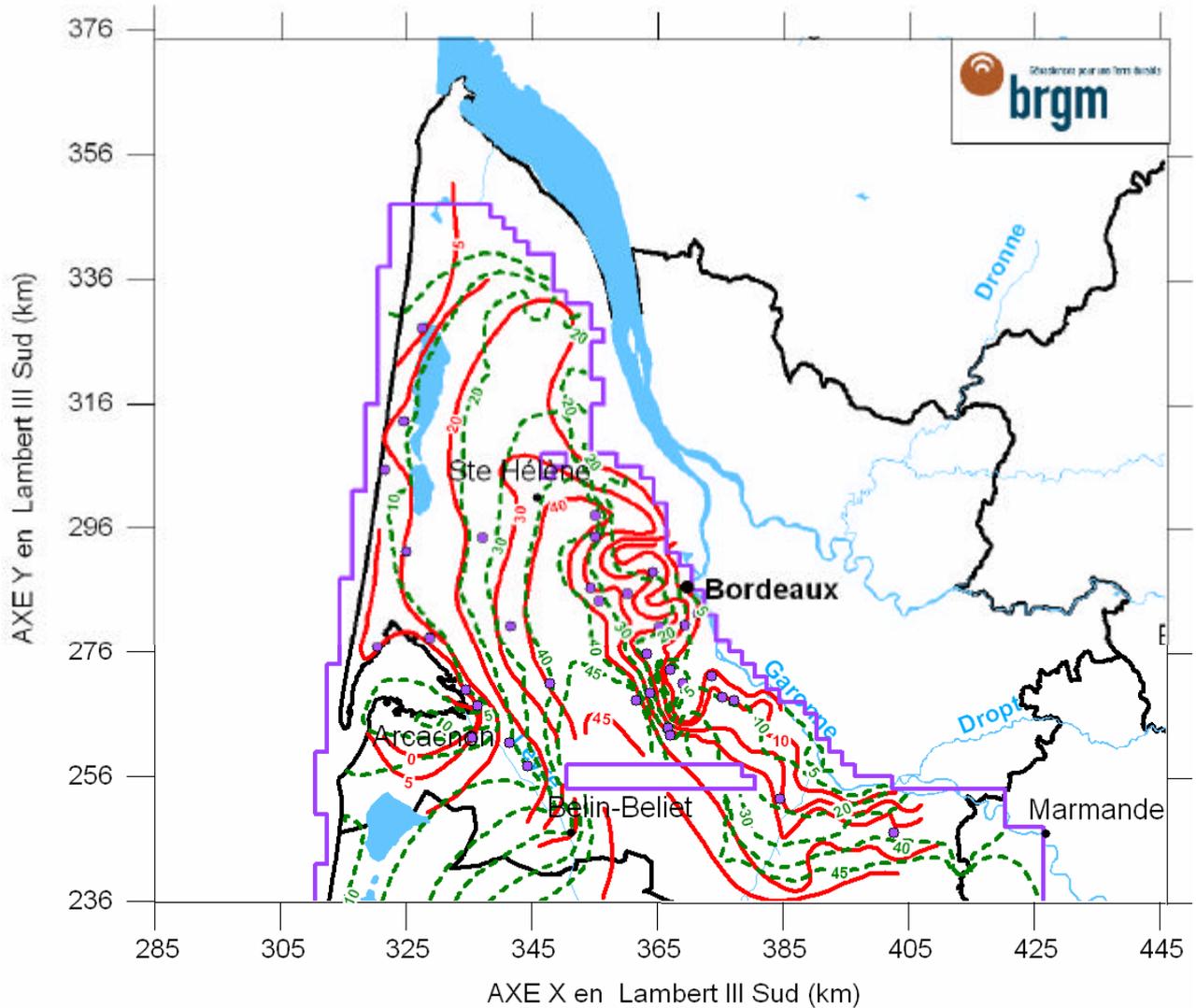
## **Annexe 5**

### **Comparaison des cartes piézométriques tracées à partir des observations et calculées par le modèle Nord-Aquitain (MONA V3.1-2000)**

5.1 Nappe de l'Oligocène – Année 1996

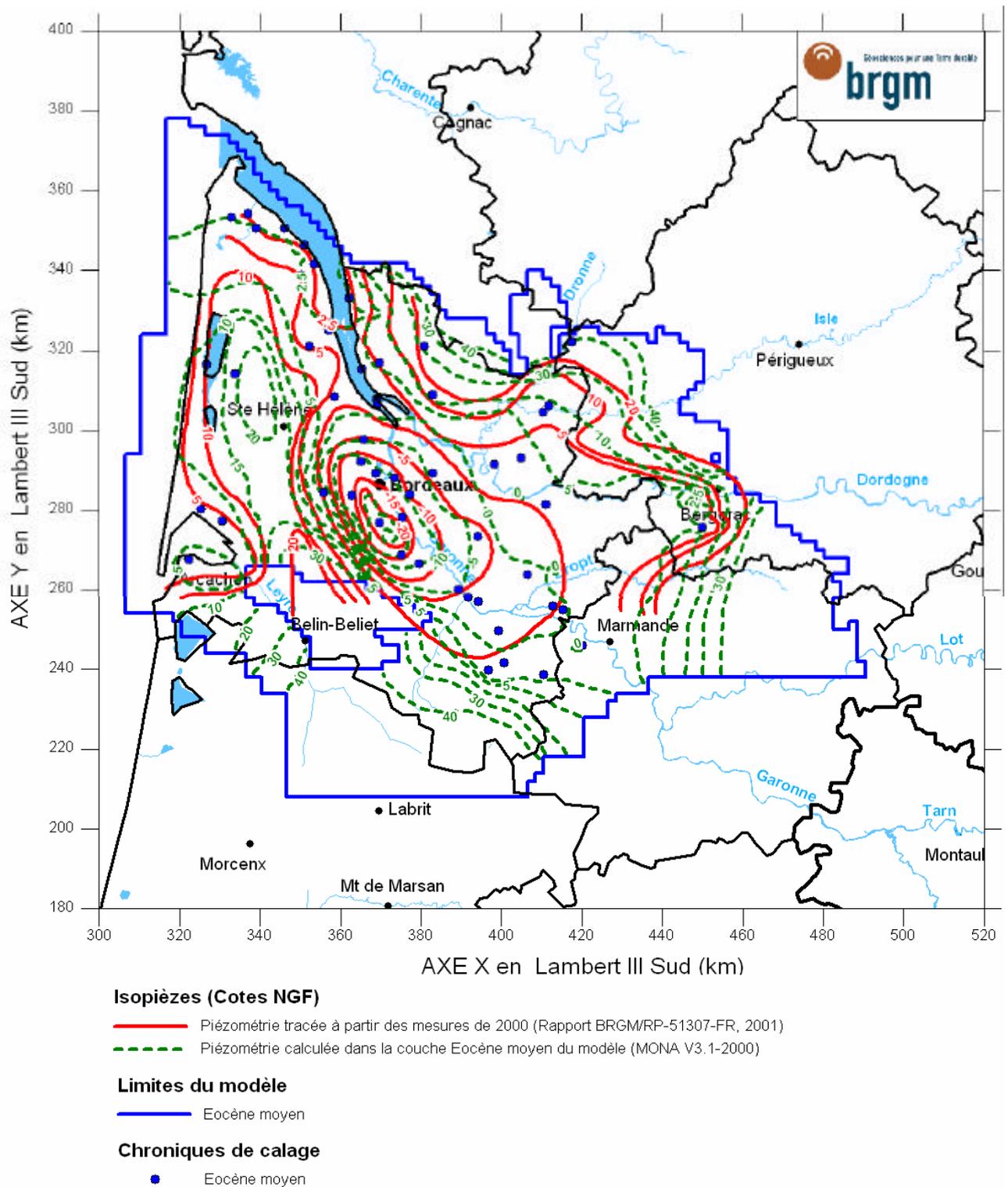
5.2 Nappe de l'Eocène moyen – Année 2000





**Oligocène : Carte piézométrique calculée en 1996 comparée à la carte piézométrique tracée à partir des mesures de 1996**





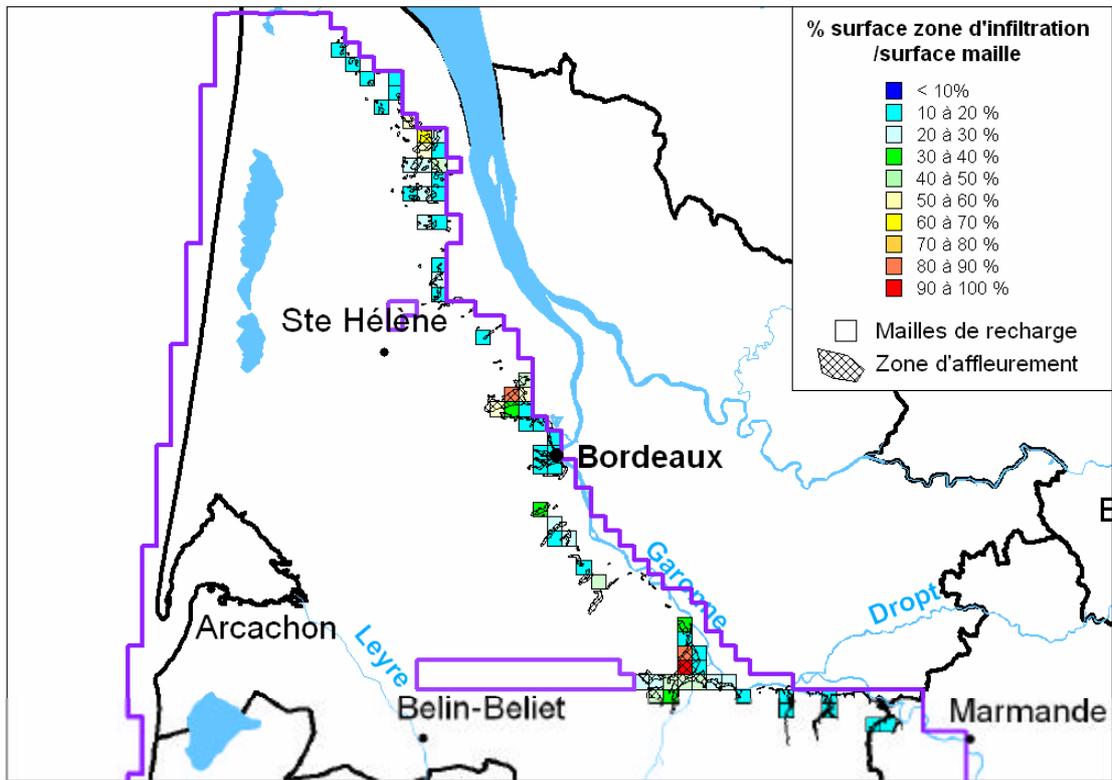
**Eocène : Carte piézométrique calculée en 2000 dans l'Eocène moyen comparée à la carte piézométrique de l'Eocène tracée à partir des mesures de 2000**



## **Annexe 6**

### Zones météorologiques (ZMTO) du modèle



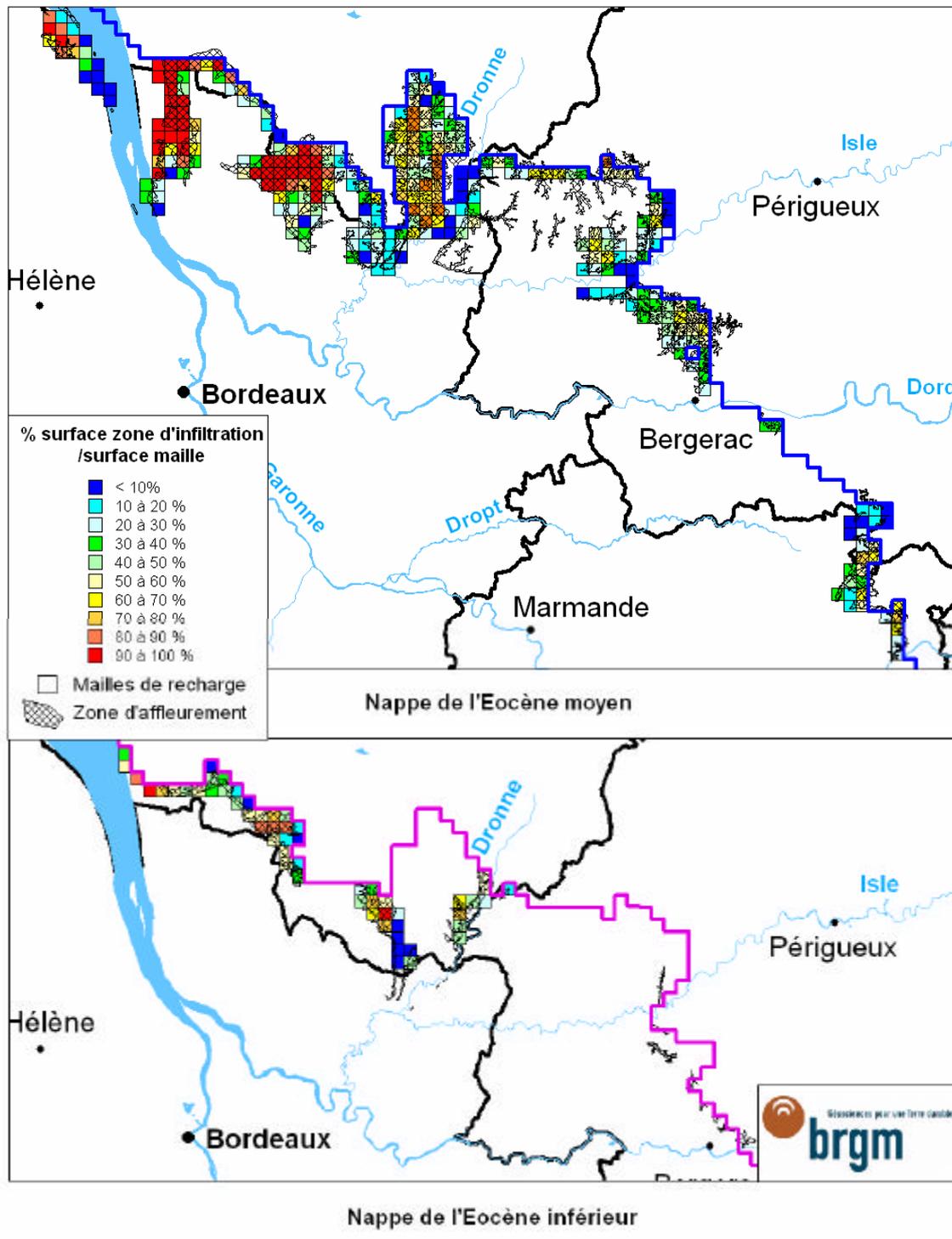


Nappe de l'Oligocène



Nappe de l'Eocène supérieur

**Mailles à flux d'infiltration de l'Oligocène et de l'Eocène supérieur**



**Mailles à flux d'infiltration de l'Eocène moyen et de l'Eocène inférieur**

## **Annexe 7**

Numéros des zones météorologiques de l'Oligocène, de l'Eocène supérieur, moyen et inférieur et valeurs de recharge du régime permanent associées



Station météo prise en compte	Taux d'occupation de l'affleurement dans la maille	Oligocène	
		Zone météo du modèle (ZMTO)	Valeur (mm)
Mérignac (RU de 100 mm) Zone Nord	<10%		
	]10 , 20]	401	18
	]20 , 30]	402	36
	]30 , 40]	403	59
	]40 , 50]	404	72
	]50 , 60]	405	90
	]60 , 70]	406	105
	]70 , 80]		
	]80 , 90]	408	144
	>90%	409	162
	Mérignac (RU de 150 mm) Zone Sud	<10%	
]10 , 20]		411	27
]20 , 30]		412	53
]30 , 40]			
]40 , 50]		414	106
]50 , 60]		415	132
]60 , 70]			
]70 , 80]			
]80 , 90]			
>90%		419	239

**Numérotation des zones météorologiques de l'Oligocène et valeurs de recharge du régime permanent associées**



Station météo considérée	Taux d'occupation de l'affleurement dans la maille	Eocène supérieur		Eocène moyen		Eocène inférieur	
		Zone météo du modèle (ZMTO)	Valeur (mm)	Zone météo du modèle (ZMTO)	Valeur (mm)	Zone météo du modèle (ZMTO)	Valeur (mm)
Mérignac (RU de 150 mm)	<10%			600	12	700	10
	<b>]10 , 20]</b>	501	7	601	21	701	18
	<b>]20 , 30]</b>	502	9	602	31	702	27
	<b>]30 , 40]</b>			603	42	703	36
	<b>]40 , 50]</b>	504	20	604	52	704	45
	<b>]50 , 60]</b>			605	61	705	54
	<b>]60 , 70]</b>	506	30	606	84	706	72
	<b>]70 , 80]</b>	507	35	607	94	707	81
	<b>]80 , 90]</b>	508	40	608	105	708	91
	>90%	509	45	609	141	709	123
	<b>Zones supplémentaires</b>	551	15				
Bergerac (RU de 150 mm)	<10%			610	5		
	<b>]10 , 20]</b>			611	8	711	7
	<b>]20 , 30]</b>			612	12	712	10
	<b>]30 , 40]</b>			613	16		
	<b>]40 , 50]</b>			614	20	714	17
	<b>]50 , 60]</b>			615	21	715	18
	<b>]60 , 70]</b>			616	33	716	29
	<b>]70 , 80]</b>			617	37	717	32
	<b>]80 , 90]</b>			618	41		
	>90%						
	<b>Zones supplémentaires</b>	552	10				

**Numérotation des zones météorologiques de l'Eocène et valeurs de recharge du régime permanent associées**



## **Annexe 8**

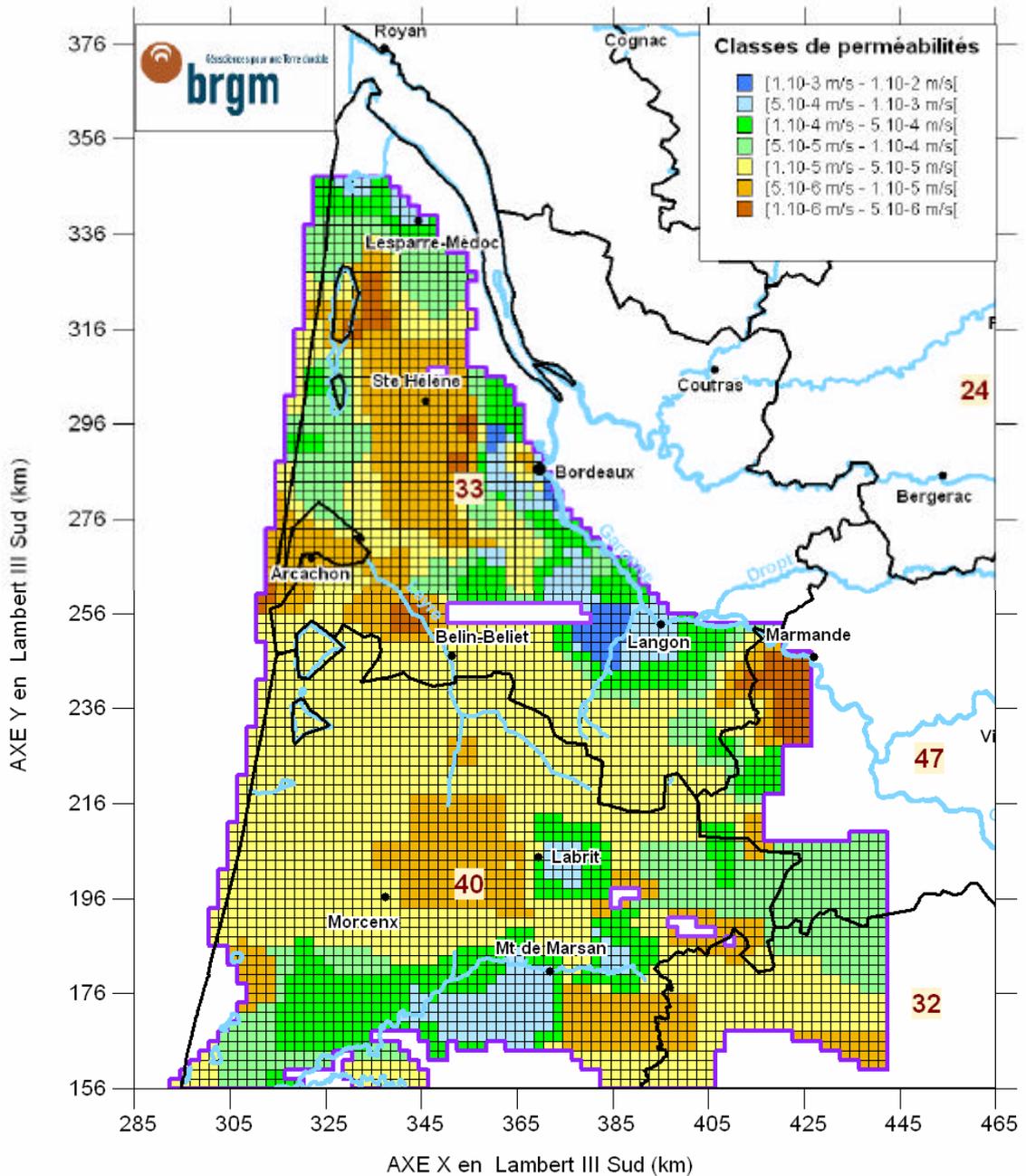
### Cartographie des paramètres hydrodynamiques issus du calage

8.1 Perméabilités de couches

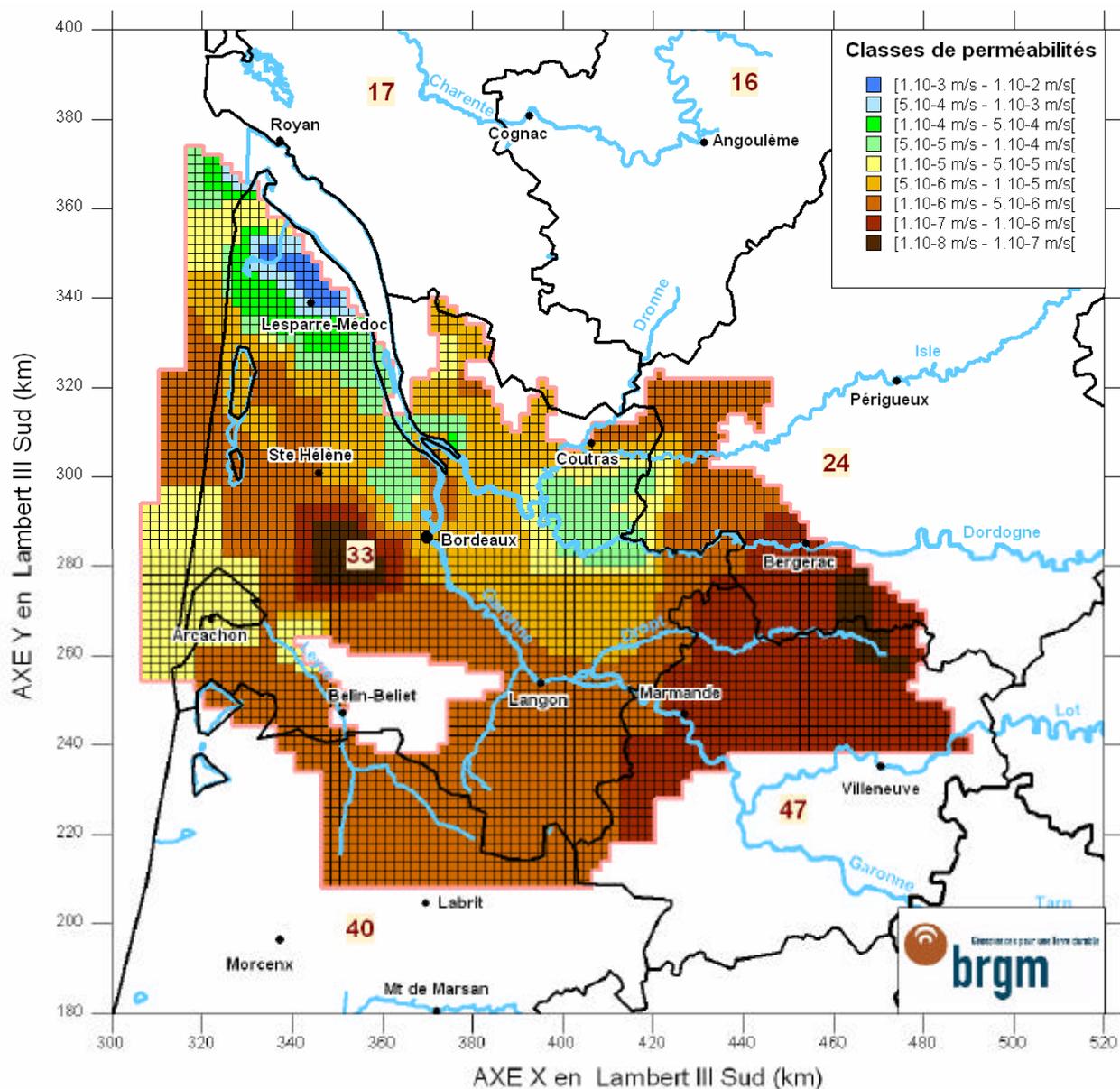
8.2 Perméabilités des épontes

8.3 Coefficient d'emmagasinement captifs des couches

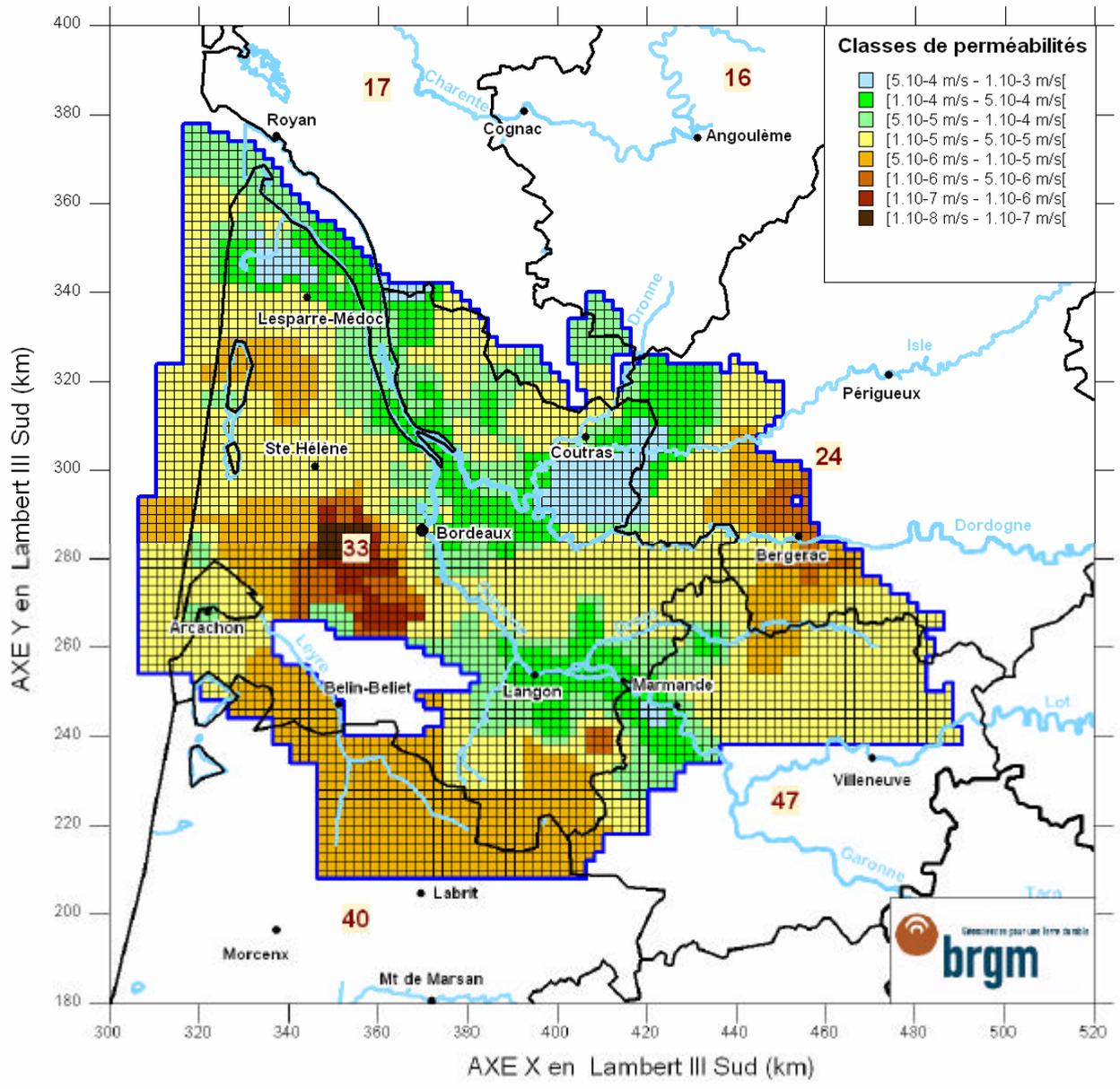




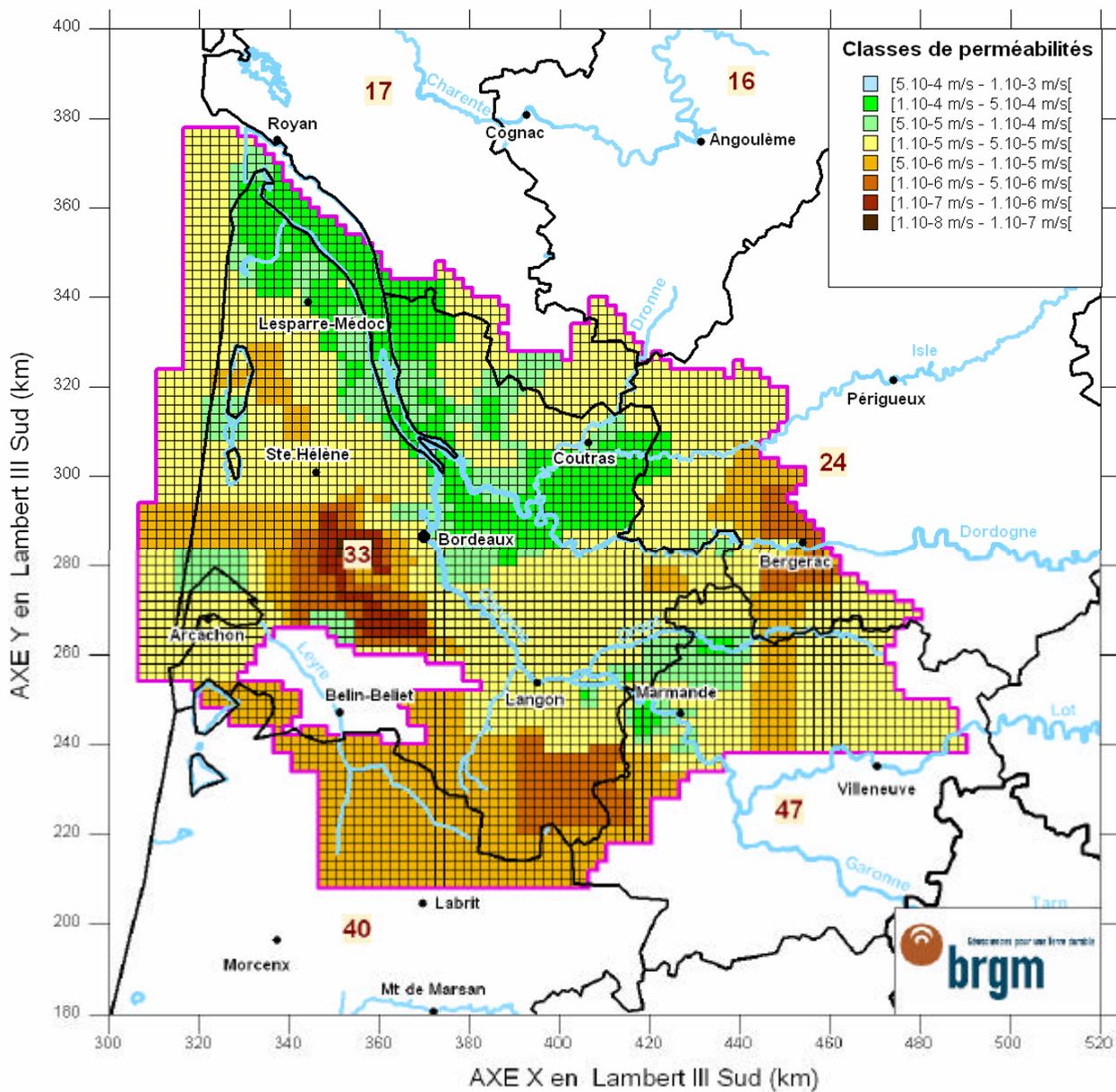
**Carte indicative des perméabilités de l'Oligocène issues du calage**



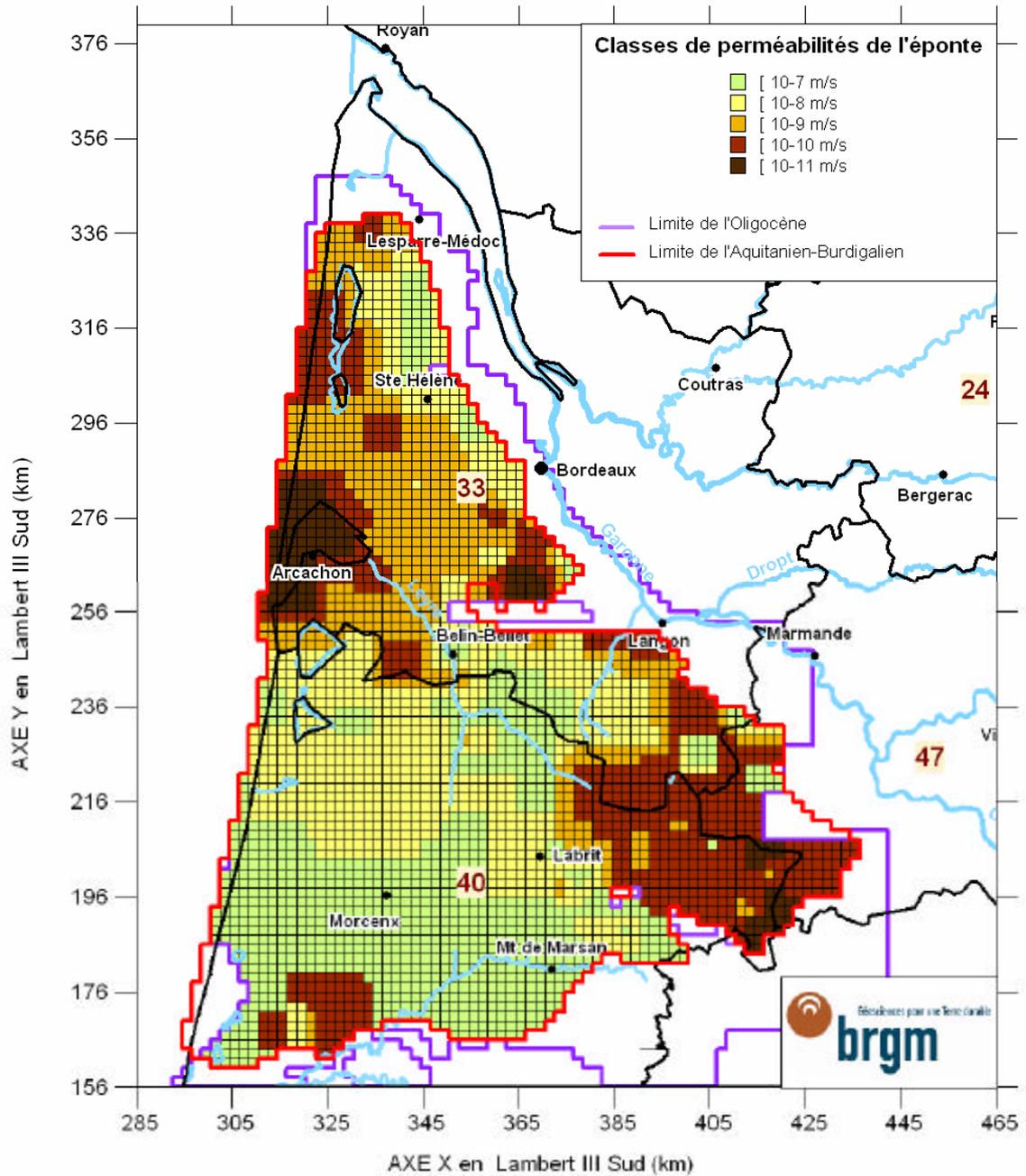
**Carte indicative des perméabilités de l'Eocène supérieur issues du calage**



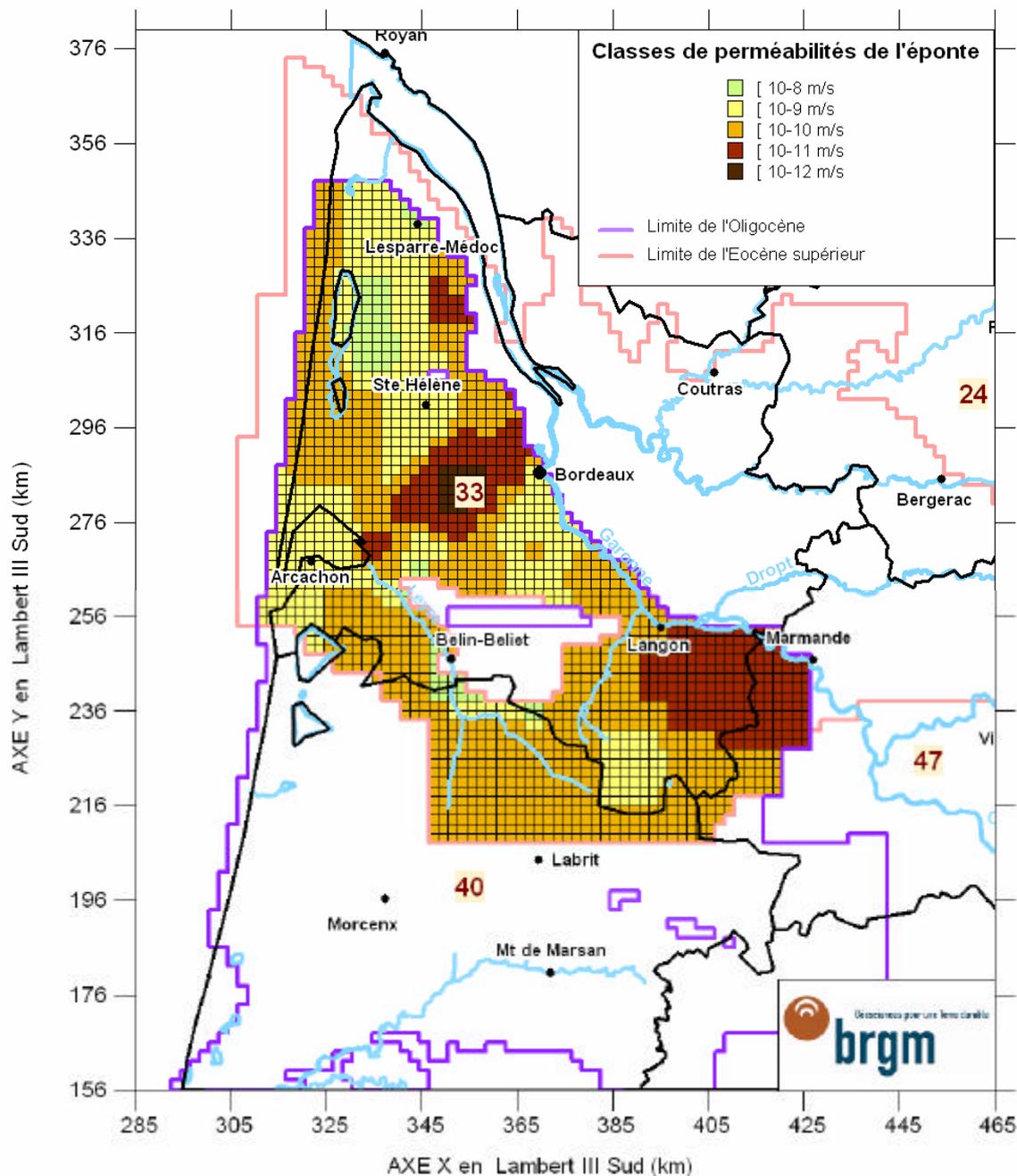
**Carte indicative des perméabilités de l'Eocène moyen issues du calage**



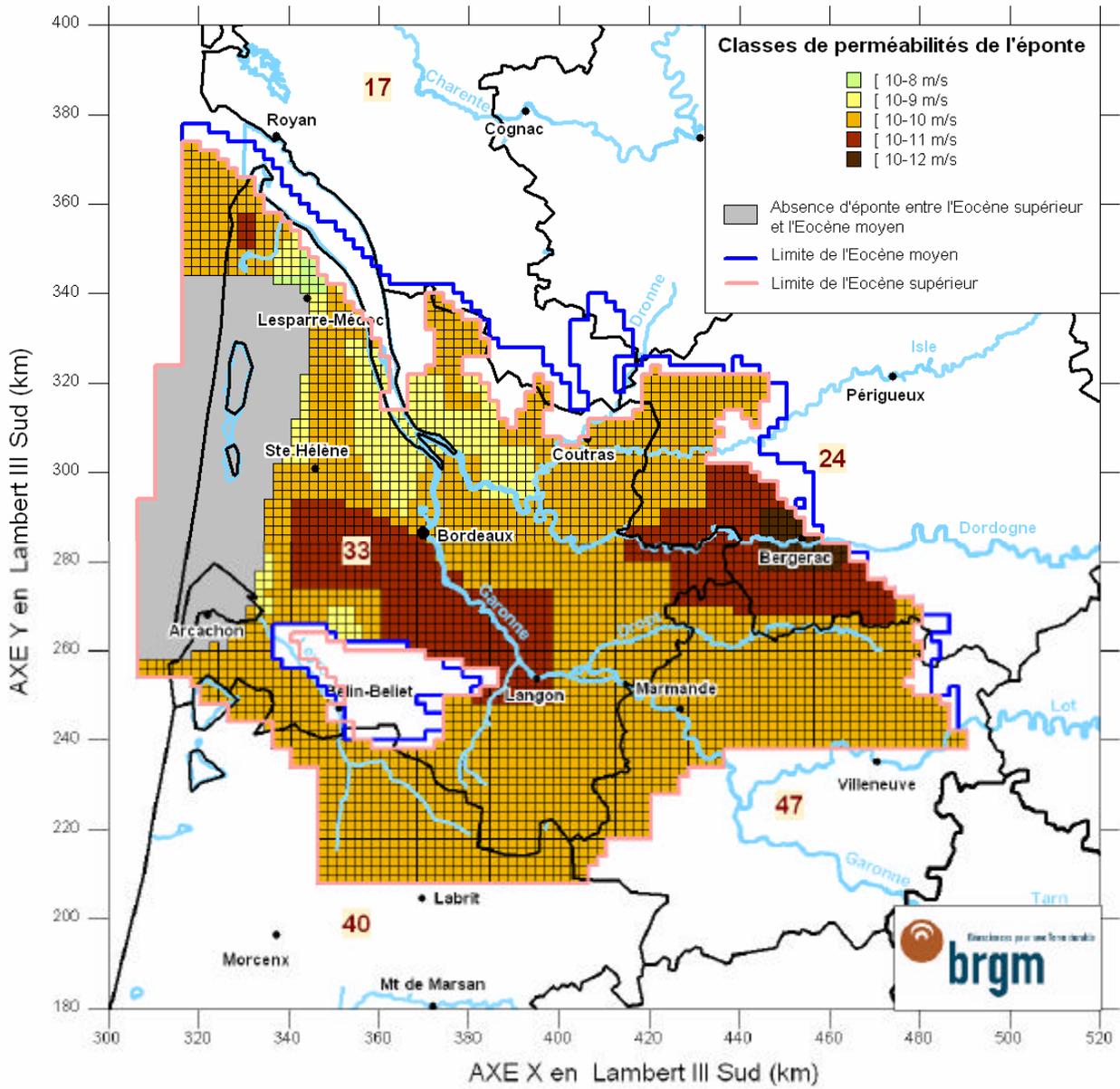
**Carte indicative des perméabilités de l'Eocène inférieur issues du calage**



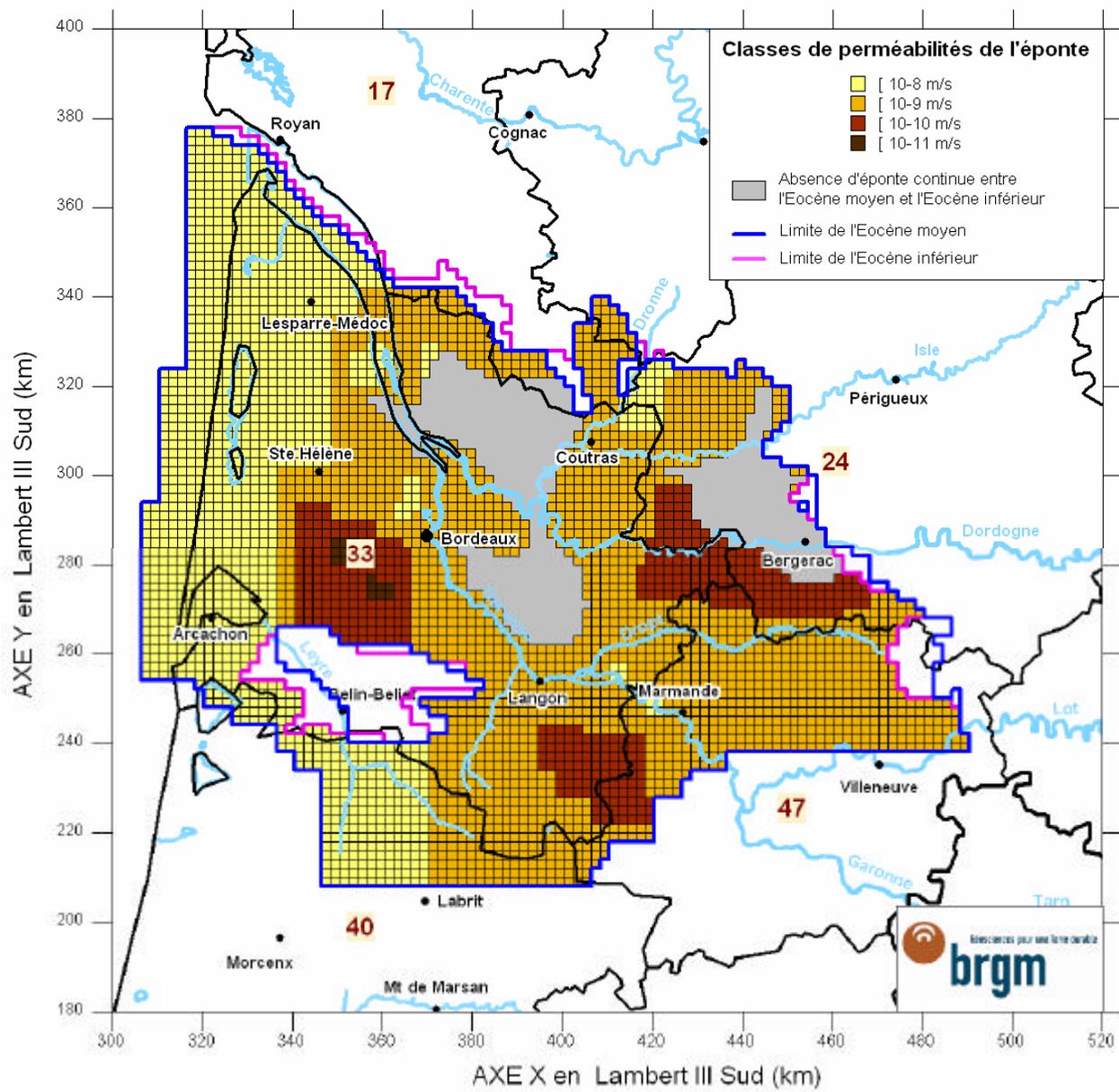
**Carte indicative des perméabilités de l'éponte supérieure de l'Oligocène issues du calage**



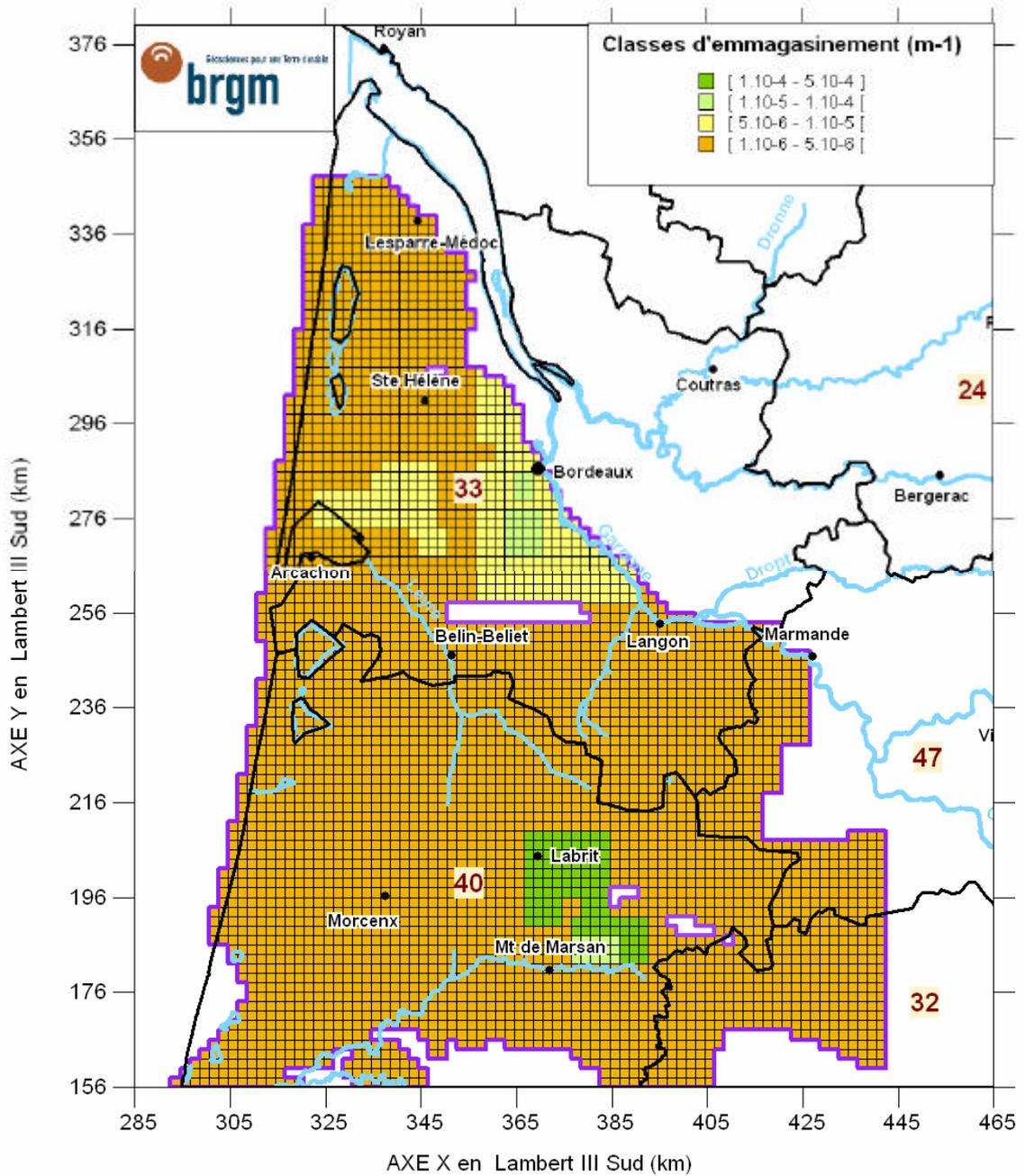
**Carte indicative des perméabilités de l'éponte supérieure de l'Eocène supérieur issues du calage**



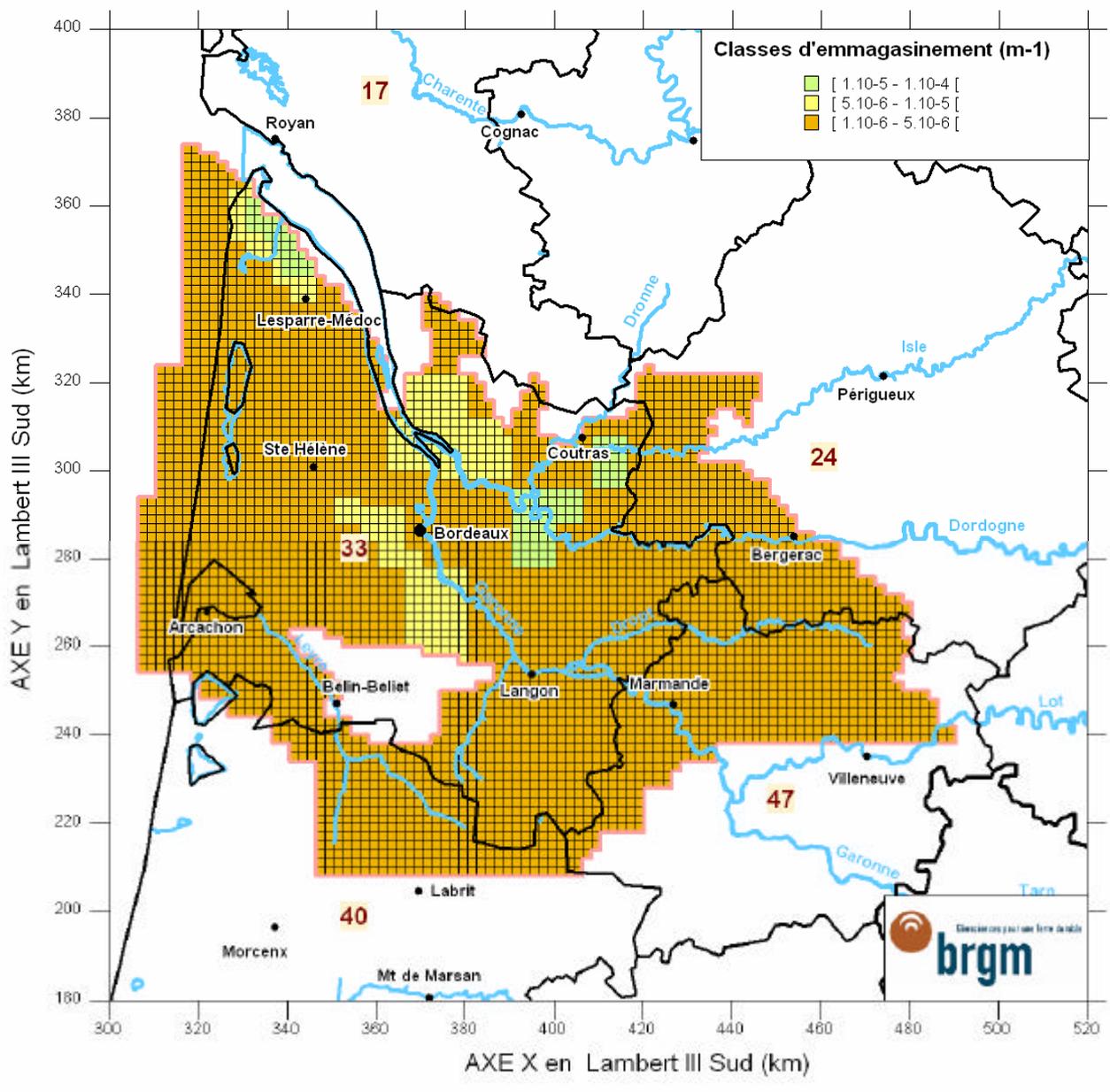
**Carte indicative des perméabilités de l'éponte supérieure de l'Eocène moyen issues du calage**



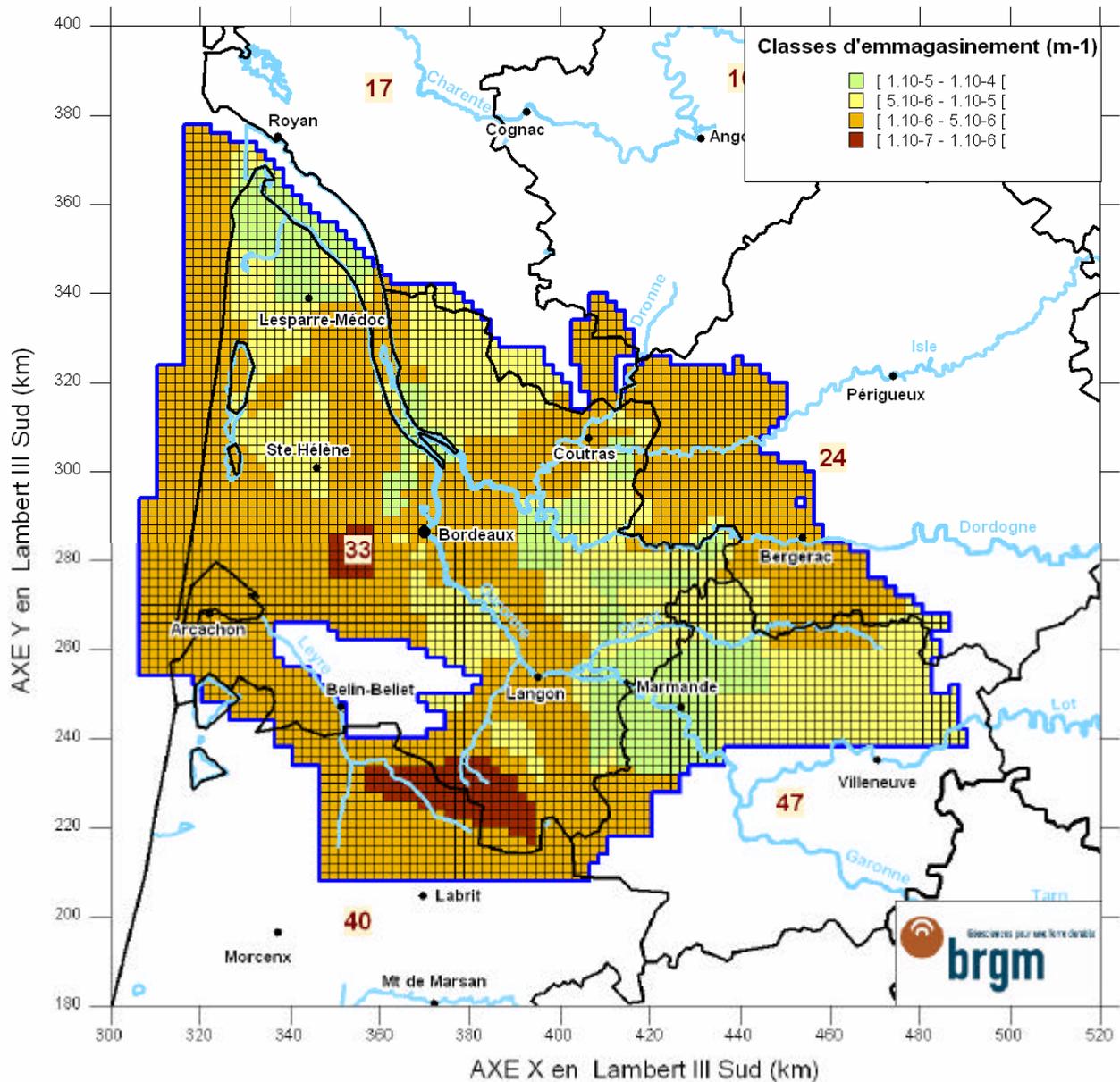
**Carte indicative des perméabilités de l'éponte supérieure de l'Eocène inférieur issues du calage**



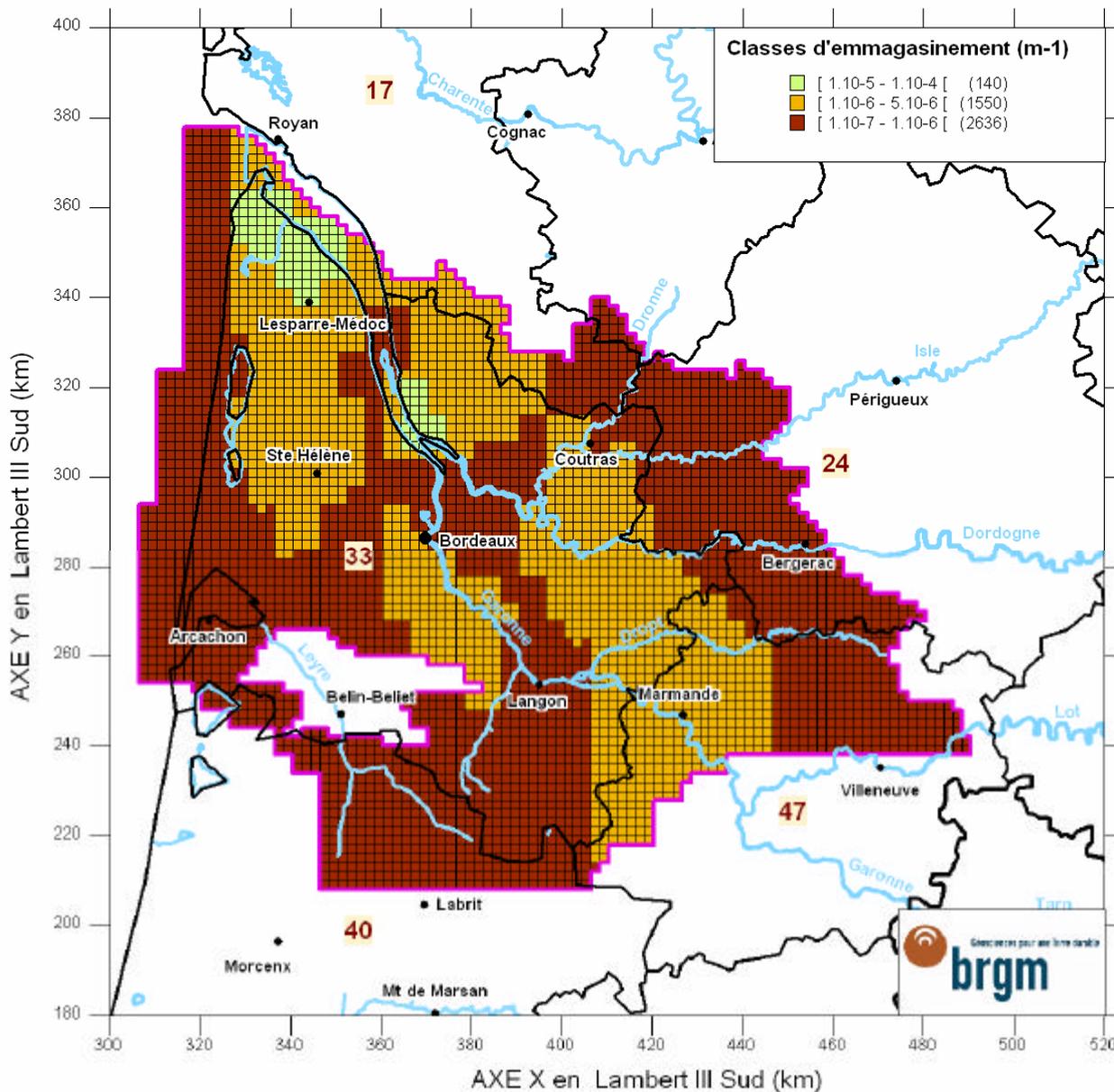
**Carte indicative des coefficients d'emmagasinement captifs de l'Oligocène  
 issus du calage**



**Carte indicative des coefficients d'emmagasinement captifs de l'Eocène supérieur  
 issus du calage**



**Carte indicative des coefficients d'emmagasinement captifs de l'Eocène moyen  
 issus du calage**



**Carte indicative des coefficients d'emmagasinement captifs de l'Eocène inférieure issus du calage**

Centre scientifique et technique  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 6009  
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