

Document public

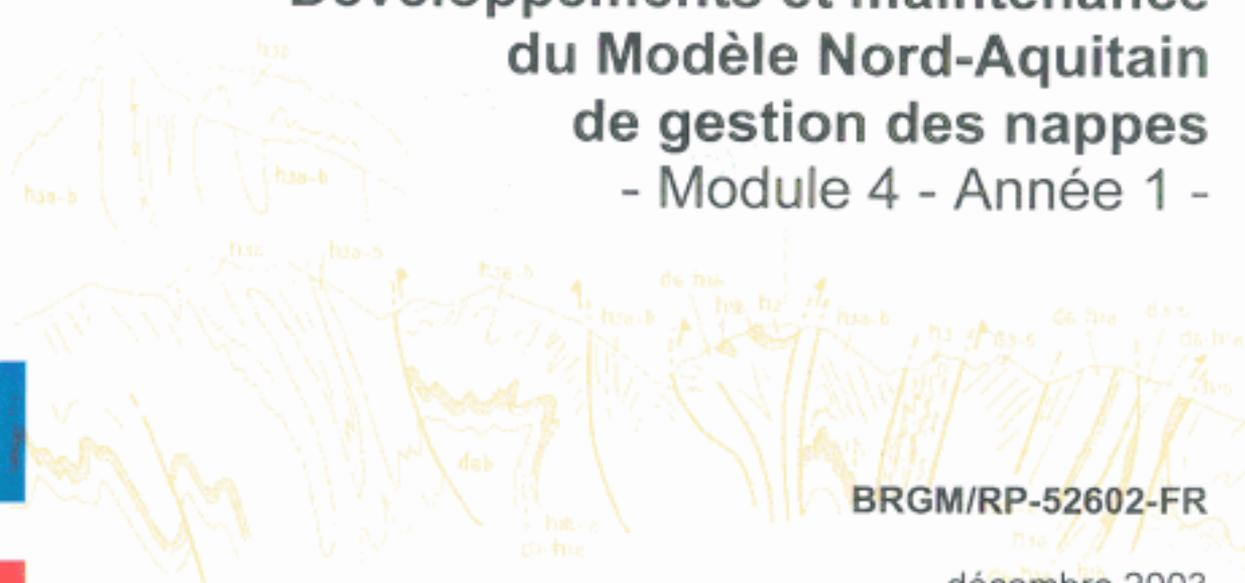


Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine

Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Module 4 - Année 1 -



Prefecture de la région Aquitaine
Secrétariat général pour les affaires régionales



BRGM/RP-52602-FR

décembre 2003

Agence de l'Eau
Adour Garonne



Document public

Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine

Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Module 4 - Année 1 -

Passage du modèle à la maille de 2 x 2 km
Subdivision de la couche de l'Éocène



BRGM/RP-52602-FR

décembre 2003



Prefecture de la région Aquitaine
Secrétariat général pour les affaires régionales

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service Public du BRGM 2002-EAU-208



DIRECTION REGIONALE DE
L'ENVIRONNEMENT
AQUITAINE

N. Pédrón, J.J. Seguin, J.P. Capdeville



Agence de l'Eau
Adour Garonne



Mots clés : Modélisation hydrodynamique, Bassin Nord-Aquitain, Helvétien, Burdigalien-Aquitainien, Oligocène, Éocène supérieur, Éocène moyen, Éocène inférieur, Campano-Maastrichtien, Turonien-Coniacien-Santonien.

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

N. Pédron, J.J. Seguin, J.P. Capdeville (2003)
Gestion des Eaux Souterraines en Région Aquitaine.
Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Module 4 -
Année1 - BRGM/RP-52602-FR. 56 pages, 25 figures, 5 tableaux, 7 annexes.

Synthèse

Cette étude est réalisée dans le cadre de l'année 1 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. 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 au Service Géologique Régional (SGR) depuis plus de 5 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 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 1998 le SGR dispose d'un modèle régional de gestion de la ressource, le Modèle Nord-Aquitain, qui couvre le sud de la Charente et de la Charente maritime, la moitié sud-ouest de la Dordogne, le nord et l'ouest du Lot-et-Garonne, le nord des Landes et la totalité du département de la Gironde. Ce modèle permet de simuler les écoulements au sein de cinq couches aquifères ainsi que les échanges entre ces couches au travers de chacune des épontes qui les séparent. Les niveaux aquifères pris en compte sont le Miocène, l'Oligocène, l'Éocène (inférieur, moyen et supérieur non individualisés), le Campano-Maastrichtien, 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.

A l'issue du travail mené au cours de cette première année d'étude qui en comportera cinq, le modèle hydrodynamique nord-aquitain comprend désormais 9 couches aquifères discrétisées au pas de 2 km : le Plio-Quaternaire, l'Helvétien, l'Aquitain-Burdigalien, l'Oligocène, les trois couches de l'Éocène (inférieur, moyen et supérieur), le Campano-Maastrichtien et le Turonien-Coniacien-Santonien.

Un modèle numérique géologique complet et actualisé de l'Éocène a été réalisé et intégré à l'existant : modèles géologiques du Miocène 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.

Tous les paramètres hydrodynamiques nécessaires au fonctionnement de ce nouveau modèle ont été introduits dans le nouveau maillage (perméabilités et coefficients d'emmagasinement des couches aquifères, perméabilités des épontes, paramètres régissant les échanges entre l'estuaire de la Gironde et les nappes sous-jacentes, paramètres de "débordement").

Les zones de recharge antérieurement délimitées pour la couche indifférenciée de l'Éocène dans la précédente version du modèle ont été redéfinies précisément en fonction de la nouvelle configuration à 3 couches.

Enfin les prélèvements ont fait l'objet d'une première affectation à chacune des couches de l'Éocène sur une période de 29 ans (de 1972 à 2000).

Un premier "run" du modèle a été effectué. Compte tenu des modifications de la couche Éocène, le calage initial est naturellement à réajuster (perméabilité des 3 couches aquifères, et perméabilité des éponges). Les premiers essais effectués montrent que les facteurs correctifs à appliquer restent faibles, confirmant la robustesse du calage initial.

Sommaire

Synthèse	1
Liste des illustrations	5
Liste des annexes	6
1. Introduction	7
2. La zone modélisée. Géologie, hydrogéologie et caractéristiques du modèle hydrodynamique	9
2.1. RAPPELS	9
2.1.1. L'aquifère du Turonien-Coniacien-Santonien (couche 9).....	10
2.1.2. L'aquifère du Campano-Maastrichtien (couche 8).....	11
2.1.3. L'aquifère de l'Oligocène (couche 4).....	11
2.1.4. L'aquifère de l'Aquitainien-Burdigalien (couche 3).....	13
2.1.5. L'aquifère de l'Helvétien (couche 2)	15
2.1.6. L'aquifère du Plio-Quaternaire (couche 1).....	15
2.2. LES AQUIFÈRES DE L'ÉOCÈNE (COUCHES 7, 6 ET 5)	16
2.2.1. Cadre géologique	16
2.2.2. Lithologie et stratigraphie.....	18
2.2.3. Hydrogéologie.....	25
2.3. CARACTÉRISTIQUES NUMÉRIQUES DU NOUVEAU MODÈLE	28
2.3.1. Type de discrétisation.....	28
2.3.2. Base de données gérée par un SIG	31
3. Subdivision de la couche de l'Éocène	32
3.1. MÉTHODOLOGIE	32
3.2. ANALYSE STRATIGRAPHIQUE ET LITHOLOGIQUE	32
3.3. CONSTRUCTION DE LA GÉOMÉTRIE DES COUCHES AQUIFÈRES DE L'ÉOCÈNE	34
4. Passage du modèle à la maille de 2 km × 2 km	39
4.1. LE MODÈLE NUMÉRIQUE GÉOLOGIQUE	39
4.1.1. Construction.....	39
4.1.2. Vérification de la cohérence d'ensemble.....	41
4.2. PARAMÈTRES SPATIALISÉS DU MODÈLE HYDRODYNAMIQUE	41
4.2.1. Paramètres hydrodynamiques.....	41
4.2.2. Paramètres définissant les échanges de flux d'eau entre l'estuaire et les nappes sous-jacentes	41
4.3. ZONES DE RECHARGE	42
4.3.1. Calcul de la superficie des affleurements par maille	42
4.3.2. Constitution des zones de recharge	43
5. Introduction des données spatio-temporelles	45
5.1. PRÉLÈVEMENTS	45
5.2. RECHARGE	47
5.2.1. Précipitations efficaces.....	47
5.2.2. Calcul de la recharge.....	49

6. Premiers réajustements du calage.....	50
7. Conclusion	53
Références bibliographiques	54

Liste des illustrations

FIGURES

- Figure 1 – Limites de la zone modélisée
- Figure 2 – Localisation des affleurements du Campano-Maastrichtien et du Turonien-Coniacien-Santonien susceptibles de participer à l'alimentation des parties captives
- Figure 3 – Localisation des affleurements de l'Oligocène, de l'Aquitaniens-Burdigalien et de l'Helvétien susceptibles de participer à l'alimentation des parties captives
- Figure 4 – Bloc-diagramme illustrant la situation paléogéographique de l'Aquitaine à l'Éocène supérieur
- Figure 5 – Paléogéographie à un horizon proche du toit de l'Éocène inférieur (D'après Dubreuilh, 1987)
- Figure 6 – Paléogéographie à un horizon proche du toit de l'Éocène moyen (D'après Dubreuilh, 1987)
- Figure 7 – Paléogéographie à un horizon proche du toit de l'Éocène supérieur (D'après Dubreuilh, 1987)
- Figure 8 – Localisation des affleurements de l'Éocène inférieur, moyen et supérieur susceptibles de participer à l'alimentation des parties captives
- Figure 9 – Extension des couches supérieures du modèle (1, 2, 3 et 4)
- Figure 10 – Extension des couches inférieures du modèle (5, 6, 7, 8 et 9)
- Figure 11 – Illustration du SIG "Modèle Nord-Aquitain" sous MapInfo®
- Figure 12 – Localisation des ouvrages interprétés recoupant l'Éocène
- Figure 13 – Illustration de la base de données "MNA Base Éocène" sous Access®
- Figure 14 – Délimitation des sous-unités aquifères de l'Éocène : démarche
- Figure 15 – Vues 3D des toits de l'Éocène inférieur, moyen et supérieur
- Figure 16 – Toit de la couche aquifère de l'Éocène moyen
- Figure 17 – Mur de la couche aquifère de l'Éocène moyen
- Figure 18 – Épaisseur indicative de la couche aquifère de l'Éocène moyen
- Figure 19 – Passage du maillage "5 km" au maillage "2 km" : exemple du toit du Campano-Maastrichtien
- Figure 20 – Méthode de calcul de la superficie des affleurements dans les mailles

Figure 21 – Carte des zones de recharge des aquifères de l'Éocène dans le Modèle Nord-Aquitain

Figure 22 – Extraction des prélèvements de la base de données sous Access®

Figure 23 - Évolution des prélèvements dans l'Éocène de 1972 à 2000

Figure 24 - Évolution des précipitations efficaces annuelles à la station de Mérignac (33)

Figure 25 – Comparaisons de chroniques piézométriques simulées et mesurées dans l'Éocène moyen

TABLEAUX

Tableau 1 – Nombre de mailles et superficie de chaque couche du modèle

Tableau 2 – Zones de recharge dans les trois couches de l'Éocène

Tableau 3 – Superficie totale des zones de recharge pour chacune des couches du modèle

Tableau 4 – Moyenne et écart-type des pluies efficaces aux stations de Mérignac, Cognac et Gourdon sur la période 1971-2000

Tableau 5 – Pluies efficaces annuelles à la station de Mérignac de 1971 à 2000

Liste des annexes

Annexe 1 – Logs et coupes géologiques

Annexe 2 – Cartes en isohypses des toits de l'Éocène inférieur, moyen et supérieur

Annexe 3 – Géométrie des aquifères de l'Éocène

Annexe 4 – Cartes des toits et des perméabilités des couches du Campano-Maastrichtien et du Turonien-Coniacien-Santonien. Passage à la maille de 2 x 2 km

Annexe 5 – Coupes verticales dans le modèle numérique géologique

Annexe 6 – Vues 3D du modèle numérique géologique

Annexe 7 – Répartition des prélèvements dans les couches inférieures du modèle en 2000

1. Introduction

Cette étude est réalisée dans le cadre de l'année 1 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. Elle s'inscrit dans le prolongement des travaux de modélisation des aquifères de la Région Aquitaine engagés au Service Géologique Régional (SGR) depuis plus de 5 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 1998 le BRGM (Service Régional Aquitaine) dispose d'un modèle régional de gestion de la ressource, le Modèle Nord-Aquitain (Réf. 1), qui couvre le sud de la Charente et de la Charente maritime, la moitié sud-ouest de la Dordogne, le nord et l'ouest du Lot-et-Garonne, le nord des Landes et la totalité du département de la Gironde. Ce modèle permet de simuler les écoulements au sein de 5 couches aquifères ainsi que les échanges entre ces couches au travers de chacune des épontes qui les séparent. Les niveaux aquifères pris en compte sont le Miocène, l'Oligocène, l'Éocène (inférieur, moyen et supérieur non individualisés), le Campano-Maastrichtien, le Turonien-Coniacien-Santonien.

Le Modèle Nord-Aquitain a été utilisé en 1998-1999 pour simuler différents scénarios d'exploitation des nappes et de réduction des prélèvements dans l'Éocène dans le cadre du Schéma Directeur de Gestion des Ressources en Eau de la Gironde.

Depuis, il a été actualisé à deux reprises :

- en 1999 avec les données de la période 1997-1998 : prélèvements, piézométrie, données climatiques (Réf. 10),
- en 2001 avec les données acquises en 1999 et 2000 (Réf. 8).

Il a été utilisé en 2001 et 2002 dans le cadre du SAGE "Nappes profondes de Gironde" pour simuler différents scénarios d'économie d'eau et pour aider à proposer des piézométries d'objectif de gestion (Réf. 9).

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 1, les tâches suivantes, décrites dans ce rapport, ont été réalisées :

- 1) dissociation de la couche aquifère de l'Éocène en Éocène supérieur, Éocène moyen et Éocène inférieur afin de mieux attribuer les prélèvements à chacune de ces couches suivant les secteurs,
- 2) passage du maillage actuel avec un pas d'espace de 5 km × 5 km à un maillage avec un pas d'espace de 2 km × 2 km de façon à mieux prendre en compte la géologie et l'hydrodynamique, en particulier pour celle-ci les relations nappes-cours d'eau et les sorties constituées par les sources dans les zones d'affleurements,

3) adjonction à ce modèle, en remplacement de l'actuelle couche Miocène, des 2 aquifères qui la constituent, l'Aquitainien-Burdigalien et l'Helvétien, plus la couche superficielle du Plio-Quaternaire. Ces trois entités ont été, quant à elles, construites au cours du précédent CPER : *Modélisation des aquifères du Miocène*, rapports BRGM RP-51176-FR (décembre 2001), RP-50466-FR (novembre 2000) et R 40728 (octobre 1999),

4) intégration dans le nouveau maillage de toutes les données nécessaires à la modélisation, en particulier les zones de recharge des 3 couches éocènes précisément redéfinies et les prélèvements afférents,

5) vérification du bon fonctionnement du nouveau modèle en comparant ses résultats avec ceux de l'ancien modèle (piézométrie). Cette tâche a été réalisée en remplacement de l'actualisation géologique de la couche de l'Oligocène qui était initialement prévue dans le programme de l'année 1. Cette actualisation sera effectuée en année 2 du projet à partir des informations géologiques récentes :

-Etude sectorielle menée en 2000 pour la protection de la nappe de l'Oligocène en région Bordelaise (rapport BRGM/RP-50468-FR), lors de la précédente convention "Gestion des eaux souterraines en Aquitaine" (1996-2001).

-Coupes de forages réalisés en 2002 et 2003 dans le secteur de Ste Hélène (33).

2. La zone modélisée. Géologie, hydrogéologie et caractéristiques du modèle hydrodynamique

2.1. RAPPELS

Le nouveau modèle comprend désormais 9 couches aquifères d'extensions géographiques différentes, séparées les unes des autres par des formations peu perméables (les épontes). Ces niveaux aquifères contiennent de la plus récente à la plus ancienne :

- la nappe libre du Plio-Quaternaire (système aquifère 127A0) ;
- la nappe des sables marins et des calcaires coquilliers de l'Helvétien (système 235 du Miocène) ;
- la nappe des calcaires et faluns de l'ensemble Aquitanien-Burdigalien (rattachée aussi au système 235 du Miocène) ;
- la nappe des calcaires de l'Oligocène (systèmes aquifères 230 et 127A1) ;
- les 3 nappes de l'Éocène (inférieur, moyen et supérieur) contenues dans des formations calcaires, sableuses d'origine fluviatile ou littorale (système aquifère 214 et aquifères libres associés) ;
- la nappe des calcaires du Crétacé supérieur terminal (Campano-Maastrichtien, système aquifère 231 et aquifères libres associés). L'aquifère affleure dans le centre du bassin au niveau de l'anticlinal de Villagrains-Landiras ;
- la nappe du Turonien-Coniacien-Santonien (partie supérieure du système 215 et aquifères libres associés) ;

Le domaine modélisé couvre la partie nord du Bassin aquitain : la totalité du département de la Gironde, une grande partie de celui des Landes (pour les 4 premières couches principalement), l'essentiel (hormis le nord-est) de celui de la Dordogne, le nord et l'ouest de celui de Lot-et-Garonne, le nord-ouest de celui du Gers, et le sud de ceux de la Charente et de la Charente maritime (fig. 1).

Tous les aquifères s'approfondissent vers le centre du Bassin aquitain, au sud-ouest du Bordelais. Ainsi la nappe du Turonien-Coniacien-Santonien est rencontrée à plus de 1000 m de profondeur au droit du bassin d'Arcachon.

La zone subsidente au droit de la vallée de la Dordogne entre Bergerac et Bordeaux influence de façon importante la géométrie des différents réservoirs.

La continuité des couches est parfois rompue par l'existence de grandes structures anticlinales : les anticlinaux de Jonzac au Nord, de Villagrains-Landiras au Sud. Les anticlinaux plus discrets de Blaye-Listrac et de Couquèques jouent vraisemblablement un rôle important dans l'hydrodynamique de la nappe de l'Éocène (remontée de l'Éocène moyen sous l'estuaire de la Gironde).

Les principales failles sont la faille de Bordeaux et la faille de la Leyre (Nord-Arcachon) qui affectent peu les couches supérieures.

Ces systèmes aquifères échangent de l'eau par drainance et peuvent parfois être en contact par disparition des épontes. C'est le cas en particulier du Crétacé supérieur terminal et de l'Éocène inférieur, ou de l'Oligocène et du Miocène.

Par contre, un épais niveau marneux, correspondant au Campanien inférieur/Santonien supérieur et moyen, isole très largement le Crétacé supérieur terminal des nappes plus profondes (Turonien-Coniacien-Santonien et Cénomaniens).

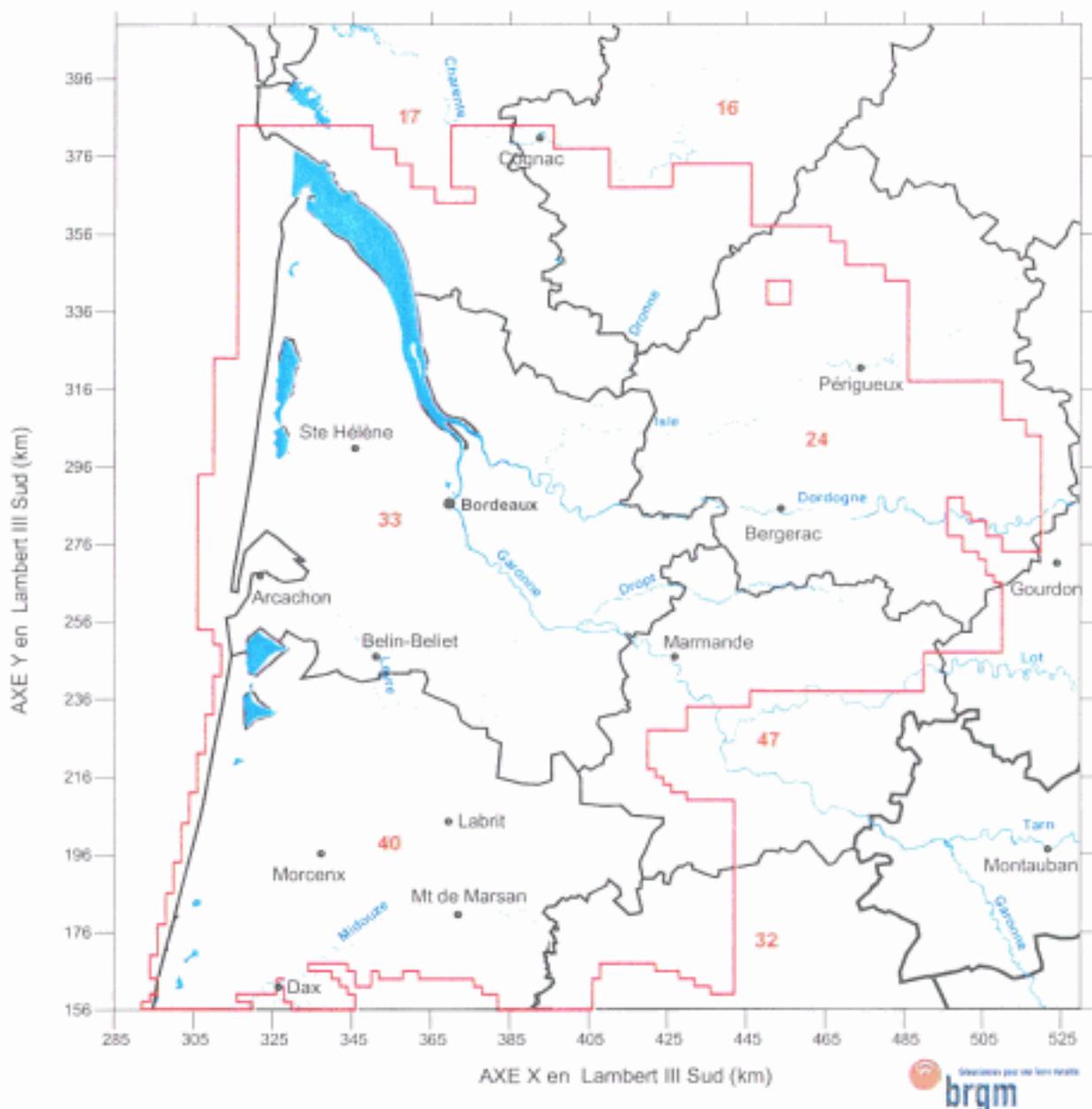


Fig. 1 : Limites de la zone modélisée

Les rappels hydrogéologiques qui suivent sont issus des rapports BRGM R 40224 pour le Turonien-Coniacien-Santonien, le Campano-Maastrichtien et l'Oligocène, et RP-51176-FR pour l'Aquitainien-Burdigalien et l'Helvétien.

2.1.1. L'aquifère du Turonien-Coniacien-Santonien (couche 9)

Ces trois formations, constituées de calcaires crayeux et bioclastiques et de sables, ont été regroupées dans un même ensemble aquifère en général bien séparé de la nappe du Cénomaniens sous-jacente par une série de marne et de calcaire crayo-marneux du Turonien inférieur et du Cénomaniens supérieur (d'une épaisseur de 25 à 50 m). Les calcaires marneux et les marnes du Santonien et du Campanien, d'épaisseur souvent importante (plusieurs centaines de mètres), en constituent le toit.

Cet ensemble n'est cependant pas homogène et forme localement un multicouche. Par exemple dans le Périgord noir où les calcaires et les sables du Turonien, les calcaires du Coniacien et ceux du Santonien supérieur sont individualisés.

La couche du Turonien-Coniacien-Santonien est limitée au Nord et à l'Ouest par les zones d'affleurements (fig. 2), mis à part dans le synclinal de Saintes où la limite considérée correspond à la Charente et à la Seugne. Au Sud-Est, les formations se "biseautent" autour du môle de Montauban. Au Sud-Ouest, les faciès calcaires passent progressivement à des marnes et l'aquifère disparaît. Au Nord-Ouest, l'aquifère se poursuivant vers le Nord, des flux sortant ont été introduits. La limite sud a été considérée comme une limite à flux entrant.

Cet aquifère constitue l'une des ressources les plus importantes pour l'alimentation en eau potable et pour l'agriculture des départements de la Dordogne, de la Charente et de la Charente maritime.

2.1.2. L'aquifère du Campano-Maastrichtien (couche 8)

La partie aquifère du Campano-Maastrichtien correspond à des faciès calcaires bioclastiques plutôt blanchâtres et crayeux dans sa partie nord, plutôt jaunâtres et détritiques dans sa partie sud-est. A sa base, l'aquifère est bien délimité par les formations marno-crayeuses du Campanien. Vers le sud-ouest du bassin d'Arcachon, l'aquifère tend à disparaître du fait du passage latéral à des faciès marneux profonds. Vers le Sud-Est, ces calcaires sont érodés et l'aquifère se "biseaute" autour du môle de Montauban.

L'aquifère est alimenté par les zones d'affleurements formant une auréole de la Charente maritime au Périgord noir. Ces zones d'alimentation sont fortement marquées par les structures anticlinales de Chalais, St-Cyprien, Jonzac, Vergt et St-Avit-Sénieur et par le synclinal de Saintes. Au centre du bassin, la structure de Villagrains-Landiras porte à l'affleurement les calcaires (fig. 2).

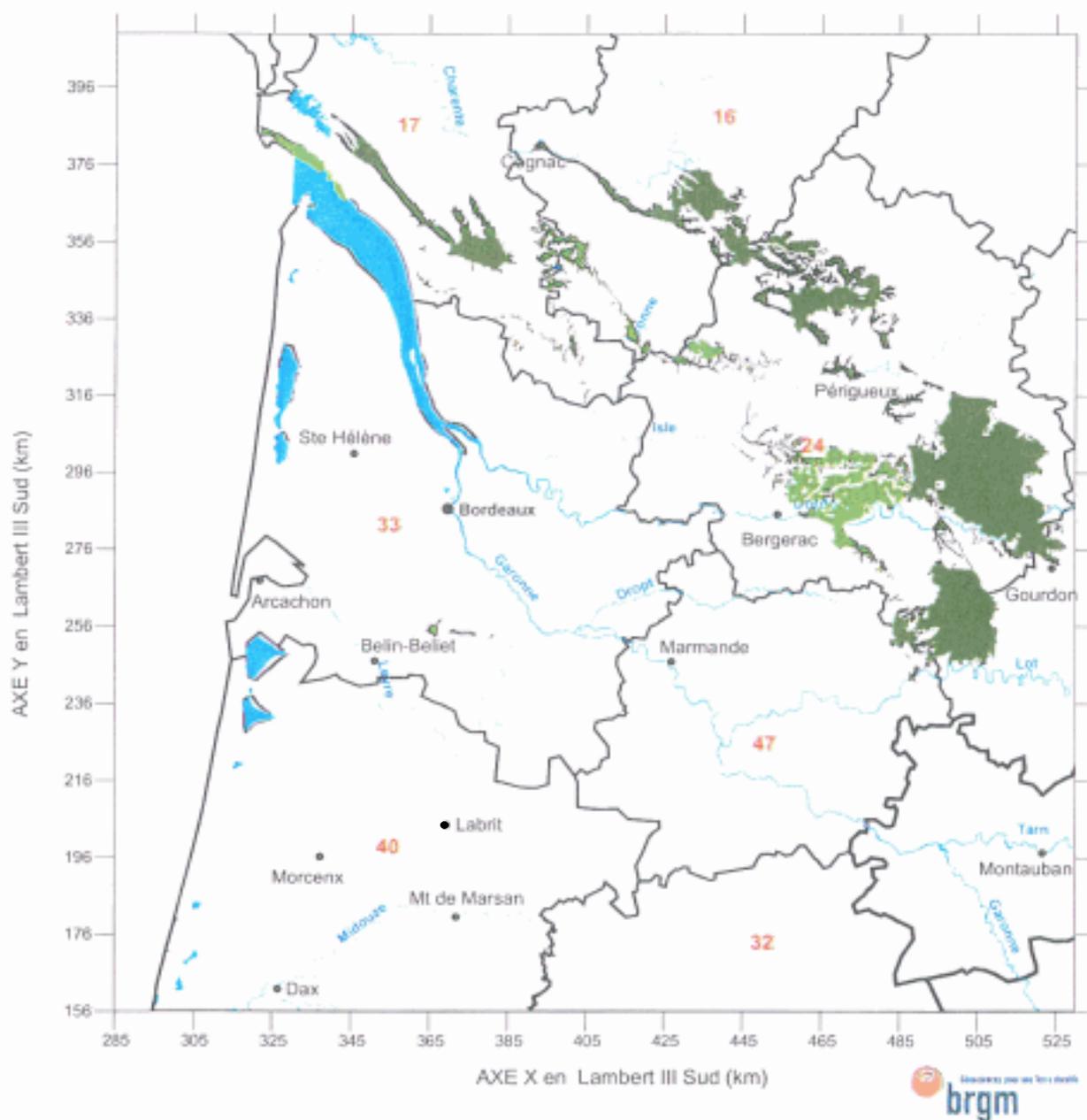
Les cartes piézométriques mettent en évidence l'alimentation de la nappe par le Nord et l'Est, un écoulement général d'Est en Ouest, l'impact des prélèvements de la région bordelaise et des sorties d'eau possibles au nord de l'Estuaire.

Le dôme piézométrique au niveau du Médoc est probablement induit par des apports d'eau en provenance des nappes supérieures et sans doute aussi par une alimentation directe à la faveur des affleurements de l'anticlinal de Villagrains-Landiras.

2.1.3. L'aquifère de l'Oligocène (couche 4)

Globalement, la succession sédimentaire de l'Oligocène témoigne d'un contexte plutôt marin encadré à la base et au sommet par des épisodes à tendance continentale plus marquée. Dans le Bordelais, cela se traduit par un Stampien basal marneux fluviolacustre (faciès Sannoisien), un Stampien marin (calcaires à Astéries) puis un Chattien à faciès argileux confinés.

L'aquifère correspond essentiellement aux calcaires à Astéries. L'axe Garonne-Gironde, avec la disparition des calcaires par l'érosion dans la vallée, constitue la limite orientale du système. Dans l'Entre-deux-Mers, les calcaires de l'Oligocène forment un aquifère complètement indépendant (système aquifère 126), alimenté par les plateaux et s'écoulant à travers des lignes de sources vers la Dordogne et la Garonne. Dans la Double, le Landais et le Blayais, les formations sablo-graveleuses de l'Oligocène forment la partie supérieure des reliefs, et là aussi, peuvent contenir des nappes très localisées sans relation avec le système profond.



Affleurements susceptibles de contribuer à l'alimentation des parties captives :

- Turonien-Coniacien-Santonien
- Campano-Maastrichtien

Fig. 2 : Localisation des affleurements du Campano-Maastrichtien et du Turonien-Coniacien-Santonien susceptibles de participer à l'alimentation des parties captives

La nappe de l'Oligocène modélisée s'étend donc uniquement en rive gauche de l'axe Garonne – Gironde. La partie profonde captive correspond au système aquifère 230, les parties libres au système 127A1 (fig. 3). Vers le Sud-Est, l'Oligocène devient molassique (argiles carbonatées, sables argileux). Cette molasse de l'Agenais, qui peut contenir quelques horizons aquifères discontinus donnant localement des débits modestes, limite l'aquifère profond dans cette direction. Au Sud, les faciès perméables s'étendent jusqu'à l'Adour qui marque la limite d'extension des formations molassiques du piémont pyrénéen. A l'Ouest, à quelques kilomètres de la côte, les réservoirs aquifères se réduisent rapidement par passage progressif à des marnes pélagiques.

La profondeur de l'aquifère s'accroît globalement d'Est en Ouest (affleurements le long de l'axe Garonne-Gironde, plus de 500 m de profondeur à Biscarosse). Toutefois les structures tectoniques (failles de Carcans et du Bassin d'Arcachon) viennent perturber sensiblement ce schéma.

La structure de Villagrains-Landiras détermine la géométrie générale de cet aquifère. Au Nord, l'aquifère, dont l'épaisseur peut dépasser 100 m, repose en général sur une éponte peu perméable (à l'exception du secteur situé à l'ouest d'Hourtin et du secteur de Saint-Symphorien / bassin d'Arcachon). Dans sa partie supérieure, l'aquifère est surmonté d'une éponte très peu perméable sur le littoral atlantique, au niveau du bassin d'Arcachon (100 m au Piquey) et dans la région Bordelaise (5 à 20 m).

Au Sud, les formations aquifères sont isolées à leur base par une éponte de 100 à 1000 m d'épaisseur et à leur sommet par un imperméable de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres de puissance (à l'exception des secteurs de Sabres et de Magescq). L'aquifère atteint 600 m d'épaisseur dans la région de Labouheyre.

2.1.4. L'aquifère de l'Aquitainien-Burdigalien (couche 3)

Cet ensemble aquifère est limité au Nord par les affleurements de la région bordelaise (Fig. 3) et par les limites d'extension des formations aquitaniennes connues dans le Médoc par les coupes de forage. Dans cette même région, les faciès aquifères se poursuivent au droit du plateau continental (au-delà de l'étang d'Hourtin).

Par contre, au Sud de l'étang de Lacanau, le long du littoral, les faciès deviennent vers l'Ouest nettement argileux et marneux (limite de faciès "à flux nul" du point de vue de la modélisation).

Au sud-est de Bordeaux, après la lacune correspondant à l'anticlinal de Villagrains-Landiras, les zones d'affleurements se poursuivent en rive gauche de la vallée de la Garonne avec des barres de calcaires lacustres. Les domaines potentiellement aquifères, manifestement déconnectés de la nappe profonde et constituant de petits aquifères locaux venant alimenter les cours d'eau, ont été exclus de la zone modélisée.

La limite méridionale est beaucoup plus complexe avec des zones où le Miocène n'est pas représenté du fait des remontées structurales (anticlinaux de Thétieu, de Roquefort et de Créon, diapir de Dax) et des zones où les faciès aquifères disparaissent progressivement dans une épaisse série molassique (Chalosse et Armagnac).

Au sud de Dax, plusieurs affleurements de calcaires aquitaniens et burdigaliens peuvent être relevés sur les cartes géologiques. Toutefois, du fait du diapir de Dax et de l'anticlinal de Thétieu, ces calcaires forment un aquifère localisé déconnecté du grand aquifère landais.

Entre Mont-de-Marsan et la vallée de l'Adour, l'aquifère est assez peu connu par forage. La notice de la carte géologique de Mont-de-Marsan signale la présence de faluns aquitaniens sur les rives de l'Adour entre le pont de St-Sever et le village de Toulouzette. Dans ce secteur l'aquifère a été limité au-delà de la vallée de l'Adour en supposant la disparition des niveaux calcaires remplacés par des faciès molassiques.

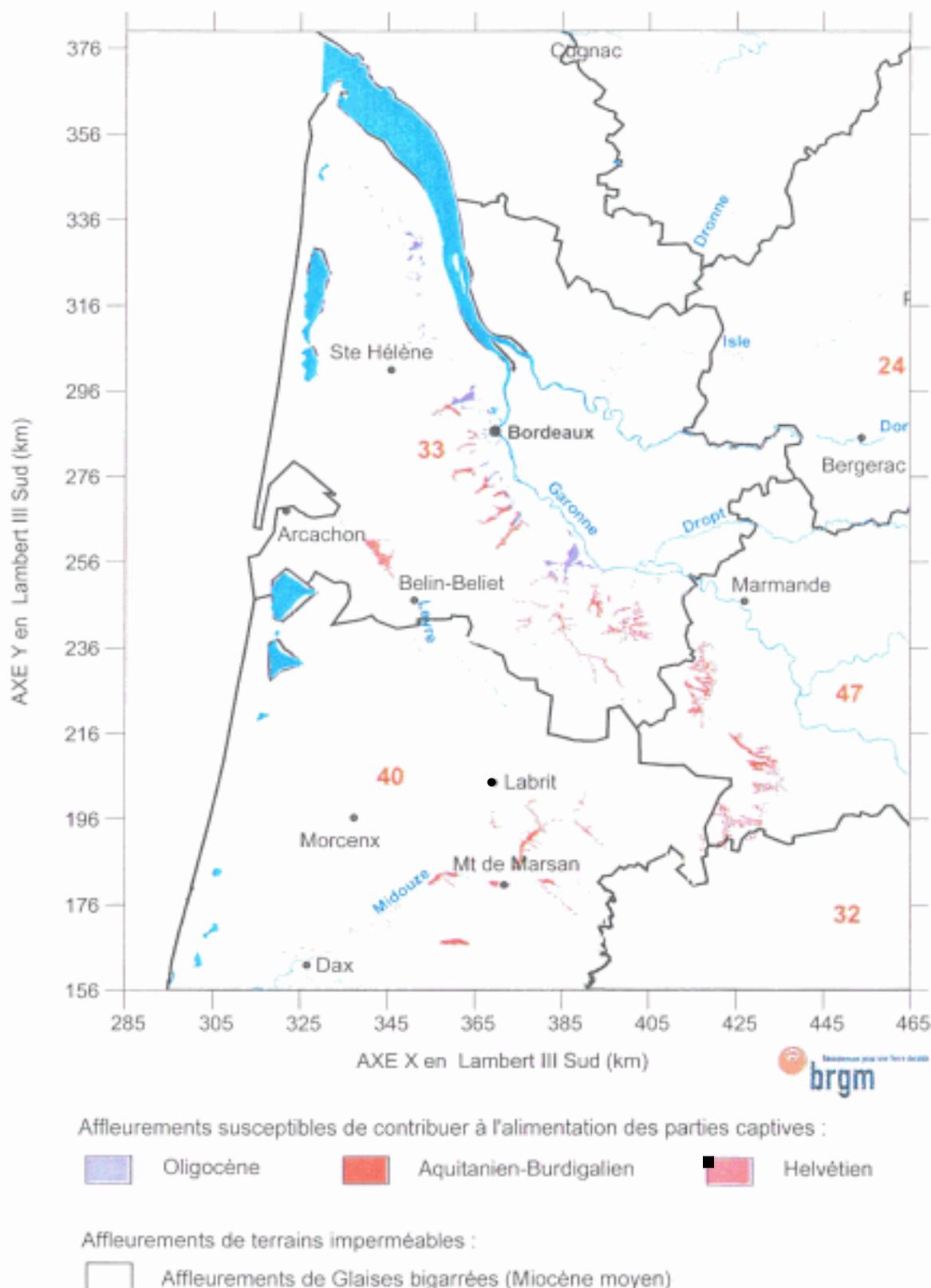


Fig. 3 : Localisation des affleurements de l'Oligocène, de l'Aquitaniens-Burdigaliens et de l'Helvétien susceptibles de participer à l'alimentation des parties captives

Les importants affleurements de Miocène inférieur du secteur de Saubrigues sont constitués par des marnes dans lesquelles s'intercalent des bancs de grès fins. Ces niveaux sont assimilés à des séquences de remplissage d'un important canyon sous-marin correspondant au paléo-Gouf de Capbreton. Le caractère marneux de ces terrains a conduit à tracer une limite de l'aquifère les excluant et passant au Nord de la ride de Tercis.

Dans les zones correspondant à la plate-forme miocène, l'épaisseur de l'ensemble aquifère Aquitanien-Burdigalien est assez constante, de l'ordre de 30 m. D'une manière générale, vers l'Ouest, il s'épaissit nettement mais perd progressivement ses qualités aquifères.

2.1.5. L'aquifère de l'Helvétien (couche 2)

La limite septentrionale de la nappe a été définie à partir des affleurements des faluns helvétiques (Fig. 3) et de la limite d'extension de la transgression helvétique reconnue par analyse des coupes de forages.

Entre Marmande et Mont-de-Marsan la limite retenue correspond au passage de faciès sablo-argileux continentaux (Sables Fauves) à des sables coquilliers marins.

Au Sud, dans les vallées de la Midouze et de ses affluents, les affleurements des calcaires et des marnes anté-helvétiques et l'examen des coupes de forages permettent de proposer une limite relativement complexe épousant les contours des vallées. Plus au Sud, entre Adour et Midouze, l'Helvétien disparaît progressivement sous l'effet de l'érosion de la vallée de l'Adour.

Vers l'Ouest, à l'image de l'aquifère Aquitanien-Burdigalien, le littoral correspond approximativement à une limite "à flux nul" compte tenu du développement des faciès argilo-marneux.

L'Helvétien se termine avec une tendance continentale marquée. La formation des Sables Fauves, qui succède aux faluns couvre une vaste étendue du Gers au bassin d'Arcachon. Au dessus, les zones de marais littoraux, qui caractérisent la fin de la période Miocène, ont donné naissance à des formations argileuses bariolées connues sous le nom de Glaises Bigarrées. Les zones d'affleurement de cette formation imperméable sont reproduites sur la figure 3.

L'épaisseur des sables marins et des calcaires coquilliers de l'aquifère helvétique est comprise entre 10 m et 40 m. Le toit de l'aquifère s'abaisse progressivement vers l'Ouest passant de la cote 50 NGF à la cote -50 NGF en bordure du littoral.

2.1.6. L'aquifère du Plio-Quaternaire (couche 1)

Il s'étend entre les axes Gironde-Garonne et Adour-Midouze et jusqu'au littoral sur les départements de la Gironde, des Landes et de Lot-et-Garonne.

Il est constitué par un ensemble de formations étagées sableuses ou graveleuses avec parfois intercalations de niveaux argileux pouvant être discontinus. Ces formations sont recouvertes par le manteau sableux du "Sable des Landes" se décomposant lui-même en une partie basale de sables fins blanchâtres fluviatiles et en une partie supérieure de sables jaunâtres éolisés, reprise des formations précédentes.

La puissance de l'ensemble varie d'une dizaine de mètres à une trentaine de mètres dans la partie orientale du bassin, et d'une manière générale, vers l'Ouest, s'épaissit pour atteindre une cinquantaine de mètres.

Ce système, par drainage, alimente directement le réseau hydrographique en contribuant significativement au débit des cours d'eau du "massif landais". Les affluents en rive gauche de la Garonne et en particulier le Ciron, la Leyre et ses affluents, la Midouze et les fleuves

côtiers landais constituent les principaux axes de drainage de la nappe. Celui-ci est de plus assuré par un réseau dense de fossés et par les étangs côtiers.

L'analyse des quelques chroniques piézométriques de longue durée existantes montre que le niveau de la nappe évolue annuellement en fonction des phénomènes climatiques et des prélèvements agricoles. Les hautes eaux sont atteintes en hiver et au printemps avec un maximum généralement autour de la mi-mars. Les basses eaux se situent en été avec un minimum en août-septembre. L'effet successif de l'arrêt des irrigations et de la reprise de l'infiltration induit généralement une remontée rapide du niveau piézométrique à l'automne. Elle est facilitée par les faibles pentes topographiques et la couverture sableuse superficielle qui limitent le ruissellement et favorisent l'infiltration.

Pendant tout l'hiver, la nappe, drainée par le réseau de fossés, est très près du sol, généralement à une profondeur inférieure à 2 m. Les hautes eaux sont généralement "écrêtées" par ce réseau destiné à réduire les remontées de nappes.

La descente ne commence qu'au mois d'avril avec la reprise de la végétation, notamment les pins maritimes très répandus et grands consommateurs d'eau. Entre la période de hautes et de basses eaux, le niveau piézométrique varie généralement de 1 à 2 m et atteint rarement 3 m.

Sur les chroniques les plus longues, la nappe présente en général une évolution inter-annuelle faible mais nette, en relation étroite avec le régime des précipitations. La baisse des niveaux lors des années très sèches de 1989 à 1992 est particulièrement remarquable. Il en est de même lors de l'hiver 2001-2002. En revanche, sur plus de 30 ans, la nappe ne montre pas de tendance significative à la baisse ce qui indique que d'une année sur l'autre les réserves sont généralement reconstituées.

Les recalibrages de fossés servant à l'assainissement des terres cultivées peuvent réduire les hautes eaux d'environ 1 à 1,50 m dans les secteurs concernés en évacuant rapidement les eaux vers les cours d'eau.

2.2. LES AQUIFERES DE L'EOCENE (COUCHES 7, 6 ET 5)

2.2.1. Cadre géologique

2.2.1.1. Généralités

A la fin de l'ère secondaire, la mer recouvre une bonne partie du Bassin aquitain. L'orogénèse pyrénéenne et la montée du Massif central, liés à la pression méridionale de la plaque africaine sur celle de l'Europe, vont entraîner au cours de l'ère tertiaire une régression marine vers l'Ouest. Cette dynamique en compression va conditionner la mise en place des dépôts pendant tout le Tertiaire (fig. 4).

La plateforme carbonatée issue des sédimentations marines mises en place durant le Secondaire va supporter les péripéties de l'étalement d'Est en Ouest d'un biseau sédimentaire fluvio-lacustre et de ses affrontements avec les ingressions marines. Le vaste delta qui a fonctionné durant tout le Tertiaire, a reçu conjointement ou alternativement des matériaux arrachés aux bâtis du Massif central, de la Montagne noire et des Pyrénées. Les alternances calmes ou agitées en matière d'orogénèse ont déterminés la provenance des apports et les conditions de dépôts, privilégiant la dominante carbonatée ou siliceuse.

L'histoire géologique se poursuit avec les dépôts de l'Oligocène, du Miocène, du Pliocène et du Quaternaire qui constituent une très grande partie des formations affleurantes du département de la Gironde. L'Éocène, qui affleure essentiellement dans le nord du département de la Gironde et dans le sud-ouest de la Dordogne, s'enfoncé progressivement vers l'Ouest sous les formations précédentes selon un pendage faible.

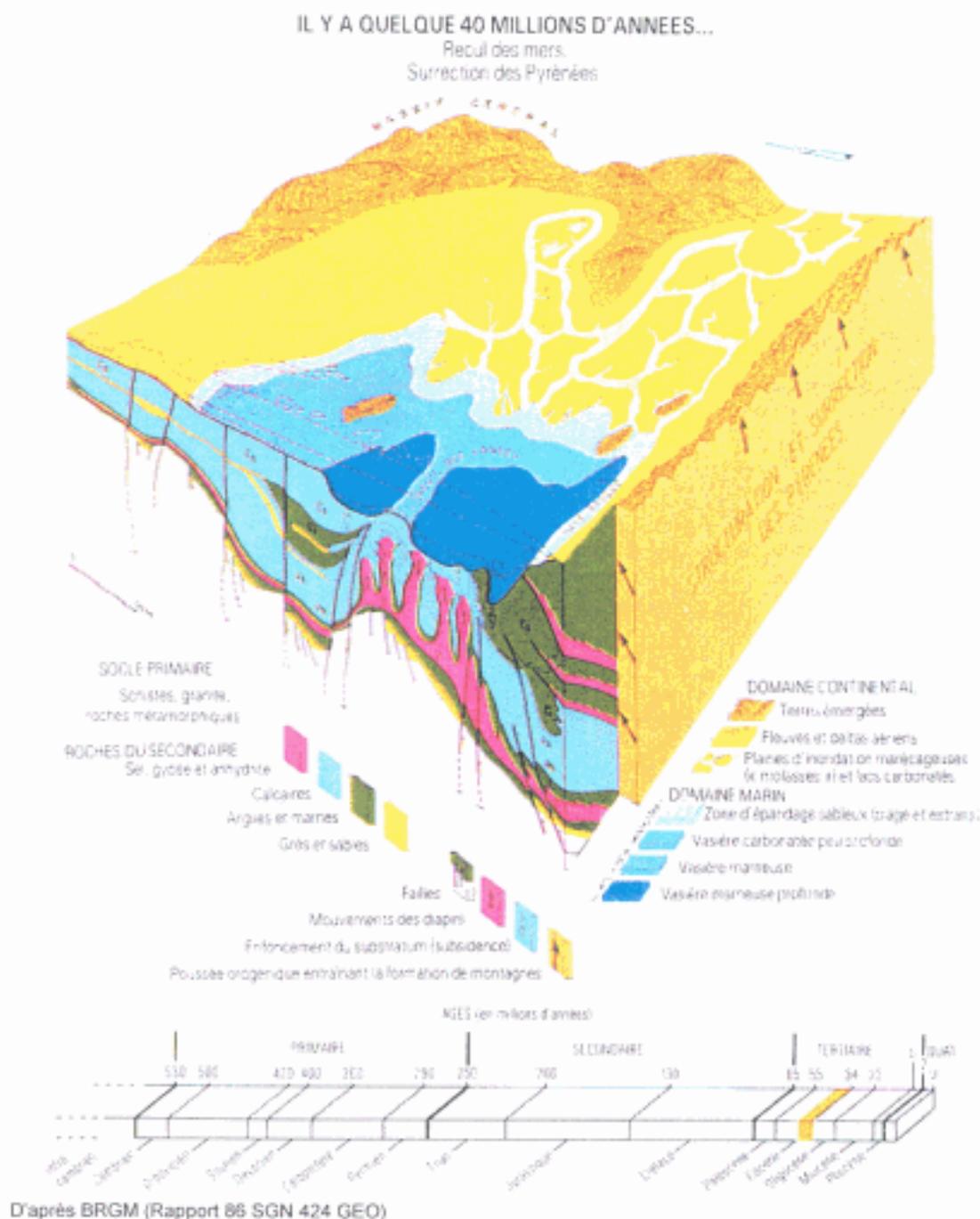


Fig. 4 : Bloc-diagramme illustrant la situation paléogéographique de l'Aquitaine à l'Éocène supérieur

2.2.1.2. Cadre morpho-tectonique

L'histoire du Cénozoïque aquitain peut se scinder en deux grandes époques : anté et post-surrection pyrénéenne (Winnock 1971). La première période montre encore des caractères hérités de la situation crétacé qui perdurent jusqu'à la fin de l'Éocène inférieur. Ensuite la contrainte apportée par la convergence de l'Espagne vers la France, détermine le rejeu de structures plus anciennes de direction Nord-Est Sud-Ouest ainsi qu'Est-Ouest.

Les données du schéma cinématique d'évolution élaboré par Bonijoly et Blès en 1983 établissent :

- A l'Éocène inférieur, deux trains de direction N 90° à N 110° et N 40° à N 60° au sein des systèmes sédimentaires, qui peuvent s'apparenter à une première contrainte NNW-SSE.
- A l'Éocène moyen, deux étapes compressives toutes deux pratiquement de direction Nord-Sud sont liées à l'orogénèse pyrénéenne. La première se caractérise par des failles inverses alors que la seconde se manifeste plus généralement par des coulissages sénestres.
- A l'Éocène supérieur, une période de relaxation établit des conditions subsidentes.

2.2.1.3. Cadre climatologique

Les variations climatiques qui ont présidé à l'étalement du biseau sédimentaire tertiaire sont à mettre en relation avec les surfaces occupées par les mangroves (milieux de dépôts particuliers au contact eaux douces-eaux salées, caractérisés par l'association des palynoflores particulières à *Nypa*, *Bombax* et *Sapotacés*). En effet, les surfaces à mangroves ne cessent de régresser depuis l'Éocène inférieur montrant la lente migration des conditions chaudes (équatoriales et tropicales) vers le Sud, laissant le Bassin aquitain sous des influences tempérées (Capdeville 1987, Dubreuilh 1987).

2.2.2. Lithologie et stratigraphie

La superposition stratigraphique représentant l'Éocène est résumée dans le tableau en annexe 1.1.

2.2.2.1. Éocène inférieur

Après la période d'altération de type latéritique du Paléocène, caractérisée par la faiblesse du transit sédimentaire et donc des apports, l'Éocène inférieur est marqué par le dépôt de terrigènes témoignant d'un rajeunissement des massifs hercyniens environnants et du déblaiement des niveaux altérés.

> Stratigraphie

Deux grandes périodes, à tendance transgressive, s'individualisent, l'une à l'Yprésien inférieur (Ilerdien) où sont enregistrées des venues marines sur des paléotopographies peu marquées, et l'autre à l'Yprésien supérieur (Cuisien) où l'on observe l'édification de plusieurs dispositifs deltaïques progradant vers l'Ouest et dont les chenaux distributaires gagnent sur le domaine marin. L'abrasion des reliefs et le transport des produits de l'érosion contribuent au détritisme général observé durant cette période (ann. 1.2-coupe synthétique de Coutras).

Trois séquences sédimentaires majeures ont été identifiées dans le domaine continental et mises en relation avec les formations marines définies grâce aux marqueurs micropaléontologiques.

Les deux premières séquences fluviolacustres correspondraient à l'Yprésien inférieur (Ilerdien), période débutant dans le domaine marin par la zone à *Alveolina cucumiformis* et se terminant avant l'arrivée d'*Alveolina oblonga*, la troisième séquence de dépôts continentaux venant en corrélation avec l'Yprésien supérieur défini par la zone à *Nummulites planulatus* et *N. praelaevigatus* (Cavelier, Pomerol 1983).

> Domaine continental

L'Yprésien inférieur (Ilerdien) est généralement constitué par une à deux séquences fluviatiles majeures. La première est représentée par des sables gris, propres feldspathiques, fins à moyens, renfermant localement des troncs d'arbres fossilisés, des niveaux ligniteux et des lentilles d'argile kaoliniques blanches à gris clair comportant des taches rouilles à rosâtres. Dans le bassin d'extraction d'argile réfractaire des Charentes, ces accumulations présentent des extensions de taille hectométriques alors que la plupart du temps il s'agit de dépôts discontinus. La deuxième séquence fluviatile est constituée par des sables fins micacés feldspathiques, jaunâtre à noirâtre, présentant des stratifications obliques. Durant cette période, où le maximum transgressif sera atteint au cours de l'Ilerdien moyen, l'arrière pays nord-aquitain possède la physionomie d'une plaine marécageuse alimentée par plusieurs grands émissaires responsables de l'alluvionnement tant dans le domaine continental que sur les talus des édifices deltaïques où les dépôts progradent loin vers l'Ouest, au-delà de la structure anticlinale de Villagrains-Landiras. Les analyses palynologiques réalisées sur les faciès organiques associés aux fins de séquences, révèlent une flore essentiellement hygrophile très diversifiée, comportant ptéridophytes et végétaux supérieurs parfois associés à des algues d'eau douce (*Botryococcus* et *Bryophytes*). L'environnement de dépôts de la plaine d'inondation est de type palustre à lacustre avec des faciès de tourbières et de mangrove sous climat chaud et humide à saisons peu contrastées (fig. 5).

Durant l'Yprésien supérieur (Cuisien) se manifeste une période d'alluvionnement intense, marquée par une structuration des réseaux fluviatiles favorisant l'édification de systèmes deltaïques à la rapide progradation. Ces systèmes deltaïques à dynamique fluviale prépondérante montrent une configuration générale en « pattes d'oiseaux » caractérisés par des levées sableuses importantes aux débouchés des émissaires majeurs. A la fin de cette période la plaine d'inondation est recouverte par des argiles vertes à terriers et à marmorisations pédogénétiques rougeâtres. La frange eaux douces-eaux salées est toujours marquée par des venues de sables plus ou moins grossiers, micacés, organiques, bioturbés et pyriteux attestant d'une zone de mangrove parcourue par des chenaux de marée et colonisée par une végétation particulière *Nypa* (*Spinizonocolpites echinatus* et *S. baculatus*) de *Bombax* et de *Rhizophora*.

Sur les marges orientales, on enregistre une phase d'altération (argiles à graviers et silicifications) datées par les phosphorites au lieu-dit Viélase comme appartenant à la zone MP10-11 (Legendre et Al. 1992) alors que dans la partie sud une première arrivée de galets pourrait marquer le début des épandages des poudingues de Palassou en provenance des Pyrénées.

> Domaine marin

La sédimentation marine n'est que faiblement représentée à l'affleurement (pourtour de l'anticlinal d'Audignon au sud de l'Adour). Les reconnaissances par sondages montrent à l'Ilerdien moyen des dépôts carbonatés de plateforme marine proximale selon une zone Parentis, Soustons, Auch. La sédimentation grésosableuse du prodelta est plus étendue à l'Ilerdien moyen qu'au Cuisien. De même toujours au Cuisien moyen les milieux de dépôts marins proximaux ont migrés vers le Nord entourant la structure de Villagrains-Landiras pour s'arrêter à La Réole et Agen.

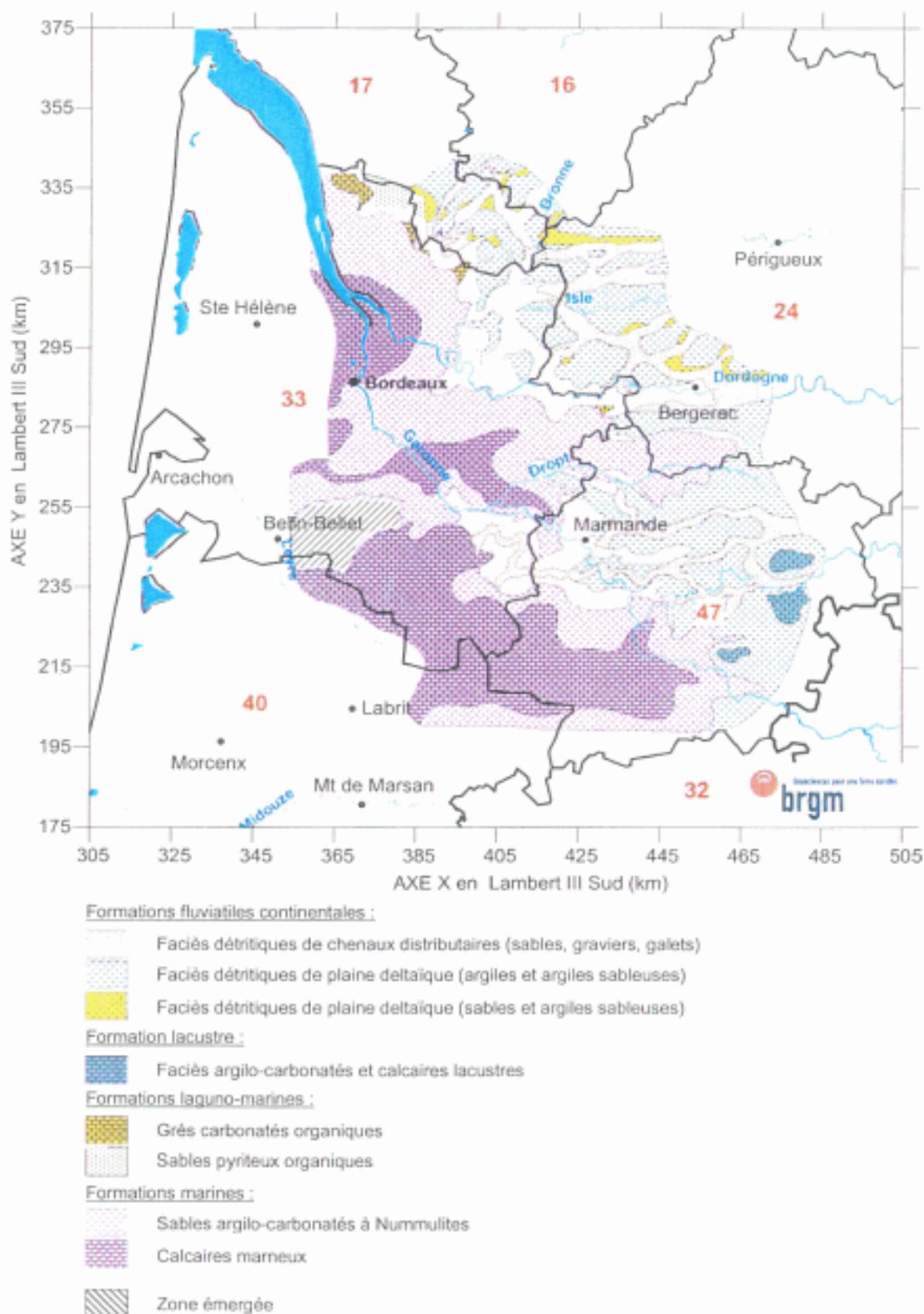


Fig. 5 : Paléogéographie à un horizon proche du toit de l'Éocène inférieur
 (D'après Dubreuilh, 1987)

2.2.2.2. Éocène moyen

La période de rhexistase amorcée à l'Yprésien supérieur (Cuisien moyen à supérieur) s'achève au début de l'Éocène moyen. Avec l'amorce des premières oscillations marines de la base du Lutétien, on assiste à l'anastomose des chenaux de marée comblés par des argiles organiques. Les deux grandes séries sédimentaires globalement transgressives du Lutétien et du Bartonien caractérisent cette période. Elles sont séparées par un épisode régressif, durant lequel peuvent s'établir des conditions évaporitiques. Durant le Bartonien une altération de type ferrallitique affecte le bâti carbonaté du Quercy et du Périgord (cuirasse gravillonnaire et phosphorites à faune de vertébrés).

> Stratigraphie

Selon le découpage micropaléontologique adopté par Veillon 1962, les dépôts marins de cette période couvrent la zone à *Nummulites laevigatus*, la zone à *N. aturicus* et *Orbitolites complanatus*, la zone à *N. aturiensis* et *Assilina*, la zone à *N. Brongniarti* et *Alveolina elongata* et la zone à *N. praefabiani* (ann. 1.3 - coupe synthétique de Libourne).

> Domaine continental

- Série détritique inférieure : la base de la série détritique de l'Éocène moyen est représentée par des décharges de type torrentiel dont les matériaux grossiers peuvent emballer localement des bois fossilisés (Dupeyron-Loudoueniex 1985).

Dans la partie septentrionale du bassin se différencient des sables feldspathiques verdâtres, accompagnés de graviers et de galets de quartzites blancs mais aussi de quartz fumés et d'agathoïdes. Les séquences fluviales de ces corps sédimentaires ont un contact basal érosif et remanient le sommet des dépôts argileux antérieurs, occasionnant la formation de galets mous. Plusieurs exondations marquées par des argiles bioturbées à petites flammes oxydées rougeâtres ont été notées. Aux édifices deltaïques en expansion de la période cuisienne précédente succèdent des deltas tronqués, géographiquement moins étendus, qui malgré des capacités de transit non dégradées ne parviennent pas à assurer leur pérennité en raison d'un déblaiement permanent des apports par les courants littoraux (fig. 6).

La zone de transition eaux douces eaux salées est fortement réduite par rapport à la période cuisienne. Les associations floristiques (*Nypa*, *Bombax*, *Sapotacées*) existent toujours et sont parfois mêlées au phytoplancton marin et à quelques tests de foraminifères hyposalins de vasières.

- Série détritique supérieure : la sédimentation détritique postérieure à l'épisode régressif est représentée par des dépôts attestant d'une dynamique plus régulière, où les processus de crues épisodiques et soudaines ont semble-t-il disparus. Sur les marges bordelaises et périgourdines, les atterrissements en provenance du Massif central sont représentés par des décharges de sables silico-feldspathiques vert pâle montrant des altérations rouge brique et débutant le plus souvent par une base érosive. Dans la partie centrale du bassin, un réceptacle subsident recueille des sédiments argilo-silteux et assure la transition avec le milieu marin. Dans ce contexte de plaine d'inondation où la nappe phréatique fluctue de manière permanente, la sédimentation va acquérir par le jeu de concentrations d'ordre pédogénétique le taux de carbonates qui les fera qualifier de molasses d'Aquitaine. Les arrivées sableuses intercalées avec des passées argilo-silteuses constituent la formation des Sables Fluviaux du Libournais, formation intégrant la partie supérieure de l'Éocène moyen et la partie inférieure de l'Éocène supérieur. Ces sables sont repérés stratigraphiquement par la présence d'une dent de *Lophiodon lautricense* marquant la période comprise entre l'Auversien terminal et le Marinésien inférieur (Cavelier 1979).

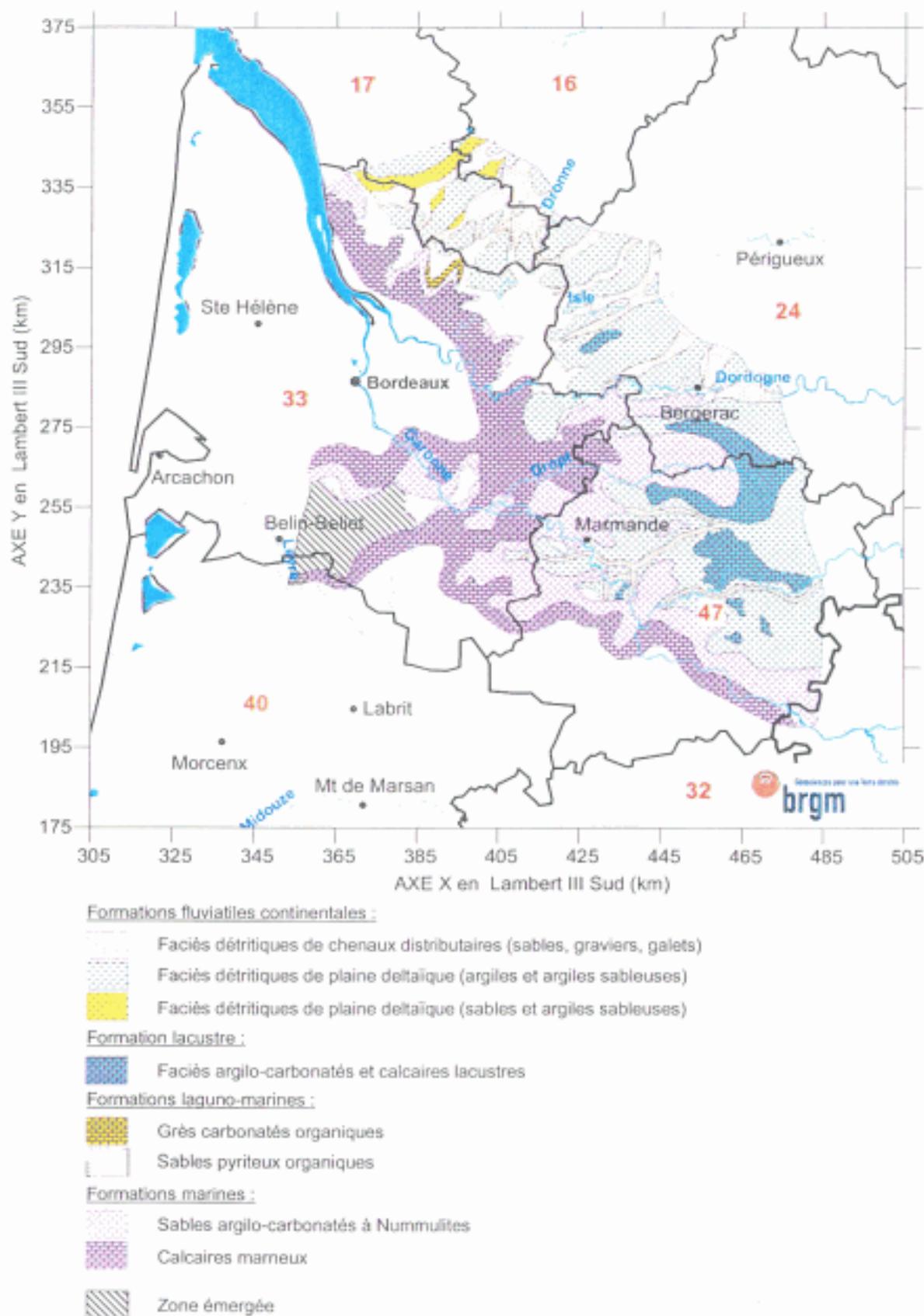


Fig. 6 : Paléogéographie à un horizon proche du toit de l'Éocène moyen
 (D'après Dubreuilh, 1987)

> Domaine marin

Dans la région Bordelaise, les faciès dits des Sables inférieurs, des Calcaires de Blaye, des Calcaires de l'Octroi et des Marnes à *Ostrea cucullaris* composent du plus ancien vers le plus récent le domaine marin de l'Éocène moyen.

2.2.2.3. Éocène supérieur

Le relâchement de la contrainte tectonique globale durant l'Éocène supérieur induit une subsidence favorisant l'établissement de vastes plaines d'épandages dans lesquelles peuvent s'individualiser quelques petits bassins endoréiques à tendances évaporitiques. Le golfe marin de la région d'Agen subsiste mais les environnements de mangrove ont disparu au niveau de la frange eaux douces eaux salées.

> Stratigraphie

La série sédimentaire du Priabonien est subdivisée pour sa partie marine en deux parties calquées sur les biozones à nummulites (Cavelier, Pomerol 1983) alors que trois séquences (Ludien inférieur, moyen et supérieur) sont reconnues dans les atterrissements continentaux. Trois niveaux repères à mammifères fossiles (Ringeade 1987) marquent ces trois séquences :

- Zone de Fons 4 pour le Ludien inférieur,
- Zone de La Débruge pour le Ludien moyen,
- Zone d'Escamps-Ste Capraise pour le Ludien supérieur (ann. 1.4-coupe synthétique de Bergerac).

> Domaine continental

Les dépôts fluviolacustres de cette époque reflètent une moindre compétence des émissaires fluviaux qui évoluent au sein d'une basse plaine encombrée de sédiments.

-Formations fluviales : au nord du bassin cette période présente trois séquences positives composées de matériaux détritiques très altérés emballés dans une matrice argileuse de couleur vert pâle à chocolat. Les deux séquences les plus récentes correspondent pour partie à l'ancienne appellation des Sables du Périgord.

-Formations fluviolacustres : beaucoup plus étendues que la sédimentation fluviale ces formations sont généralement plus argileuses (Fig. 7).

•Formation des Argiles à *palaeothérium* : ces dépôts argilo-sableux carbonatés épais de quelques mètres sur les bordures septentrionales présentent des puissances de plus de 120 m en cœur de bassin. Ils admettent de nombreuses assises calcaires lacustres dont certaines ont reçu une dénomination géographique locale (Ondes, Langlès, Plassac, St-Cernin). Les accumulations sableuses de la base se présentent sous la forme de chenaux gréseux faiblement indurés, à éléments siliceux moyens à grossiers, à feldspaths plus rare et micas (Grès de Laussou). Les niveaux calcaires lacustres, très souvent à accidents siliceux se situent dans la partie supérieure du premier ensemble molassique. Ils sont dispersés sous forme de « flaques » d'étendues et d'épaisseurs variables. La faune de vertébrés fossiles de Baby I (commune de St-André-et-Appelles) place ces horizons en relation avec les niveaux repères du Ludien inférieur.

•Formation des molasses du Fronsadais : au nord du bassin quatre séquences fluviales majeures ont été reconnues dans cette formation, la plus récente appartenant à l'Oligocène. La séquence de base est représentée par des dépôts argilo-sableux carbonatés gris verdâtre à gris clair comportant des chenaux sableux micacés et légèrement feldspathiques. La séquence moyenne est constituée par des faciès argilo-siliceux carbonatés jaunâtre à verdâtre pouvant présenter une altération sommitale ferro-manganique.

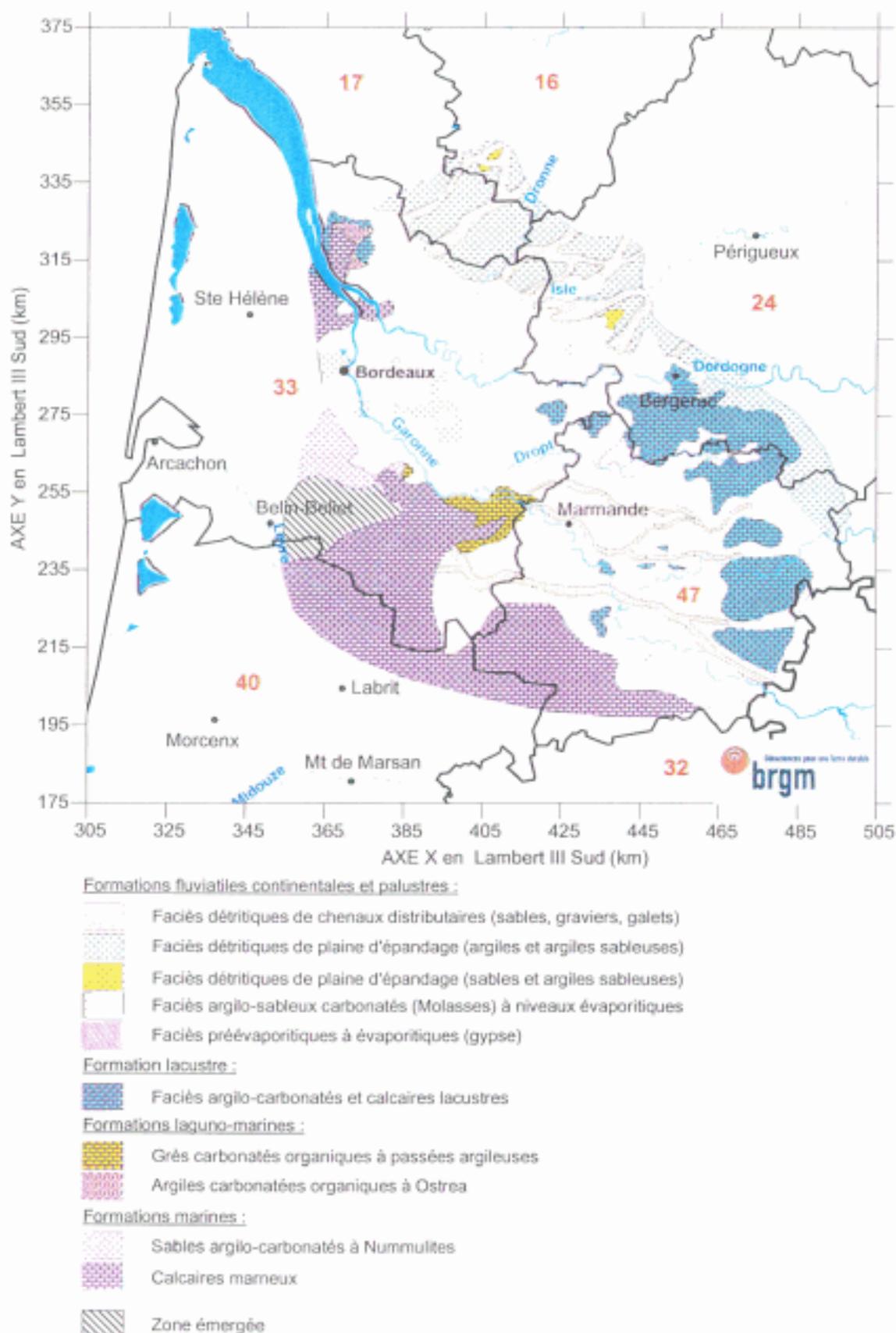


Fig. 7 : Paléogéographie à un horizon proche du toit de l'Éocène supérieur
 (D'après Dubreuilh, 1987)

Le niveau des calcaires lacustres d'Issigeac se rencontre aussi dans la partie supérieure de cette séquence. Au sein de l'ultime séquence apparaissent des passées évaporitiques (gypse) ou pré-évaporitiques (argiles fibreuses). Les faunes de mammifères recueillies dans ces différents niveaux les font dater du Ludien supérieur.

> **Domaine marin**

Les atterrissements marins couvrant le Priabonien sont divisés en deux biozones définies pour la partie basale par *Nummulites fabianii* et pour la partie sommitale par *N. retiatius* (Cavelier, Pomerol 1983). La biozone inférieure recouvre dans le bordelais les Marnes à *Ostrea bersonensis*, les Calcaires de St Estèphe et les Calcaires à *Sismondia occitana*. La biozone supérieure est quant à elle composée par les Grès et Calcaires à anomies.

> **Relations tectonique et sédimentation**

Les conditions distensives qui s'amorcent dès le Ludien moyen favorisent une vitesse supérieure de comblement (environ 200 m d'épaisseur de dépôts) et par là déterminent un nivellement du bassin molassique. De plus un changement dans la composition du cortège des minéraux lourds (Tourencq in Capdeville 1987) montre qu'au delà du Ludien moyen, le déclin des apports en provenance du Massif central se fait au profit des venues pyrénéennes.

2.2.3. Hydrogéologie

En raison de l'alternance des dépôts, le Tertiaire est considéré comme un aquifère multicouche complexe. En effet, la succession des apports sédimentaires (cf. § 1.2.2) au cours du temps entraîne une hétérogénéité verticale et horizontale des faciès, et amène nécessairement des discontinuités dans les terrains imperméables mettant en relation hydraulique les différentes couches perméables dont l'épaisseur peut être très variable (Ann. 1.5).

D'un point de vue hydrogéologique, quatre grands types de dépôts du Tertiaire présentent un intérêt :

- les sables continentaux (Formations de Guizengeard, de Boisbreteau...),
- Les calcaires lacustres (Issigeac, Eymet, Ondes, Plassac...),
- les sables littoraux (sables inférieurs du Bordelais...),
- les calcaires de plate-forme (Blaye, St Estèphe, St Yzans...),

Ces différents types de dépôts permettent d'individualiser trois réservoirs principaux dans l'Éocène correspondant schématiquement¹ aux subdivisions stratigraphiques habituelles : Éocène inférieur, moyen et supérieur. On retrouve ainsi de bas en haut :

l'aquifère de l'Éocène inférieur

Il est constitué par les **sables fluviatiles de l'Éocène inférieur** qui s'étendent depuis les zones d'affleurement à l'Est (fig. 8) jusqu'au Bordelais. Ils passent ensuite progressivement vers l'Ouest à des **calcaires de plate-forme marine**.

¹ la définition géométrique des aquifères s'appuie sur des aspects lithologiques. Cette définition n'obéit donc pas forcément aux subdivisions stratigraphiques habituelles (Éocène supérieur, moyen et inférieur) dont les dénominations ont cependant été conservées par souci de clarté et pour simplifier.

l'aquifère de l'Éocène moyen

l'aquifère est constitué d'Est en Ouest par :

- les **sables de l'Éocène inférieur à moyen** (Formation de Guizengeard principalement (détritique) et des sables inférieurs du Bordelais (marin)) qui s'étendent depuis les zones d'affleurement à l'Est et au Nord (fig. 8) jusqu'au Médoc et à l'Ouest de la Garonne.
- les **calcaires** (de Blaye, de Couquèques...) **de l'Éocène moyen** correspondant au domaine de plate-forme marine (Médoc, bassin d'Arcachon, une partie de l'Entre-Deux-Mers).

l'aquifère de l'Éocène supérieur

Il comprend d'Est en Ouest la **partie inférieure de la formation de Boisbreteau** (anciennement appelée sables du Périgord) constituée de sables argileux s'étendant dans le secteur de la Double et du Landais, **les sables fluviatiles du Libournais** (Éocène moyen à supérieur) à l'Est de la Garonne depuis Ste-Foy-La-Grande jusqu'au Fronsadais, **et les calcaires de plate-forme marine de l'Éocène supérieur** (Médoc, Bassin d'Arcachon, Entre-Deux-Mers).

Les **calcaires lacustres** interstratifiés dans les molasses au Sud-Est, dans les secteurs d'Eymet et d'Issigeac, peuvent localement être en relation avec le reste de l'aquifère.

Dans la partie nord du Bassin aquitain, les trois nappes de l'Éocène sont globalement limitées à l'Est et au Nord par les zones d'affleurements (fig. 8), au Sud-Ouest par les faciès pélagiques marneux et argileux du bassin de Parentis et au Sud-Est par la zone haute de Montauban (passage à des formations molassiques).

Au centre de ce dispositif, la structure de Villagrains-Landiras, où affleure le Crétacé, constitue une zone de lacune des trois aquifères de l'Éocène.

Du fait de l'enfouissement progressif des formations, les aquifères de l'Éocène sont rencontrés à des profondeurs de plus en plus importantes vers l'Ouest. Les niveaux productifs de l'Éocène inférieur par exemple sont déjà à plus de 200 m de profondeur dans la vallée de la Dordogne au droit de Montcaret et plus de 400 m au niveau de Bordeaux.

L'épaisseur des formations aquifères de l'Éocène est très variable. Ainsi les calcaires de l'Éocène supérieur ont, en moyenne, une épaisseur de 20 à 30 m qui peut atteindre localement 80 m (bassin d'Arcachon). Les calcaires de l'Éocène moyen ont une puissance comprise entre 75 et 150 m (bassin d'Arcachon). Les sables du Libournais atteignent 60 m d'épaisseur à Libourne.

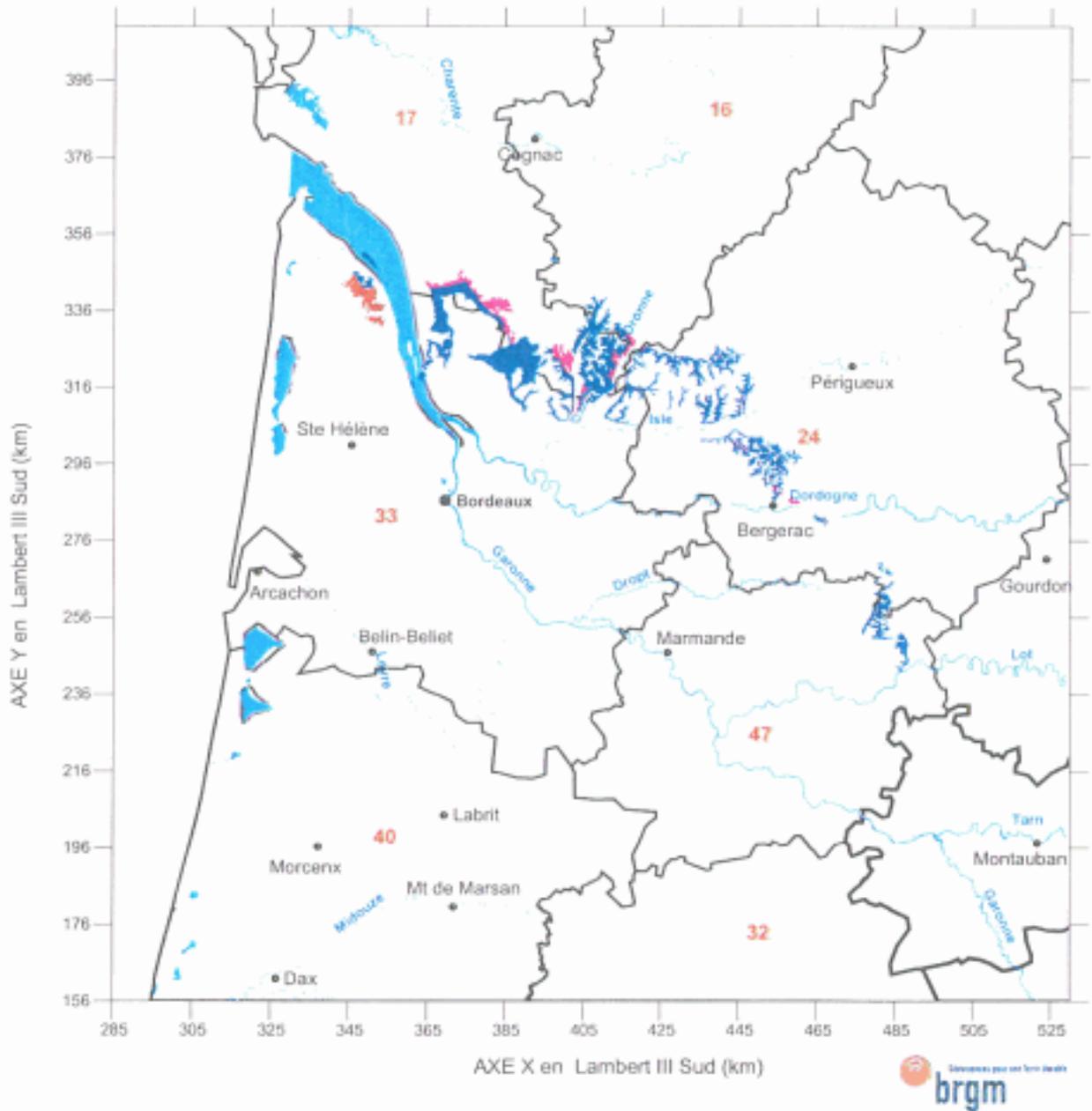
L'alimentation directe des aquifères de l'Éocène moyen et de l'Éocène inférieur est assurée par les zones d'affleurements situées vers les marges du bassin (fig. 8). Ces secteurs correspondent aux flancs de l'anticlinal de Jonzac au Nord et aux vallées de la Double et du Landais comprises entre la vallée de la Dordogne au Sud et celle de la Dronne au Nord.

Les affleurements susceptibles de réalimenter directement l'aquifère de l'Éocène supérieur sont, eux, exclusivement localisés dans le Médoc.

Le réseau hydrographique peut également jouer localement un rôle d'alimentation, par exemple la Dordogne qui alimente la nappe de l'Éocène inférieur à l'Est de Bergerac, ou le Lot qui l'alimente à l'aval de Fumel.

Parallèlement à cette alimentation directe, les aquifères de l'Éocène peuvent être alimentés par drainance :

- flux descendants, en particulier dans le Médoc et dans l'Entre-deux-Mers, en provenance de l'Oligocène,
- flux ascendants depuis la nappe du Crétacé Supérieur terminal.



Affleurements susceptibles de contribuer à l'alimentation des parties captives :

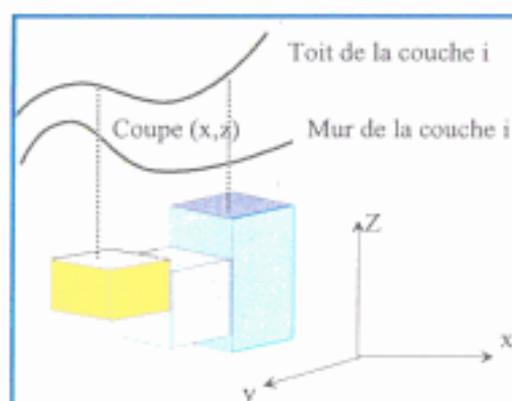
- Éocène inférieur
- Éocène moyen
- Éocène supérieur

Fig. 8 : Localisation des affleurements de l'Éocène inférieur, moyen et supérieur susceptibles de participer à l'alimentation des parties captives

2.3. CARACTERISTIQUES NUMERIQUES DU NOUVEAU MODELE

2.3.1. Type de discrétisation

Le nouveau modèle comprend donc 9 couches (décrites ci-dessus); il est du type multicouche, construit suivant un schéma aux différences finies : chaque couche aquifère 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 (schéma ci-dessous).



Le modèle numérique géologique qui constitue l'infrastructure du modèle hydrodynamique est construit couche par couche par interpolation des cotes du toit et du mur des formations aquifères, cotes fournies par l'interprétation de tous les sondages recensés.

Chacune des couches (dont l'extension est précisée par les fig. 9 et 10) est représentée en plan par un maillage constitué de mailles carrées de 2 km × 2 km.

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

FORMATION	NOMBRE DE MAILLES	SUPERFICIE km ²
Plio-Quaternaire	2844	11376
Helvétien	2228	8912
Aquitaniens-Burdigaliens	3162	12648
Oligocène	4108	16432
Éocène supérieur	3898	15592
Éocène moyen	4331	17324
Éocène inférieur	4326	17304
Campano-Maastrichtien	4122	16488
Turonien-Coniacien-Santonien	5948	23792

Tabl. 1 : Nombre de mailles et superficie de chaque couche du modèle

Le logiciel supportant le modèle est le logiciel MARTHE développé au BRGM.

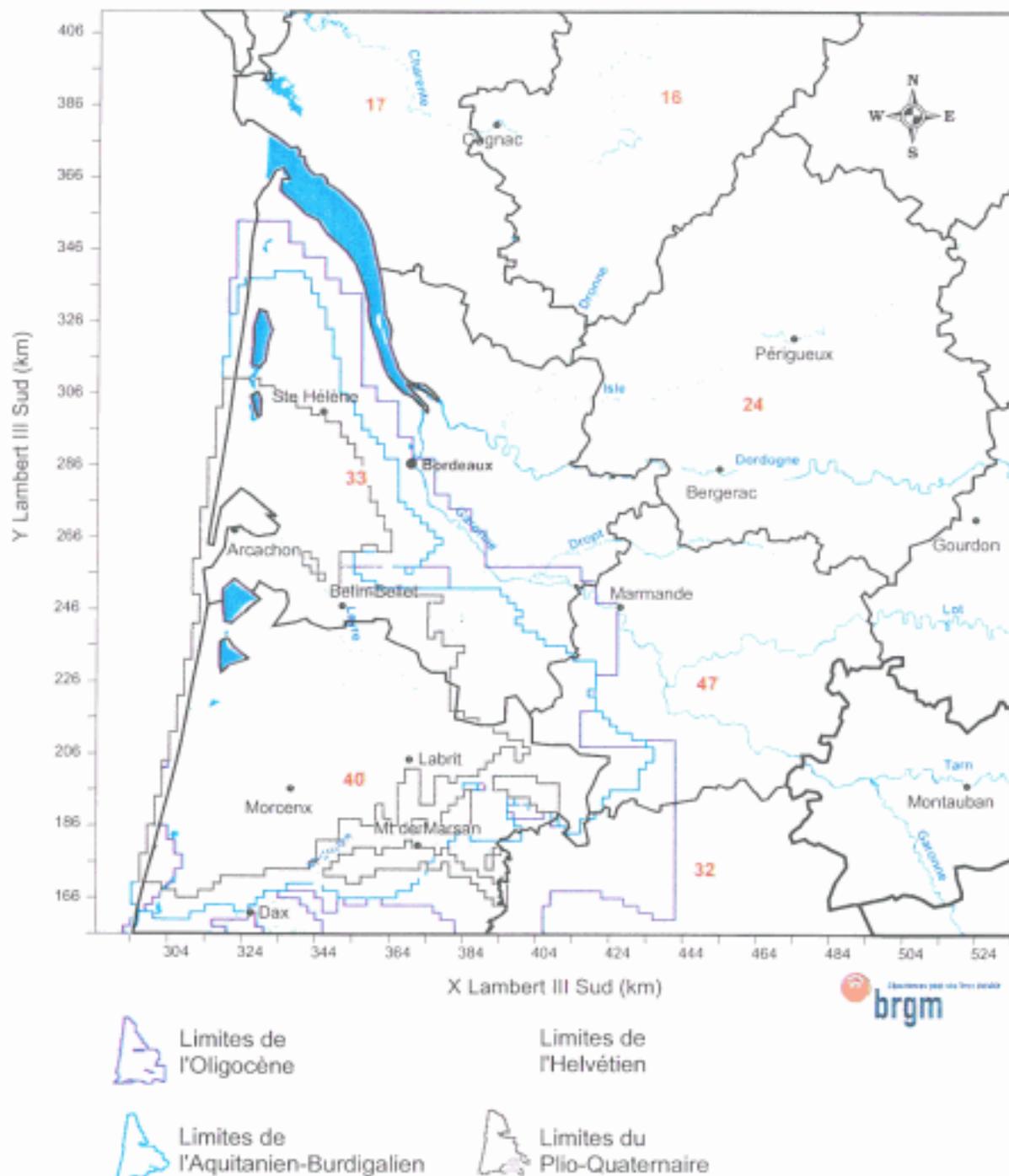


Fig. 9 : Extension des couches supérieures du modèle (1, 2, 3 et 4)

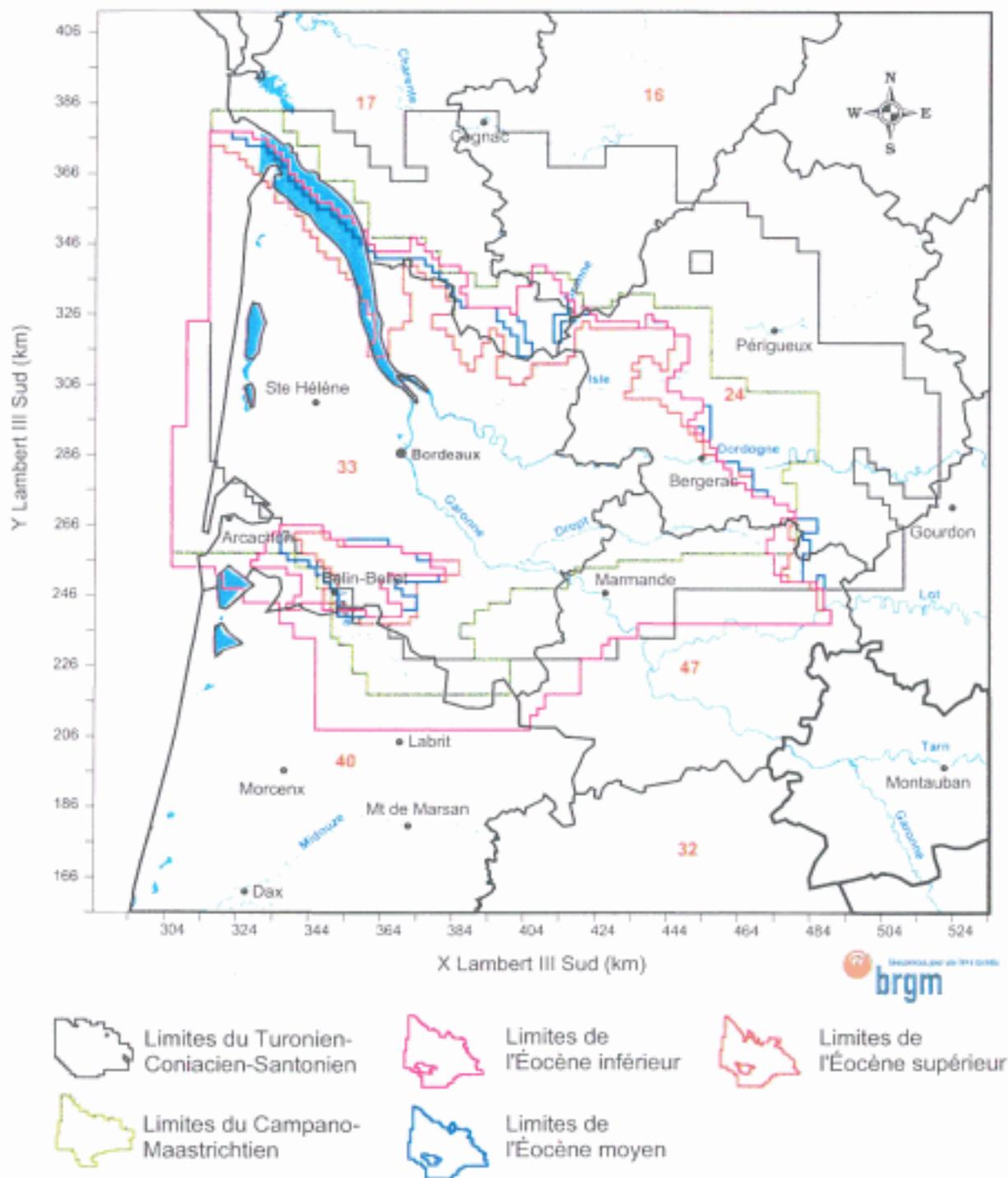


Fig. 10 : Extension des couches inférieures du modèle (5, 6, 7, 8 et 9)

2.3.2. Base de données gérée par un SIG

Toutes les données nécessaires à la modélisation ont été intégrées dans un Système d'Information Géographique géré par le logiciel MapInfo® (fig. 11) :

- cartes du toit et du mur de chaque aquifère,
- carte des affleurements,
- carte des zones de recharge,
- limites et maillage des couches,
- localisation des pompages et valeurs de prélèvement,
- cartes des paramètres hydrodynamiques des aquifères et des épontes.

Une telle base de données permet :

- de disposer d'une source d'informations unique et homogène,
- de faire rapidement des mises à jour,
- de superposer aisément différentes couches de données,
- de disposer de fonctionnalités avancées pour réaliser des opérations complexes (requêtes, analyses thématiques...).

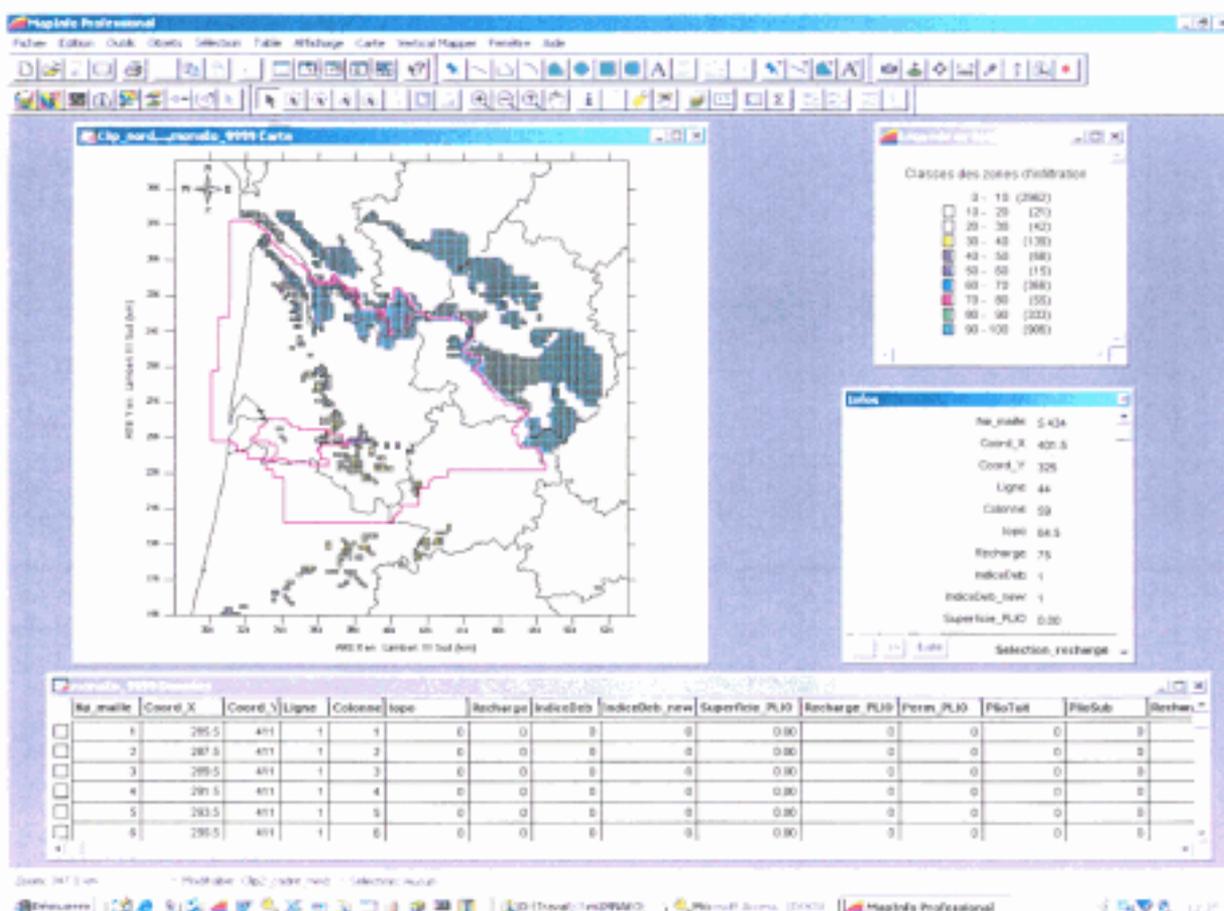


Fig. 11 : Illustration du SIG "Modèle Nord-Aquitain" sous MapInfo®

3. Subdivision de la couche de l'Éocène

3.1. METHODOLOGIE

Les trois sous-unités aquifères de l'Éocène ont été délimitées à l'aide d'une analyse stratigraphique et lithologique menée à partir d'un examen systématique des données des forages issues de la Banque de données du Sous Sol (BSS).

L'extension géographique des trois réservoirs a été délimitée à partir de leurs zones d'affleurements (fig. 8) identifiées sur les cartes géologiques à 1/50 000 et en se basant sur les limites de faciès observées lors de l'analyse des coupes lithologiques des forages.

Dans une seconde phase, le travail stratigraphique et les descriptions lithologiques des forages réinterprétés ont permis de délimiter verticalement les trois réservoirs aquifères en faisant des regroupements lithologiques simplificateurs permettant de les modéliser.

Enfin, des coupes sériées ont été réalisées systématiquement (logiciel GDM du BRGM) afin de mettre en cohérence les horizons aquifères repérés sur les différents ouvrages et ainsi observer d'éventuelles communications avec les aquifères sus-jacent et sous-jacent.

Des informations extraites des cartes géologiques à 1/50 000 (pendages, épaisseur des couches à l'affleurement) sont venues compléter le travail.

3.2. ANALYSE STRATIGRAPHIQUE ET LITHOLOGIQUE

Une stratigraphie actualisée des trois étages de l'Éocène a été définie à partir de l'examen de **969 forages** recoupant l'Éocène (fig. 12). Les résultats de cette étude ont ensuite été intégrés dans une base de données spécifique regroupant 2683 limites stratigraphiques repérées et 6686 sections lithologiques (fig. 13).

Fig. 13 : Illustration de la base de données "MNA Base Éocène" sous Access®

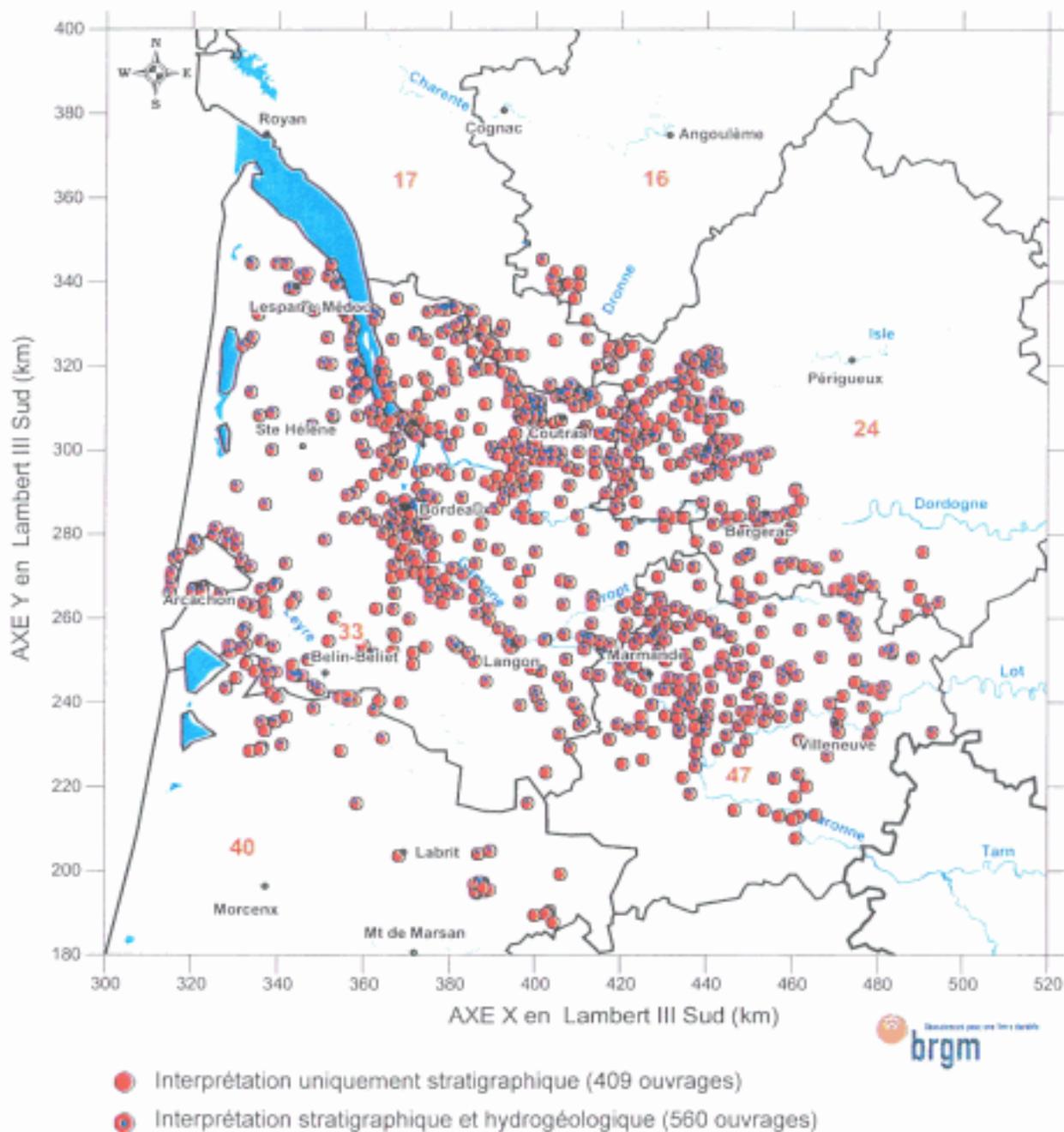


Fig. 12 : Localisation des ouvrages interprétés recoupant l'Éocène

A partir de la base ainsi constituée, les cartes des toits stratigraphiques des formations ont été dressées (Ann. 2) puis utilisées pour le travail de délimitation des trois réservoirs. La démarche adoptée est résumée par la figure 14.

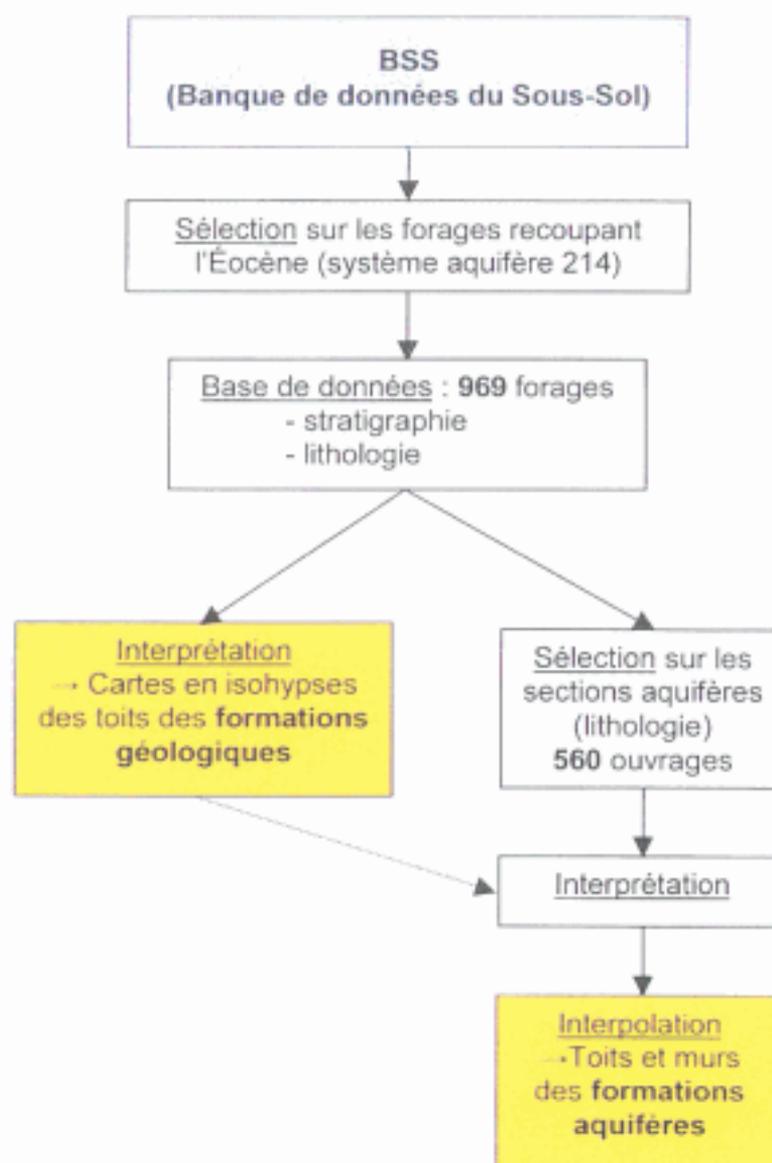


Fig. 14 : Délimitation des sous-unités aquifères de l'Éocène : démarche

3.3. CONSTRUCTION DE LA GEOMETRIE DES COUCHES AQUIFERES DE L'EOCENE

L'interpolation des toits et des murs a été effectuée à l'aide du logiciel Surfer® à partir des cotes des limites aquifères (lithologie) de 560 ouvrages réinterprétés stratigraphiquement, pour lesquels des niveaux aquifères ont pu être identifiés.

La cohérence numérique de l'ensemble a été vérifiée dans le SIG (MapInfo®) par le calcul des épaisseurs des épontes (une épaisseur d'éponte négative indiquerait un croisement de couches).

La cohérence de l'ensemble a été vérifiée par des coupes systématiques (logiciel GDM du BRGM). Une visualisation 3D complète l'analyse de cohérence (Fig. 15).

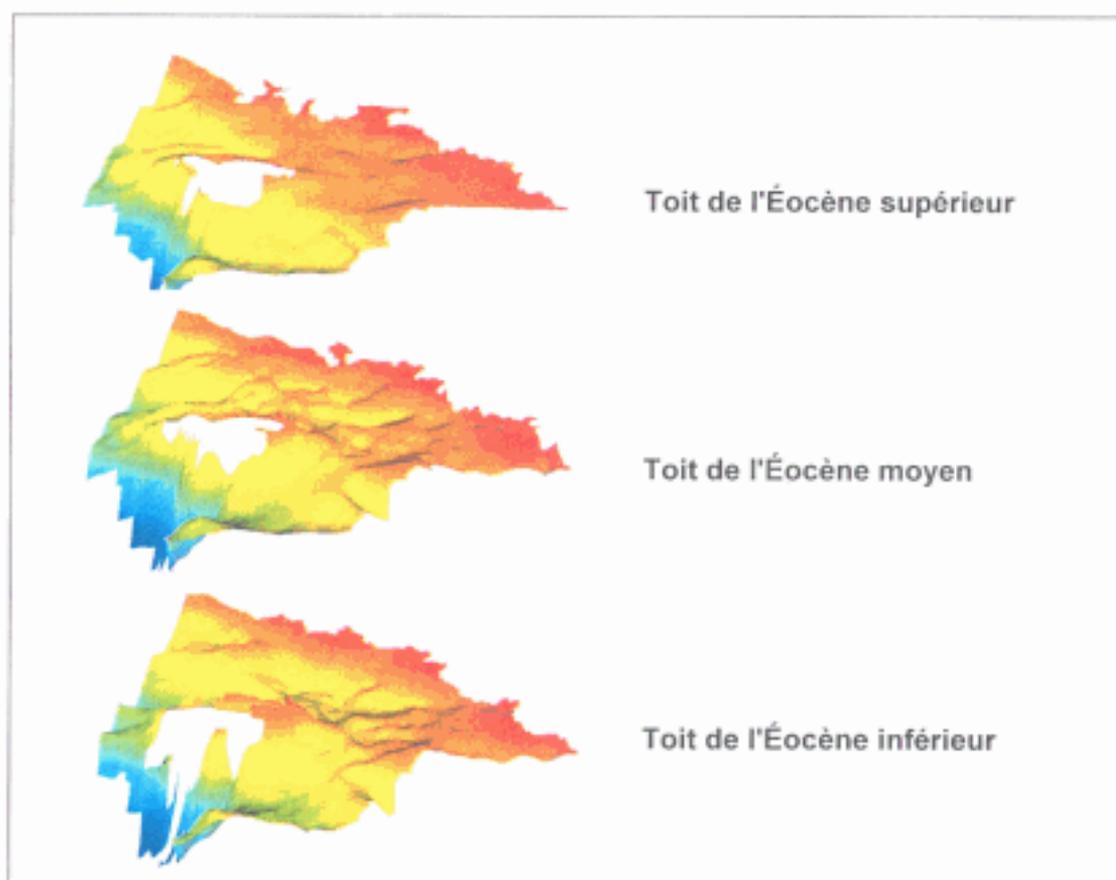


Fig. 15 : Vues 3D des toits de l'Éocène inférieur, moyen et supérieur

Les résultats obtenus pour l'Éocène moyen sont présentés par les cartes des figures 16 (cotes du toit), 17 (cotes du mur) et 18 (épaisseurs). Les cartes du toit, du mur et de l'épaisseur des nappes de l'Éocène inférieur et de l'Éocène supérieur ont été reportés en annexe 3.

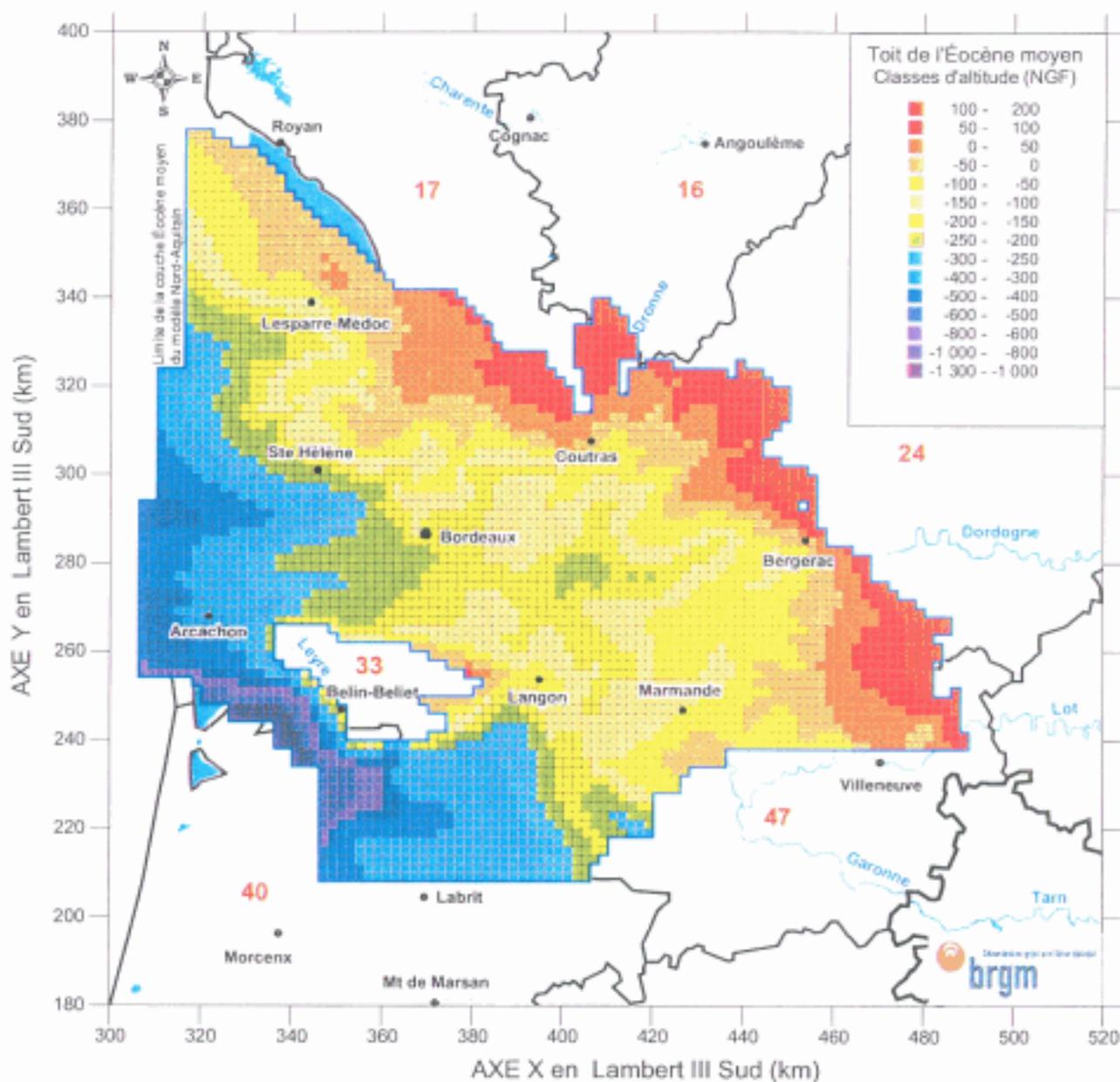


Fig. 16 : Toit de la couche aquifère de l'Éocène moyen

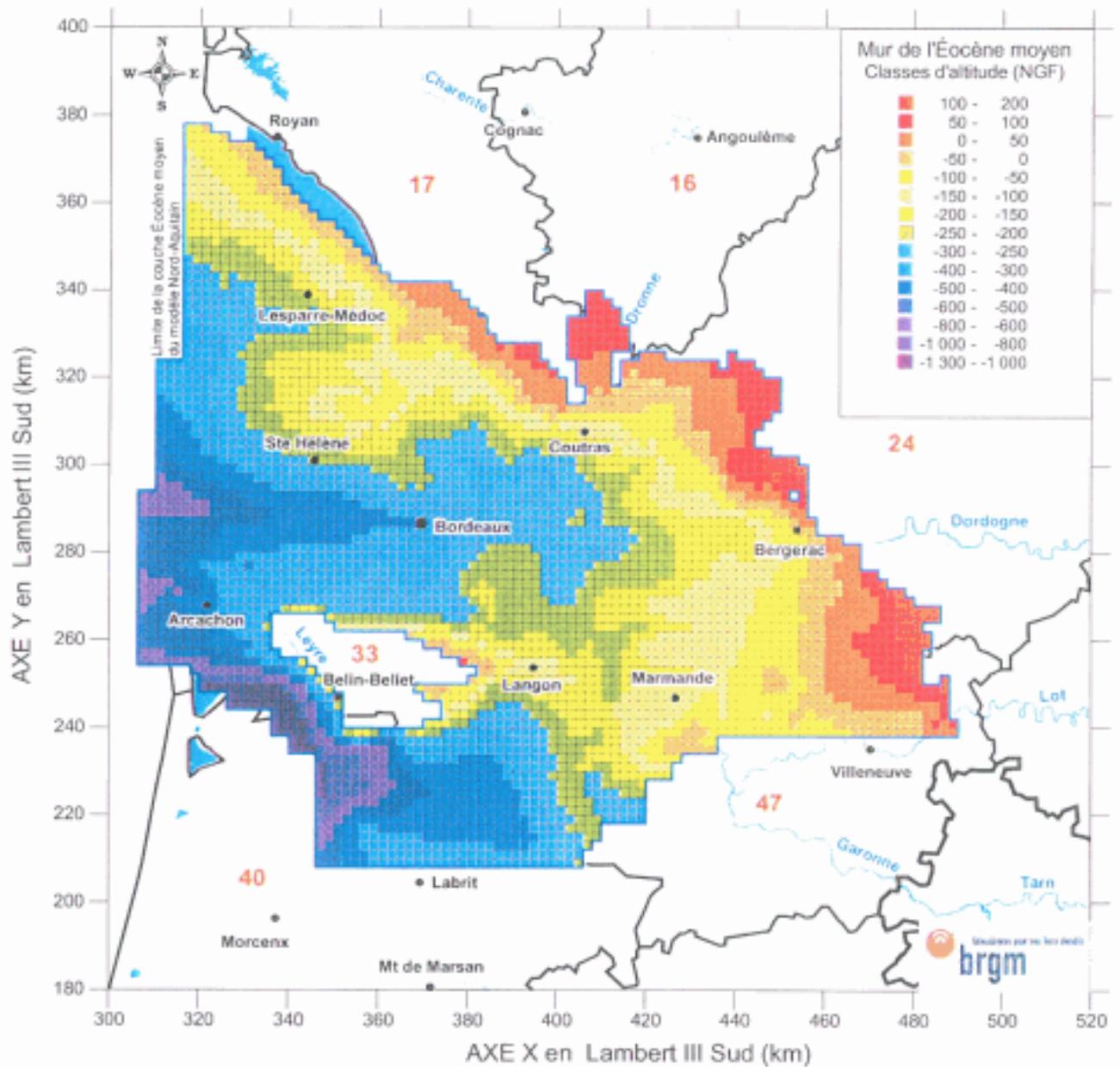


Fig. 17 : Mur de la couche aquifère de l'Éocène moyen

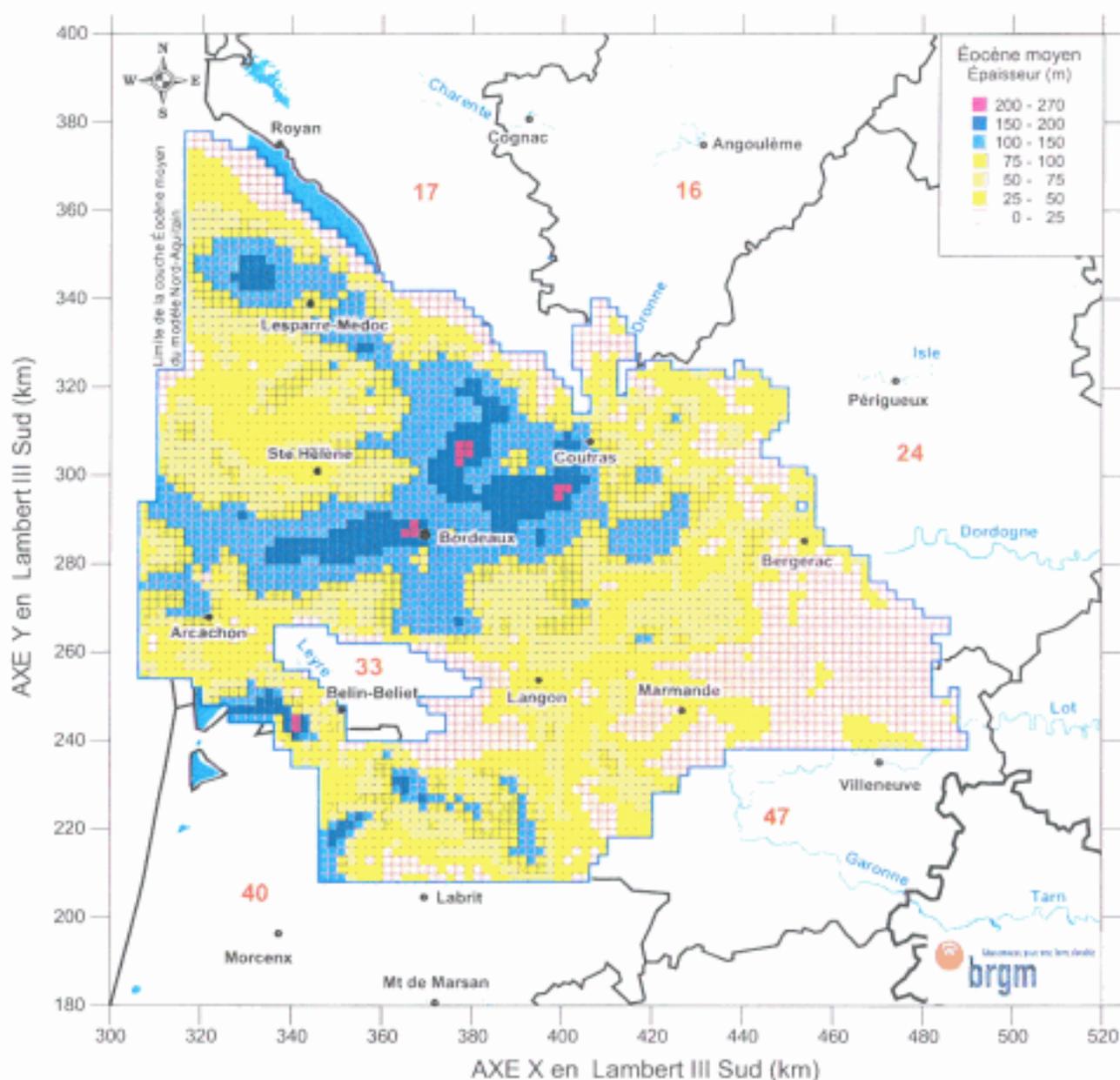


Fig. 18 : Épaisseur indicative de la couche aquifère de l'Éocène moyen
 Carte élaborée à partir des grilles du toit et du mur de la formation

4. Passage du modèle à la maille de 2 km × 2 km

Le changement de grille de calcul nécessite une **réaffectation** à la nouvelle grille de toutes les variables et paramètres spatialisés de l'ancien modèle pour les couches du Campano-Maastrichtien et du Turonien-Coniacien-Santonien. Les couches supérieures (Plio-Quaternaire, Helvétien, Aquitanien-Burdigalien et Oligocène) ont en effet déjà été discrétisées au pas de 2 km lors de la construction du modèle Miocène (année 5 du précédent Contrat Plan Etat Région, Réf. 3, 4 et 7).

Quant à la couche de l'**Éocène**, subdivisée en trois, il s'agit donc non pas d'une réaffectation mais d'une **reconstruction**, à intégrer dans l'ensemble existant.

Dans ces opérations de réaffectation et de reconstruction sont concernés :

- la géométrie des couches aquifères : toits et murs,
- les paramètres hydrodynamiques :
 - perméabilité des aquifères,
 - perméabilité des épontes,
 - coefficient d'emménagement des nappes à surface libre,
 - coefficient d'emménagement spécifique des nappes captives,
- les zones de recharge,
- les prélèvements,
- les paramètres régissant les échanges entre l'estuaire et les nappes sous-jacentes :
 - cote du fond,
 - cote du plan l'eau,
 - perméabilité du lit de colmatage,
 - épaisseur du lit de colmatage,
 - largeur et longueur du tronçon de l'estuaire dans chaque maille traversée

Toutes les informations concernant les paramètres hydrodynamiques sont issues du modèle à mailles carrées de 5 km de côté. Tout ce qui concerne les points d'eau (chroniques piézométriques, valeurs des prélèvements) est issu de la Base de Données des Eaux Souterraines (BDES).

4.1. LE MODELE NUMERIQUE GEOLOGIQUE

4.1.1. Construction

Le modèle géologique, infrastructure du modèle hydrodynamique, est construit par "empilement" des toits et des murs des 9 formations aquifères.

- *Campano-Maastrichtien et Turonien-Coniacien-Santonien*

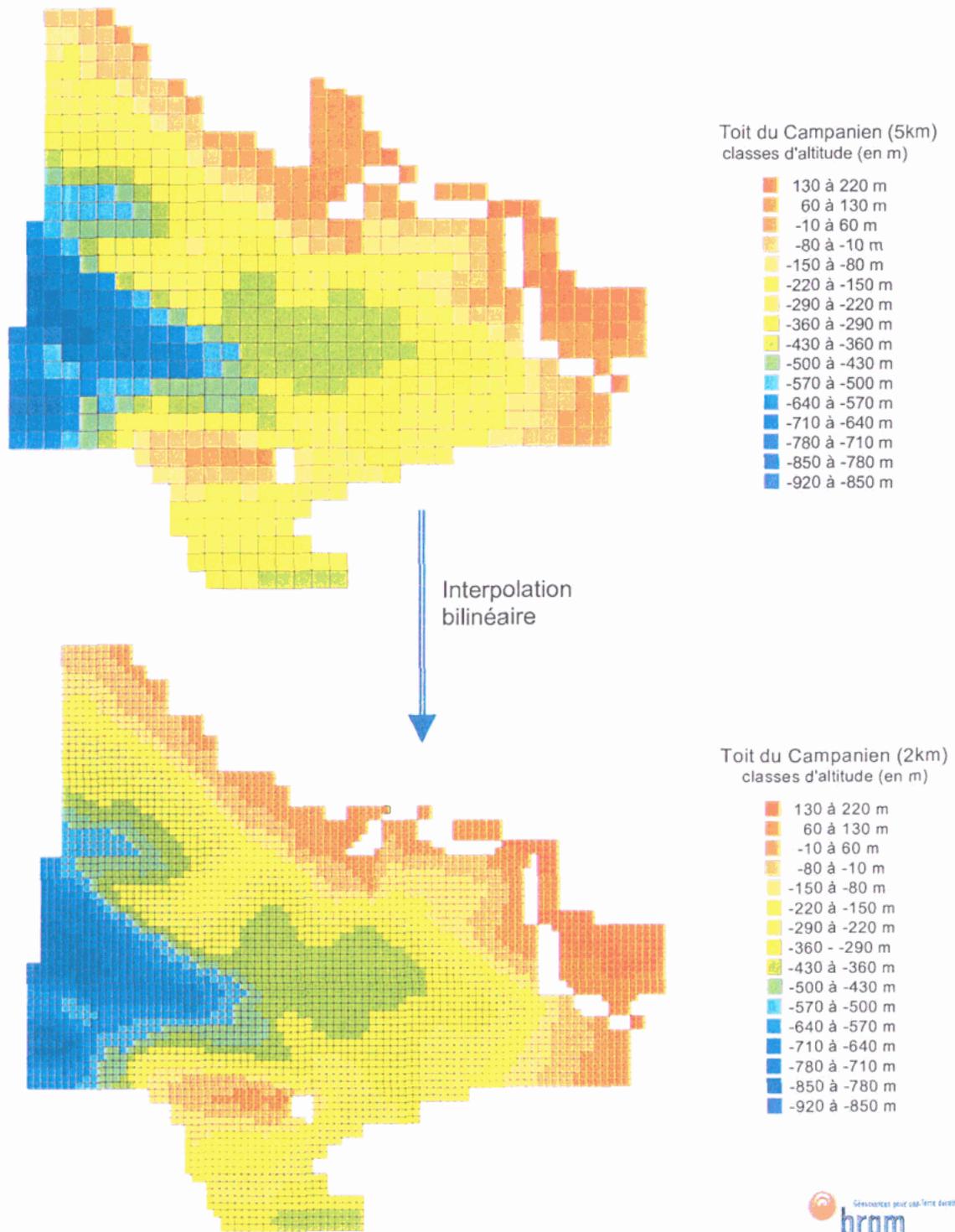
Une interpolation bilinéaire du toit et du mur de ces deux couches a été utilisée pour passer d'une grille à l'autre. Cette opération est illustrée par la figure 19. Les cartes des toits de ces deux couches sont présentées en annexe 4.

- *Couches de l'Éocène*

Les grilles d'interpolation des toits et murs issues de la cartographie établie lors de la délimitation des 3 couches de l'Éocène sont superposées aux grilles précédentes.

- *Couches du modèle Miocène*

Les grilles des toits et murs du modèle Miocène (4 couches) complètent la structure à 5 couches ci-dessus.



Les zones du maillage laissées en blanc correspondent aux contacts avec la couche sus-jacente.

Fig. 19 : Passage du maillage 5 km au maillage 2 km : exemple du toit du Campano-Maastrichtien

4.1.2. Vérification de la cohérence d'ensemble

Après l'interpolation des données, plusieurs étapes ont permis de finaliser la géométrie du modèle.

1) Toutes les grilles de valeurs (toits, murs, épaisseurs des couches aquifères) ont été intégrées dans le SIG géré par MapInfo®. La base de données ainsi constituée permet une première vérification de type numérique, basée sur l'absence de valeurs négatives dans les épaisseurs d'épentes calculées par MapInfo® : toit couche $i \leq$ mur couche $i-1$.

2) La cohérence géologique a été vérifiée en réalisant des coupes sériées dans le modèle (logiciel GDM "Geological Database Management" du BRGM) ; l'ensemble de ces coupes est présenté en Annexe 5.

3) La création d'un modèle en trois dimensions en langage VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) vient appuyer les coupes GDM dans la validation de la géométrie (Ann. 6).

4) Enfin, une attention particulière a été apportée à la vérification de la cote des affleurements et leur positionnement dans le maillage de façon :

- à reproduire le mieux possible les émergences et les relations avec les cours d'eau,
- à éviter que la cote piézométrique d'un point servant de référence pour le calage soit située au dessus de la valeur topographique moyenne affectée à la maille.

4.2. PARAMETRES SPATIALISES DU MODELE HYDRODYNAMIQUE

4.2.1. Paramètres hydrodynamiques

La réaffectation de ces paramètres (perméabilités des couches et des épentes, coefficients d'emmagasinement type "libre" et type "captif") pour les couches du Campano-Maastrichtien et du Turonien-Coniacien-Santonien a été faite en utilisant une procédure d'interpolation "conservative" (méthode par "cercles de recherche" avec un rayon d'interpolation inférieur à la taille de maille de la grille de départ) de façon à ce que la zonation et les valeurs issues du calage ne soient pas modifiées (ou le moins possible) (Ann. 4).

4.2.2. Paramètres définissant les échanges de flux d'eau entre l'estuaire et les nappes sous-jacentes

Les quatre couches concernées par les échanges de flux d'eau avec l'estuaire sont le Campano-Maastrichtien, l'Éocène inférieur, l'Éocène moyen et dans une moindre mesure l'Éocène supérieur. La modification de la géométrie liée à l'intégration des trois couches de l'Éocène en remplacement de l'unique couche Éocène de l'ancien modèle implique de revoir dans le détail les zones d'échange pour ces nouvelles couches. Une redéfinition plus fine est prévue dans le programme de la seconde année du CPER.

Les paramètres "cotes du fond de l'estuaire", "épaisseur du lit" issus du modèle "5 km" ont donc été affectés temporairement au nouveau maillage suivant la même méthode d'interpolation que celle utilisée pour les toits et murs. Le paramètre "perméabilité du lit" a été affecté de la même façon que les paramètres hydrodynamiques.

La largeur et la longueur des tronçons d'estuaire dans les mailles traversées ont été calculées suivant le même principe que la surface des affleurements (cf. § 3.3.1 ci-dessous).

4.3. ZONES DE RECHARGE

4.3.1. Calcul de la superficie des affleurements par maille

Les valeurs de la recharge qu'il faut affecter aux mailles dans les zones d'affleurement des différentes couches aquifères sont fonction de la superficie de ces affleurements dans chacune des mailles.

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 ex. 40 mm/an avec un taux d'occupation de la maille de 25 %).

Les superficies des affleurements dans les mailles de la nouvelle grille de calcul du modèle ont été entièrement recalculées. En effet, la taille des mailles ayant changé, les surfaces d'affleurement par maille doivent être réévaluées.

Le calcul a été réalisé avec le logiciel MapInfo® par une succession de d'opérations décrite par la figure 20 ci-dessous.

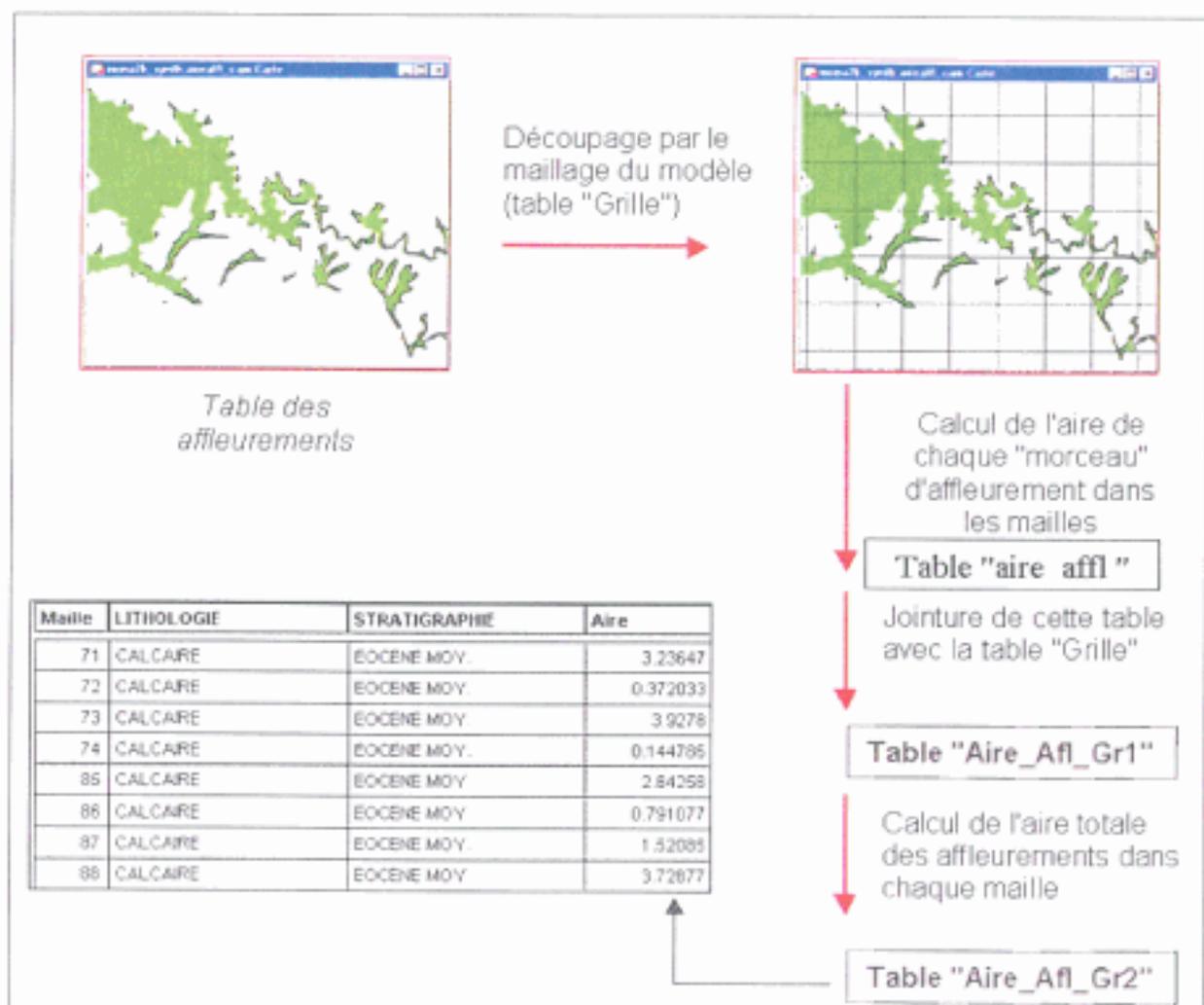


Fig. 20 : Méthode de calcul de la superficie des affleurements dans les mailles

Les mailles de recharge des couches du modèle ont été définies à partir des cartes d'affleurement (cf. § 1.2) des différentes formations et des zones sous recouvrement susceptibles d'être réalimentées. Les zones de recharge des trois couches de l'Éocène sont présentées par la figure 21.

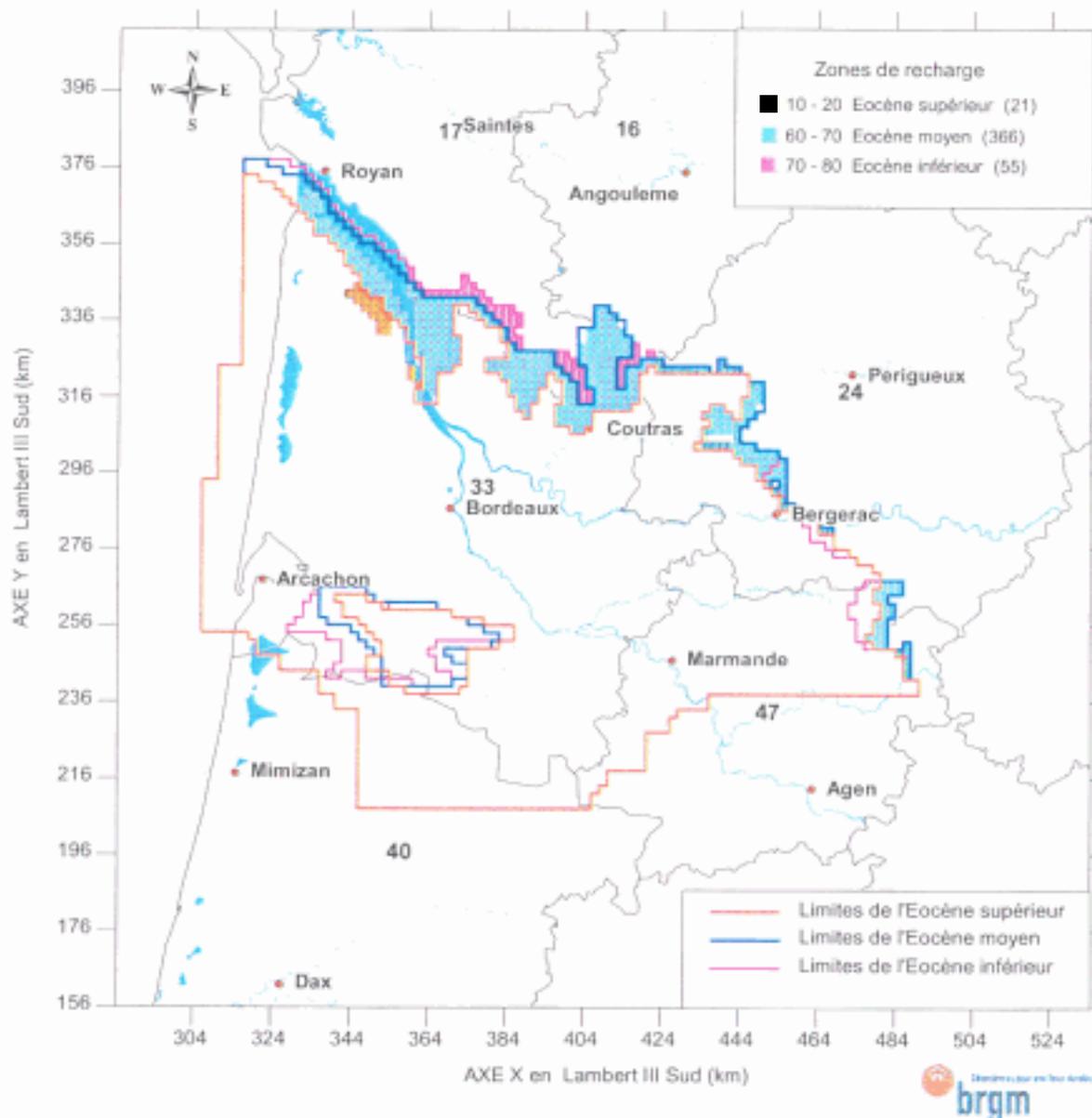


Fig. 21 : Carte des zones de recharge des aquifères de l'Éocène dans le Modèle Nord-Aquitain

4.3.2. Constitution des zones de recharge

Dans une deuxième étape, les surfaces calculées ont été regroupées en classes (0 à 10%, 10 à 20%...), chaque classe étant affectée d'un numéro de zone (tableau ci-dessous pour les trois couches de l'Éocène).

% superficie		<10]10,20]]20,30]]30,40]]40,50]]50,60]]60,70]]70,80]]80,90]]90,100]
ES	Numéro de zone	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
	Nombre de mailles de recharge	2	3	4	0	2	0	2	3	2	3
EM	Numéro de zone	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
	Nombre de mailles de recharge	44	34	51	46	36	38	30	16	20	51
EI	Numéro de zone	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
	Nombre de mailles de recharge	8	5	3	5	10	11	2	5	4	2

Tabl. 2 : Zones de recharge dans les trois couches de l'Éocène

FORMATION	SUPERFICIE PRISE EN COMPTE (km ²)	NOMBRE DE MAILLES DE RECHARGE	CODIFICATION
Plio-Quaternaire	Toute la couche	2962	1-7
Helvétien	26	42	20-29
Aquitainien-Burdigalien	807	139	30-39
Oligocène	70	83	40-59
Éocène supérieur	43	21	10-19
Éocène moyen	686	366	60-69
Éocène inférieur	100	55	70-79
Campano-Maastrichtien	663	333	80-89
Santonien-Coniacien-Turonien	2314	906	90-99

Tabl. 3 : Superficie totale des zones de recharge pour chacune des couches du modèle

Remarque : Pour l'Éocène, les zones d'affleurements ont été réattribuées à chacun des 3 aquifères à partir des cartes géologiques à 1/50 000. Dans la Double, le choix a été fait de prendre en compte la couche de l'Éocène supérieur ce qui a conduit à ne pas considérer les zones d'affleurements mineures de l'Éocène moyen se trouvant dans le secteur. Il en résulte une diminution de la superficie globale des zones de recharge de l'Éocène dans le modèle de 863 km² (ancien modèle) à 829 km² (superficie cumulée pour les 3 nouvelles couches).

Sur la base des valeurs de l'ancien modèle, chaque zone est affectée d'une valeur de recharge.

La dernière étape consistera à réajuster (recalage du modèle) les valeurs de recharge afin d'obtenir des valeurs globales comparables à celles de l'ancien modèle.

5. Introduction des données spatio-temporelles

La plupart des données de piézométrie et de prélèvements utilisées dans le modèle ont été acquises dans le cadre de la Gestion des Nappes en Gironde (Réf. 11), du module "Appui au réseau" du précédent CPER (Années 1 à 5) (Réf. 12) ou d'autres études cofinancées par le BRGM.

5.1. PRELEVEMENTS

Pour les couches supérieures (Helvétien, Aquitaniens-Burdigaliens) les prélèvements ont été affectés lors de l'étude portant sur la modélisation du Miocène (Réf. 3, 4 et 7).

Pour l'Oligocène, les trois couches de l'Éocène, le Campano-Maastrichtien et le Turonien-Coniacien-Santonien, les valeurs de prélèvements, année par année de 1972 à 2000 (29 ans), ont été extraites de la Base de Données des Eaux Souterraines par une série de requêtes formulées avec le logiciel Access®. Cette opération a nécessité 29 x 6 requêtes pour constituer les fichiers de données nécessaires à la modélisation. La figure 22 présente une illustration de ce travail.

Cas de l'Éocène

Pour l'Éocène, désormais subdivisé en trois, une première répartition des ouvrages a été effectuée à partir des profondeurs des crépines (partie considérée comme aquifère) et de la stratigraphie revue et corrigée. Les prélèvements concernant des ouvrages ne disposant pas de coupes géologiques et techniques, ou pour lesquels il y avait une incertitude, n'ont pour le moment pas fait l'objet d'une attribution à l'un des trois aquifères Éocène. Ces ouvrages seront affectés par un géologue au cours de l'année 2 du projet.

A l'heure actuelle, **424 forages** avec des valeurs de prélèvements ont été réaffectés. La répartition se fait comme suit :

- 25 forages captent l'Éocène supérieur,
- 312 forages captent l'Éocène moyen,
- 46 forages captent l'Éocène inférieur,
- 38 captent deux aquifères,
- 3 captent trois aquifères.

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

Les aquifères de l'Éocène moyen et de l'Éocène inférieur apparaissent largement comme les plus sollicités (fig. 23). Les données relatives à l'Éocène supérieur, principalement utilisé par l'agriculture et pour des usages individuels, indiquant une faible exploitation de l'aquifère, laissent supposer une méconnaissance des prélèvements dans cette nappe. Une démarche sera entreprise en année 2 du projet auprès des MISE et des Chambres d'agriculture des différents départements concernés pour pallier le manque d'informations sur ces prélèvements. Ceux-ci seront intégrés, après validation, dans la BDES et dans le modèle numérique (affectation retrospective depuis la date de création de l'ouvrage).

Les cartes de localisation des prélèvements des couches de l'Oligocène, du Campano-Maastrichtien et de l'Éocène, sont présentées en annexe 7.

Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine
 Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes
 Année 1

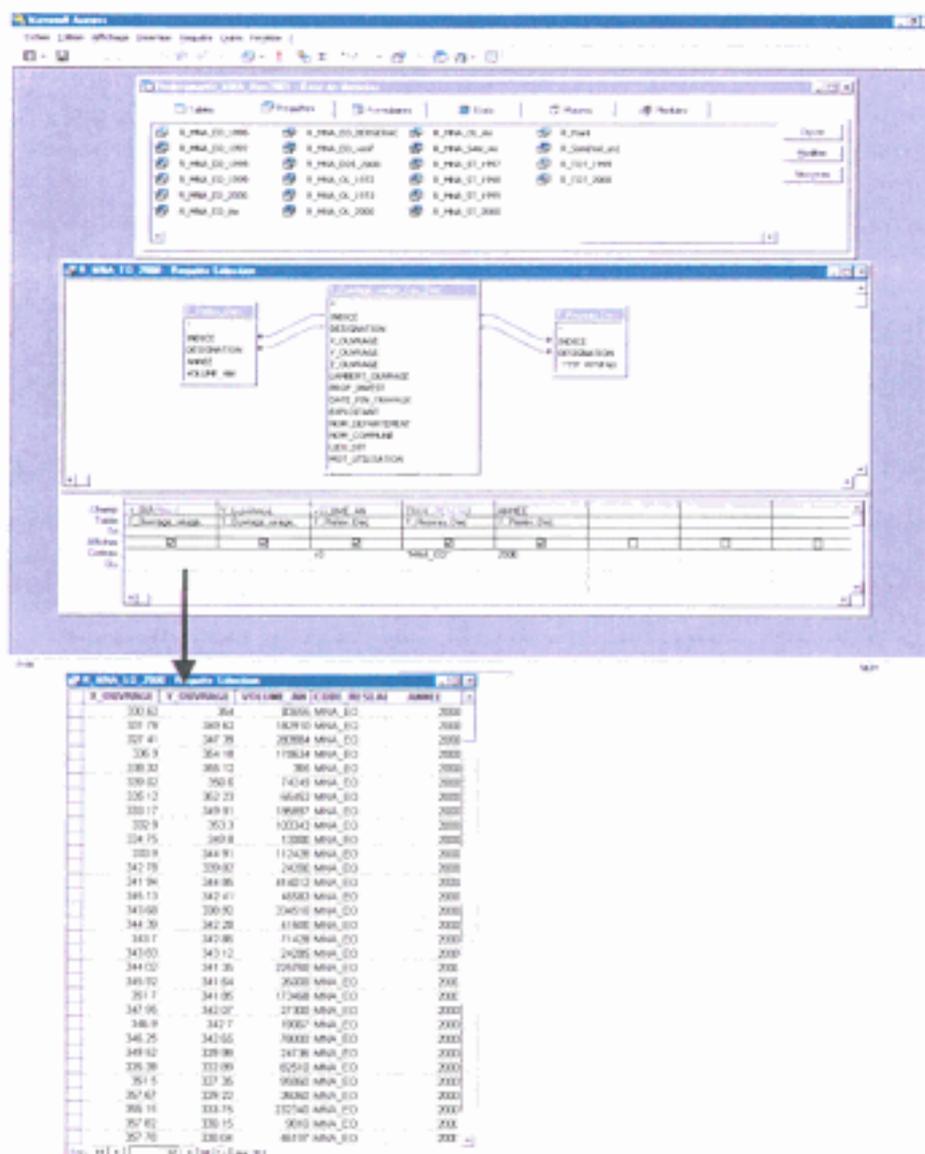


Fig. 22 : Extraction des prélèvements de la base de données sous Access®

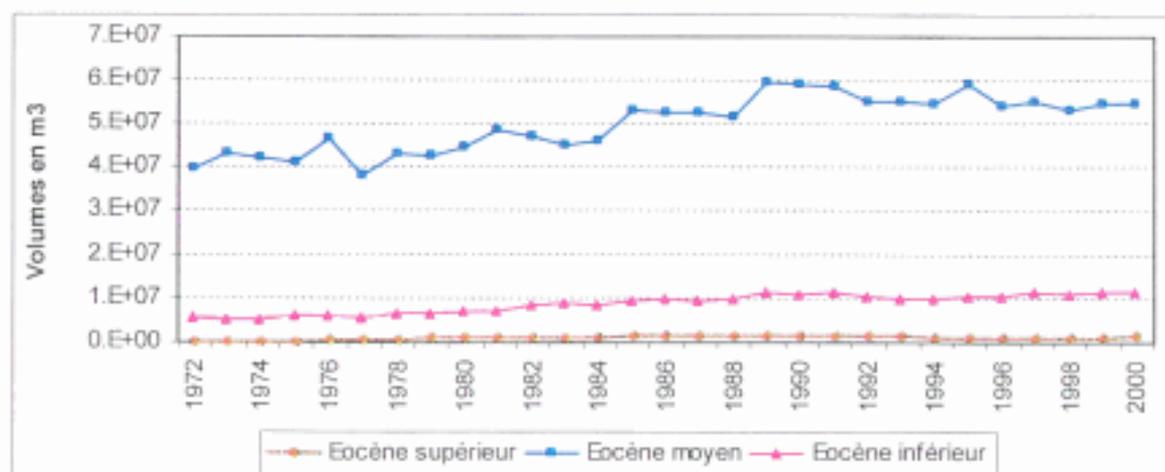


Fig. 23 : Évolution des prélèvements dans l'Éocène de 1972 à 2000

5.2. RECHARGE

5.2.1. Précipitations efficaces

Les précipitations efficaces ont été fournies par la *Division Climatologie Interrégionale Sud-Ouest* de Météo France pour les stations de Mérignac en Gironde, de Cognac (Château-Bernard) en Charente, de Gourdon dans le Lot. Les données de ces stations ont été utilisées dans la modélisation pour le calcul de la recharge par zone.

Elle a été calculée à partir d'un bilan au pas de temps décadaire établi à partir :

- des précipitations (P),
- de l'évapotranspiration potentielle (ETP),
- de la capacité maximale en eau du sol (la "réserve utile" RU), fixée à deux valeurs (100 mm et 150 mm).

L'agrégation au pas de temps annuel de ce bilan décadaire est présentée par le tableau 5 pour la station de Mérignac et l'évolution des précipitations efficaces annuelles depuis 1971 (pour RU = 150 mm) est retracée ci-dessous.

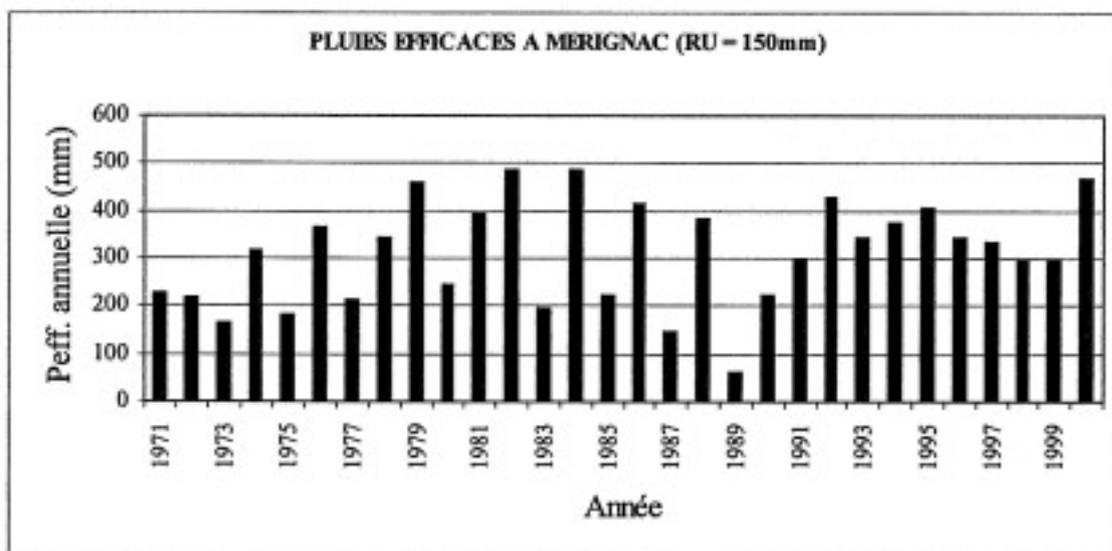


Fig. 24 : Évolution des précipitations efficaces annuelles à la station de Mérignac (33)

Pour chacune des trois stations sus-mentionnées, le tableau ci-dessous fournit la moyenne et l'écart type des pluies efficaces calculées sur la période 1971-2000

Station	Mérignac (33)		Château-Bernard (16)		Gourdon (46)	
	100 mm	150 mm	100 mm	150 mm	100 mm	150 mm
Moyenne (mm)	360	312	233	185	229	181
Ecart type (mm)	111	109	96	94	92	96

Tabl. 4 : Moyenne et écart-type des pluies efficaces aux stations de Mérignac, Cognac et Gourdon sur la période 1971-2000

*Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine
Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes
Année 1*

Année	Pluie (mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	Peff. (RU=100 mm)	Peff. (RU=150 mm)
1971	928.9	794.1	134.8	270	228
1972	790.1	761.3	28.8	235	218
1973	788.6	811.3	-22.7	237	164
1974	922.2	840.5	81.7	365	317
1975	780.3	861	-80.7	234	184
1976	1018.1	905.1	113	418	366
1977	960.4	796.7	163.7	252	216
1978	892.3	838.4	53.9	353	347
1979	1184.9	805.2	379.7	548	462
1980	915.8	692	223.8	282	245
1981	989.9	721.6	268.3	444	398
1982	1157.6	791.8	365.8	537	488
1983	866.6	866.9	-0.3	240	195
1984	1193.5	872.6	320.9	542	486
1985	825.3	820.5	4.8	257	224
1986	954.4	843.7	110.7	476	415
1987	788.3	791.5	-3.2	193	150
1988	943.1	812.9	130.2	387	387
1989	664.3	942.9	-278.6	106	61
1990	906	945.5	-39.5	323	222
1991	978.5	883.6	94.9	347	298
1992	1230.6	859.5	371.1	474	429
1993	1092.1	895.2	196.9	393	346
1994	1170.4	938	232.4	424	377
1995	1048	977.6	70.4	457	406
1996	1108.2	955.6	152.6	397	347
1997	1106.3	975.2	131.1	394	336
1998	1011.4	951.4	60.0	339	298
1999	1099.8	931.3	168.5	348	300
2000	1208.6	959.8	248.8	521	472

Tabl. 5 : Pluies efficaces annuelles à la station de Mérignac de 1971 à 2000

5.2.2. Calcul de la recharge

Comme dans l'ancien modèle, la recharge année par année a été évaluée en prenant comme référence la pluie efficace moyenne calculée sur la période **1971-1996**² (avec une RU de 150 mm) : à partir des valeurs de recharge obtenues en régime permanent, les valeurs année par année pour chaque zone d'infiltration sont obtenues par :

$$R_{z,k} = \frac{P_{\text{eff}}(k)}{P_{\text{eff}}} \overline{R}_z$$

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

\overline{R}_z est la valeur de recharge du régime permanent pour la zone z

$P_{\text{eff}}(k)$ est la pluie efficace de l'année k

P_{eff} est la pluie efficace moyenne calculée sur la période 1971-1996

² Période sur laquelle a été effectuée le calage de l'ancienne version du modèle. La période 1996-2000 servant à la validation de celui-ci.

6. Premiers réajustements du calage

La subdivision de l'Éocène a nécessairement des répercussions sur le calage effectué avec l'ancien modèle. Cela résulte :

- de l'introduction de l'Éocène supérieur et de l'Éocène inférieur, couches pour lesquelles il faut introduire des valeurs pour les paramètres hydrodynamiques,
- de l'introduction de deux nouvelles épontes (Éocène supérieur/Éocène moyen et Éocène moyen/Éocène inférieur),
- de la modification des épaisseurs des épontes existantes (Campano-Maastrichtien/Éocène et Éocène/Oligocène),
- de la diminution globale de l'épaisseur de l'Éocène moyen conduisant à une diminution de transmissivité (à perméabilité fixée),
- de la prise en compte de zones de recharge pour chaque couche de l'Éocène,
- de la modification des zones d'échange de flux d'eau entre l'estuaire et l'Éocène à présent subdivisé,
- de la réaffectation des prélèvements à chacune des couches de l'Éocène.

Pour initialiser le modèle, le champ de perméabilités de l'Éocène issu de l'ancien modèle a été affecté à l'Éocène moyen mais aussi à l'Éocène supérieur et à l'Éocène inférieur. Une perméabilité homogène a été attribuée aux deux nouvelles épontes.

Compte tenu de ces changements, le premier "run" du modèle s'est donc traduit, dans l'Éocène moyen, par une piézométrie simulée différente de la piézométrie calculée avec l'ancien modèle.

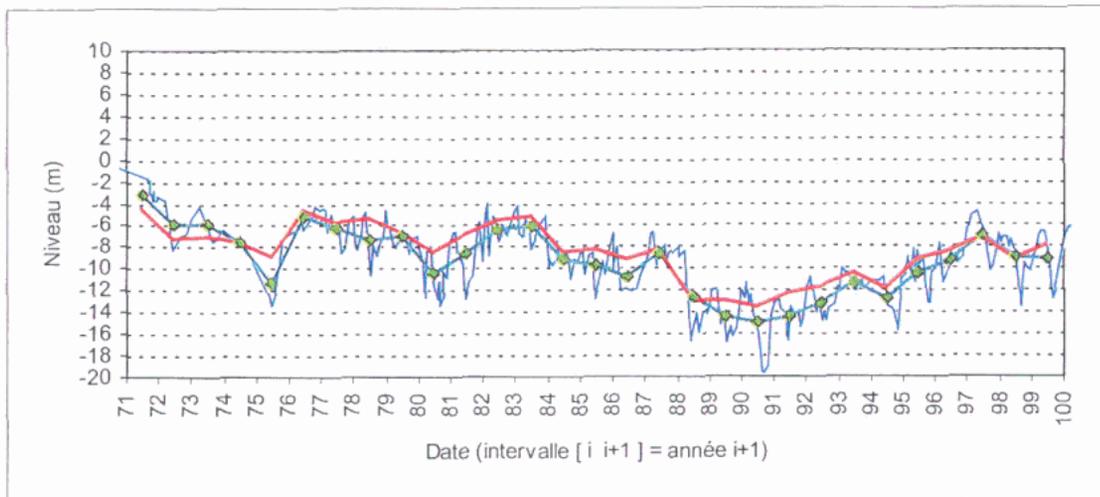
En anticipant sur les tâches prévues en "Année 2", un premier travail de réajustement des paramètres a été effectué pour les couches de l'Éocène. Ce réajustement a porté sur :

- la perméabilité des couches aquifères,
- la perméabilité des épontes,
- les valeurs de recharge,

Dans un premier temps, pour compenser la baisse de transmissivité, un facteur correctif de 1,5 a été appliqué globalement à la couche de l'Éocène moyen. Mais l'épaisseur de l'Éocène moyen n'ayant pas été modifiée de façon uniforme lors du remodelage, des corrections locales du champ de perméabilité doivent être encore effectuées.

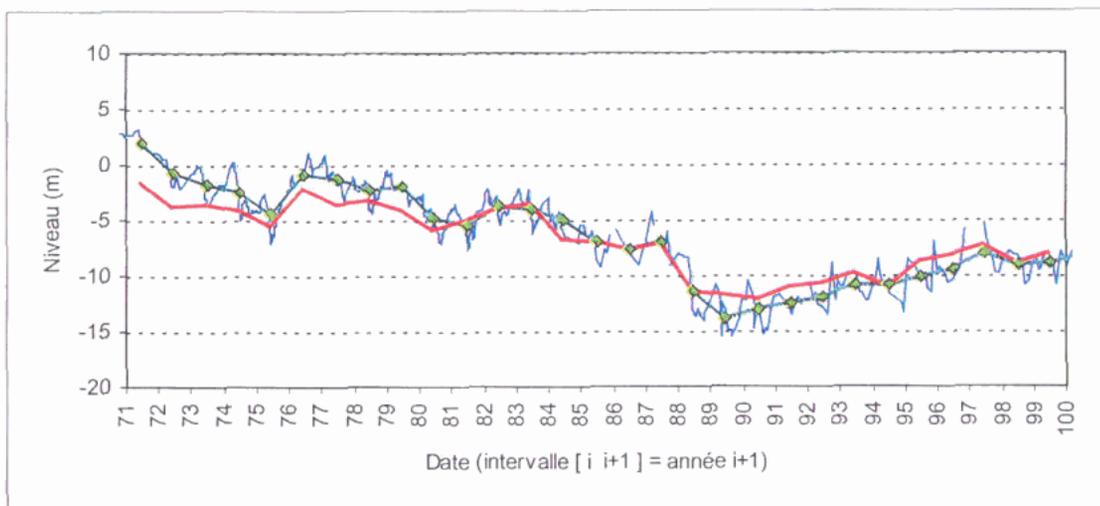
Les seules modifications de perméabilité n'étant pas suffisantes pour rétablir le calage initial, en raison de la présence des nouvelles épontes, les perméabilités de celles-ci doivent donc faire l'objet d'un calage.

A l'issue de ces premiers essais, la piézométrie est bien restituée sur plusieurs points d'observation dans la couche de l'Éocène moyen, comme le montrent les chroniques présentées par les figures 25a, 25b, 25c et 25d. Néanmoins des écarts subsistent dans plusieurs zones. Le travail de réajustement complet des trois couches de l'Éocène est prévu en année 2 du présent module.



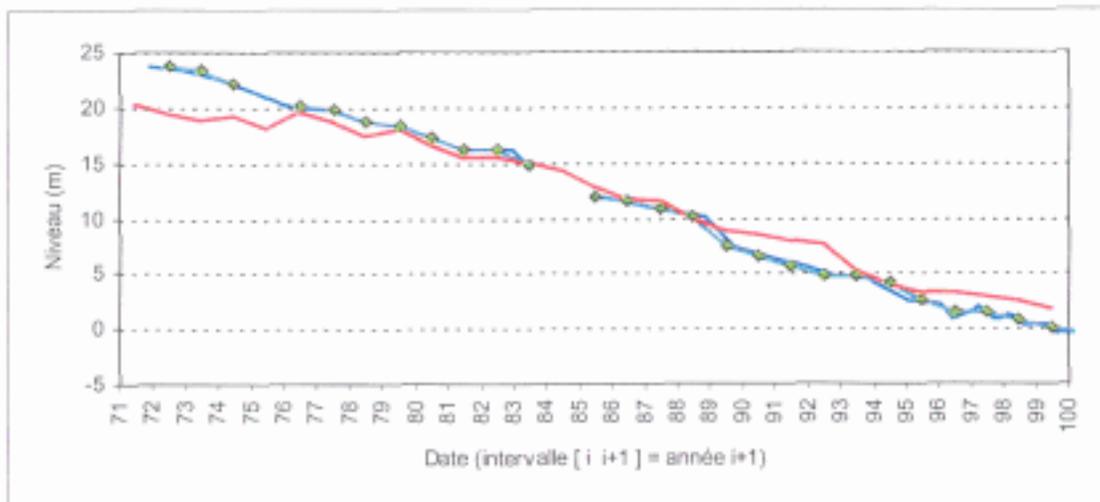
En rouge : piézométrie simulée
En vert : piézométrie mesurée (moyenne annuelle)
En bleu : piézométrie mesurée (données brutes)

Fig. 25a : Comparaison piézométrie simulée-piézométrie mesurée dans l'Eocène moyen à Cenon (33)



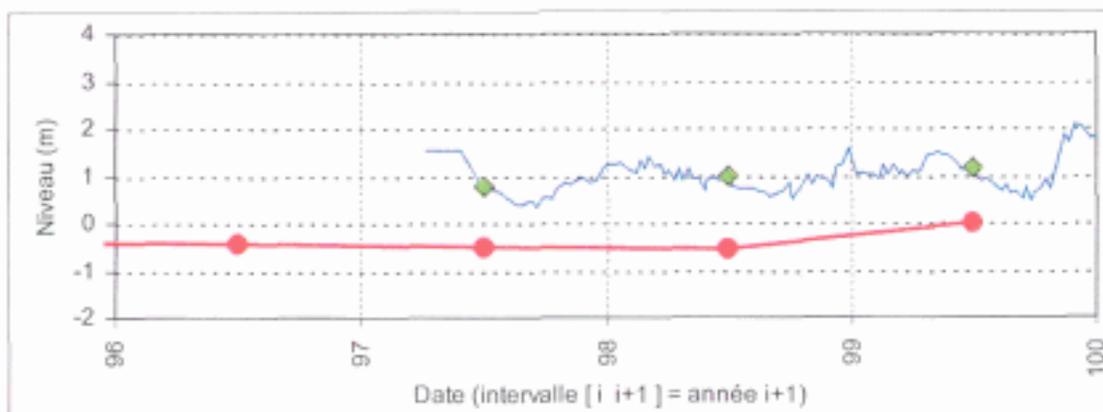
En rouge : piézométrie simulée
En vert : piézométrie mesurée (moyenne annuelle)
En bleu : piézométrie mesurée (données brutes)

Fig. 25b : Comparaison piézométrie simulée-piézométrie mesurée dans l'Eocène moyen à Bouliac (33)



En rouge : piézométrie simulée
 En vert : piézométrie mesurée (moyenne annuelle)
 En bleu : piézométrie mesurée (données brutes)

Fig. 25c : Comparaison piézométrie simulée-piézométrie mesurée dans l'Eocène moyen à Auros (33)



En rouge : piézométrie simulée
 En vert : piézométrie mesurée (moyenne annuelle)
 En bleu : piézométrie mesurée (données brutes)

Fig. 25d : Comparaison piézométrie simulée-piézométrie mesurée dans l'Eocène moyen à St-Christoly (33)

7. Conclusion

Le modèle hydrodynamique nord-aquitain comprend désormais **9 couches aquifères discrétisées au pas de 2 km** : le Plio-Quaternaire, l'Helvétien, l'Aquitain-Burdigalien, l'Oligocène, les 3 couches de l'Éocène (inférieur, moyen et supérieur), le Campano-Maastrichtien et le Turonien-Coniacien-Santonien.

Un modèle numérique géologique complet et actualisé de l'Éocène a été réalisé et intégré à l'existant : modèles géologiques du modèle Miocène (Helvétien, Aquitain-Burdigalien et Oligocène) 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.

Tous les paramètres hydrodynamiques nécessaires au fonctionnement de ce nouveau modèle ont été introduits dans le nouveau maillage (perméabilités et coefficients d'emménagement des couches aquifères, perméabilités des épontes, paramètres régissant les échanges entre l'estuaire de la Gironde et les nappes sous-jacentes, paramètres de "débordement").

Les zones de recharge antérieurement délimitées pour la couche indifférenciée de l'Éocène dans l'ancien modèle ont été redéfinies précisément en fonction de la nouvelle configuration à 3 couches.

Enfin les prélèvements ont fait l'objet d'une première affectation à chacune des couches de l'Éocène sur une période de 29 ans (de 1972 à 2000).

Un premier "run" du modèle a été effectué. Compte tenu des modifications de la couche Éocène et de la reconfiguration verticale des prélèvements, le calage initial est naturellement à réajuster (perméabilité des 3 couches aquifères, et perméabilité des épontes). Les premiers essais effectués montrent que les facteurs correctifs à appliquer restent faibles, confirmant la robustesse du calage initial.

Ce travail de reconfiguration du Modèle Nord-Aquitain sera poursuivi en année 2 du présent module :

- 1) en mettant à jour la couche Oligocène à partir des données acquises en 2000 lors de l'étude portant sur la protection de la nappe de l'Oligocène en région Bordelaise (rapport BRGM/RP-50468 - *Gestion des Eaux souterraines en Aquitaine - Année 4 - Opération Sectorielle - Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise. Synthèse des connaissances géologiques*);
- 2) en finalisant le modèle numérique hydrodynamique : mise à jour des prélèvements dans l'Éocène, en particulier dans l'Éocène supérieur dont la nappe est principalement exploitée pour des besoins agricoles, notamment dans la zone médocaine et la région de Coutras. Pour pallier le manque d'informations disponibles concernant ces prélèvements, une consultation de la MISE et de la Chambre d'agriculture concernée doit être entreprise. Ces prélèvements seront intégrés dans modèle (affectation retrospective depuis la date de création de l'ouvrage).
- 3) en affinant le calage des trois couches de l'Éocène et de l'Oligocène.
- 4) en démarrant la collecte des données disponibles pour la couche du Jurassique qu'il est prévu d'intégrer au modèle en année 3.

Références bibliographiques

- 1] Amraoui N., Bichot F., Seguin JJ., Sourisseau B.
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.) – avril 1999.

- 2] Amraoui N., Bichot F., Platel JP., Seguin JJ.
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 – juin 1998.

- 3] Bichot F., Seguin JJ.
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 – novembre 2000.

- 4] Bichot F., Louis JP.
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 – octobre 1999.

- 5] Bichot F., Platel JP.
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 – février 1997.

- 6] Pédrón N., Capdeville JP., Mauroux B., Baudry D.
Évaluation de la ressource en eau de l'Éocène dans le Bergeracois –Année 1- Recueil et synthèse des données.
Rapport BRGM/RP-52528-FR – septembre 2003.

- 7] Pédrón N., Seguin JJ., Bichot F.
Gestion des eaux souterraines en Aquitaine – Année 5 – Évaluation des ressources. Modélisation des aquifères du Miocène. Calage du modèle et simulations.
Rapport RP 51176 – décembre 2001.

- 8] Seguin JJ.
Gestion des eaux souterraines en Aquitaine - Actualisation du Modèle Nord-Aquitain. Période 1999-2000.
Rapport BRGM/RP-51758-FR – juin 2002.

- 9] Seguin JJ.
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 – juin 2002.

- 10] Seguin JJ.
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 – septembre 1999.

11] Schnebelen N., Mauroux B., Seguin JJ.
Contrôle qualité et gestion des nappes d'eau souterraine en Gironde. Etat des connaissances à fin 2000.
Rapport BRGM RP-51307-FR – janvier 2001.

12] Mauroux B., Platel JP., Bonnery H.
Gestion des eaux souterraines en Aquitaine – Année 4 – Contribution à la mise en place des réseaux.
Rapport BRGM RP-51464-FR – 2000.

Références géologiques

Bonijoly D., Bles JL.
Histoire tectonique du Quercy (bordure Nord-Ouest du bassin d'Aquitaine, France). Bull. Soc. Géol. Fr., (7),t. XXV, n°5, p.775-784. 1983.

Capdeville JP.
Synthèse paléogéographique et structurale des dépôts fluviolacustres tertiaires du Nord du Bassin aquitain entre Lot et Dordogne. Thèse de Doctorat d'État, Bordeaux III. Document BRGM, n° 175, 295 p. 1987.

Cavelier C.
La limite Éocène-Oligocène en Europe Occidentale. Sciences géologiques, Strasbourg, mém. N°54, p.325. 1979.

Cavelier C., Pomerol Ch.
Echelle de corrélation stratigraphique du Paléogène, stratotypes, étages standards, biozones, chimiozones et anomalies magnétiques. Bull. BRGM Géol. Fr., n°3, p.261-262. 1983.

Dubreuilh J.
Synthèse paléogéographique et structurale des dépôts fluviaux tertiaires du Nord du bassin d'Aquitaine. Passage aux formations palustres, lacustres et marines. Thèse d'état Bordeaux III, document BRGM n°172, p.461. 1987.

Dupeyron-Laudoueneix M.
Considérations sur les gisements à végétaux tertiaires du Sud-Ouest de la France. Bull. Sect. Sciences Muséum, t.VIII, p.197. 1985.

Dupouy-Camet J.
Recherches structurales sur les accidents triasiques du Sud-Ouest de l'Aquitaine. Bull. Serv. Carte Géol. France n° 233, t. XLIX, p.249-537. 1952.

Legendre S., Marandat B., Sige B., Crochet JY., Godinot M., Hartenberg JL., Sudre J., Vianey-Liaud M., Muratet B., Astruc JG.
La faune de mammifères de Vielase (phosphorites du Quercy, Sud de la France) : Preuve paléontologique d'une karstification du Quercy dès l'Éocène inférieur. N. Jb. Geol. Paläont. Mh.,H.7,p.414-428. 1992.

Moussié B.

Le système aquifère de l'Éocène moyen et supérieur du bassin nord-aquitain. Influence du cadre géologique sur les modalités de circulation. Thèse d'Etat Bordeaux I, document BRGM n°307, p.100 + planches annexes. 1972.

Ringeade M.

Séquences mammaliennes en Aquitaine : corrélations avec les zones à mammifères classiques, les zones à charophytes et à ostracodes. Münchner Geowiss. Abh.,(A),10,p.189-196. 1987.

Veillon M.

Les zones de foraminifères du Paléogène nord-aquitain et leur valeur stratigraphique. Colloque sur le Paléogène, Bordeaux 1962, Mémoires du BRGM, n°28, p.227-241. 1962.

Winnock E.

Géologie succincte du Bassin d'aquitaine in Histoire structurale du golfe de Gascogne. Ed. Technip, Paris, 944p. 1971.

ANNEXE 1

Logs et Coupes géologiques

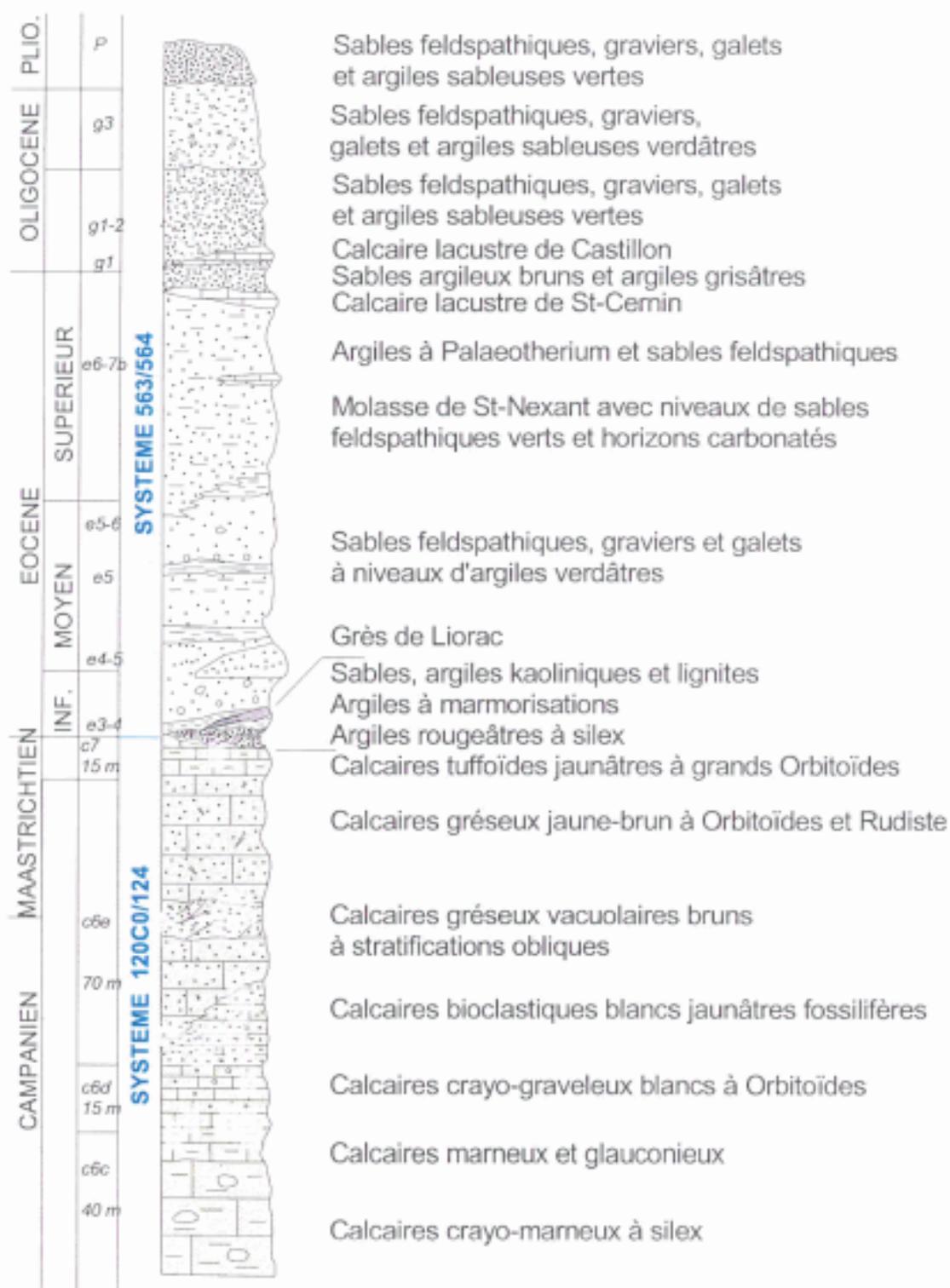
ERE / ERATHEME	Age Odfin	SYSTEME / PERIODE	SERIE / EPOQUE	ETAGE / AGE	SOUS ETAGE	
Cénozoïque	23,5 Ma	Paléogène	Oligocène	Oligocène supérieur Chatien g2		
	28 Ma		Oligocène inférieur	Rupélien = (Stampien) g1		
	33,7 Ma		Eocène	Eocène supérieur	Priabonien = (Ludien) e7	Bartonien supérieur = (Mannésien)
	37 Ma				Bartonien inférieur = (Auyrésien)	Bartonien inférieur = (Auyrésien)
	40 Ma				Eocène moyen	Lutétien supérieur Lutétien inférieur
	46 Ma		Eocène inférieur	Eocène inférieur	Yprésien e4	Yprésien supérieur = (Cuisien)
	53 Ma				Paléocène supérieur	Paléocène inférieur = (Ierdien) (Spartnacien continental)
	65 Ma		Paléocène inférieur	Paléocène inférieur	Thanétien (Landénien) e3 Sélandien (Mitrollien) [continental], Montien) e2 Danien (Gaumnien) e1	

Tableau stratigraphique du Cénozoïque (D'après JP. PLATEL et al, 2003)

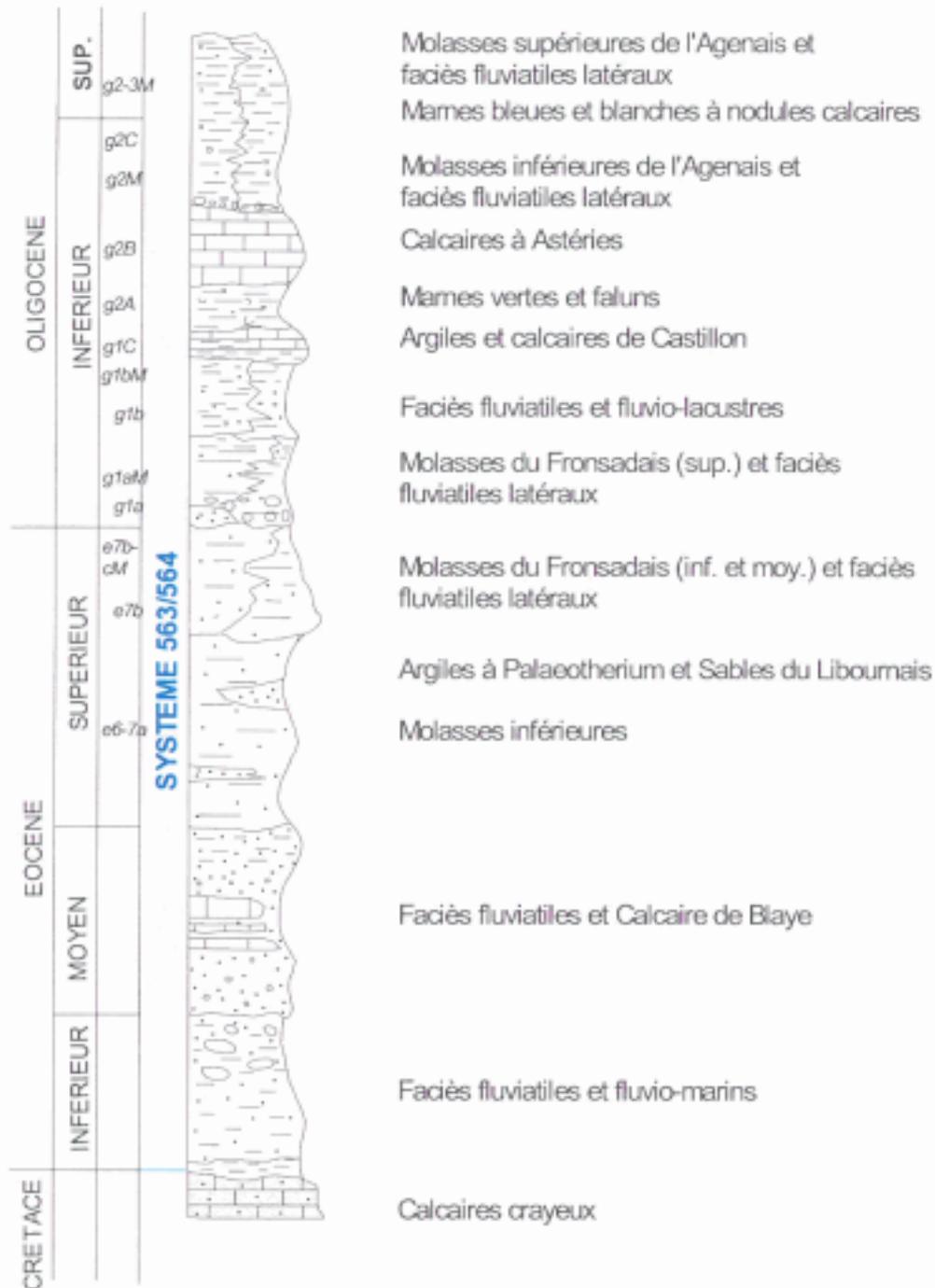
Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine
 Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes
 Année 1



Coupe lithostratigraphique synthétique de la carte géologique à 1/50 000 de Coutras



Coupe lithostratigraphique synthétique de la carte géologique à 1/50 000 de Bergerac



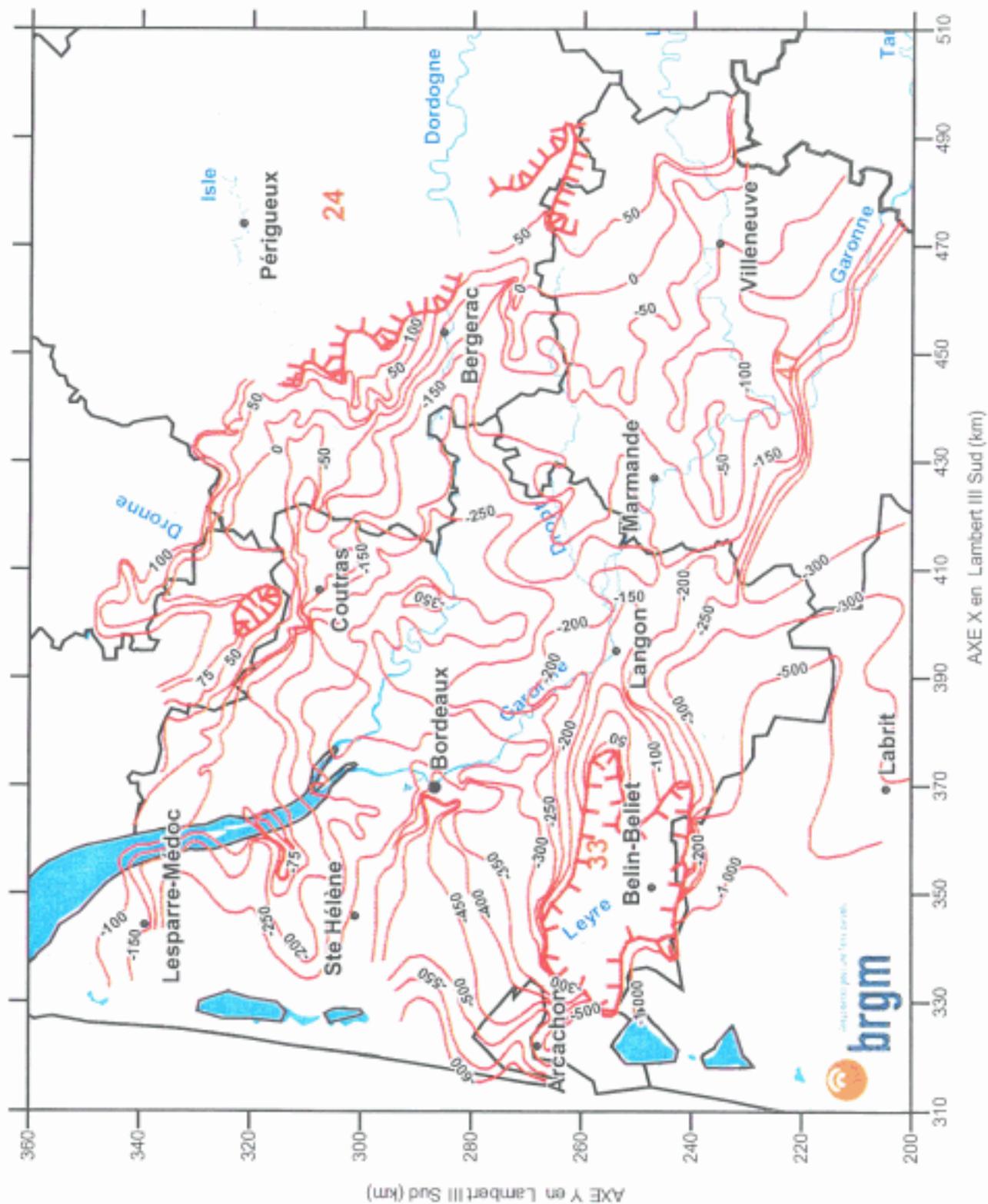
Coupe lithostratigraphique synthétique de la carte géologique à 1/50 000 de Libourne



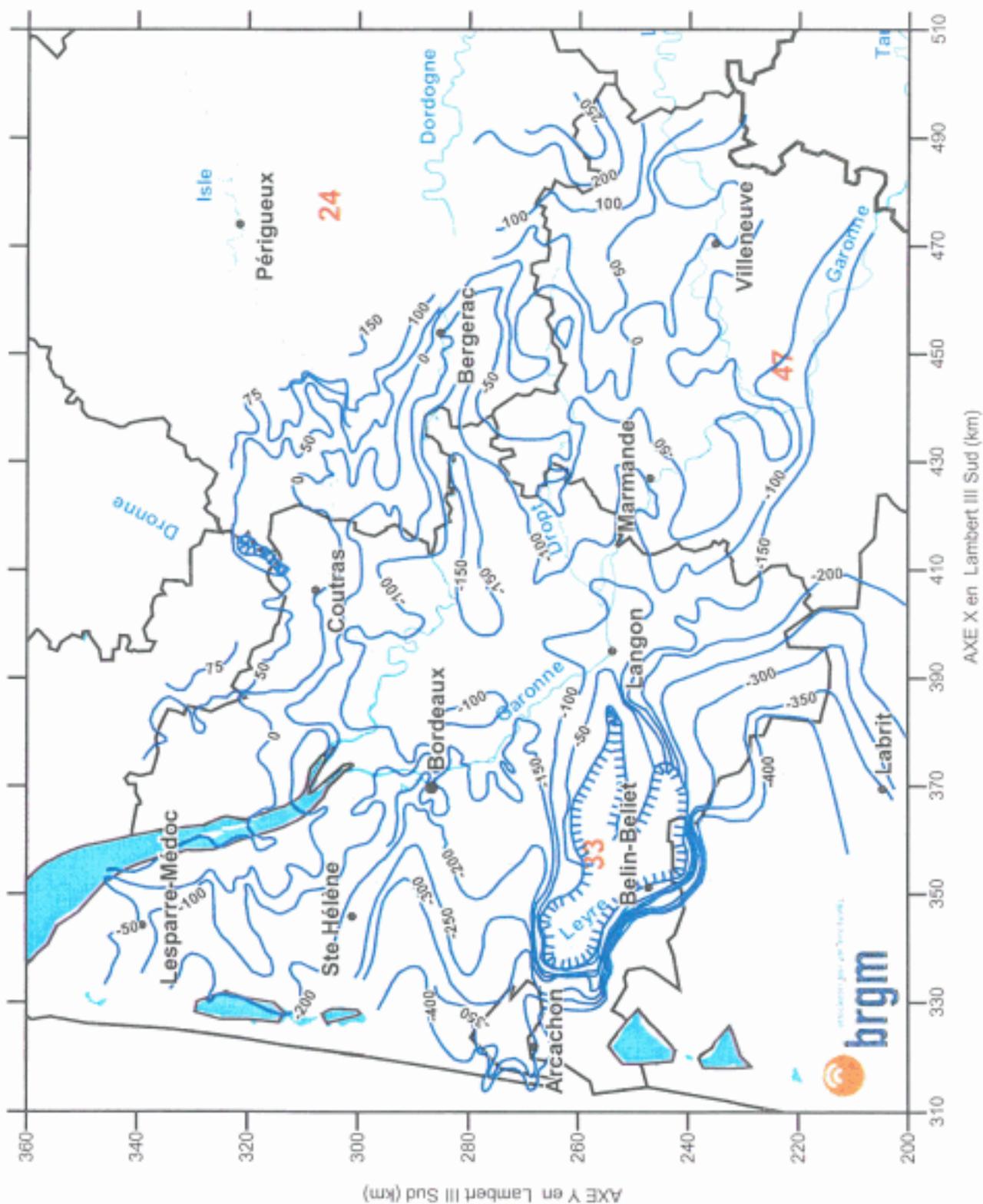
Coupe lithostratigraphique synthétique de l'Éocène Nord-Aquitain entre la Gironde et le Lot (d'après J.DUBREUILH, 1987)

ANNEXE 2

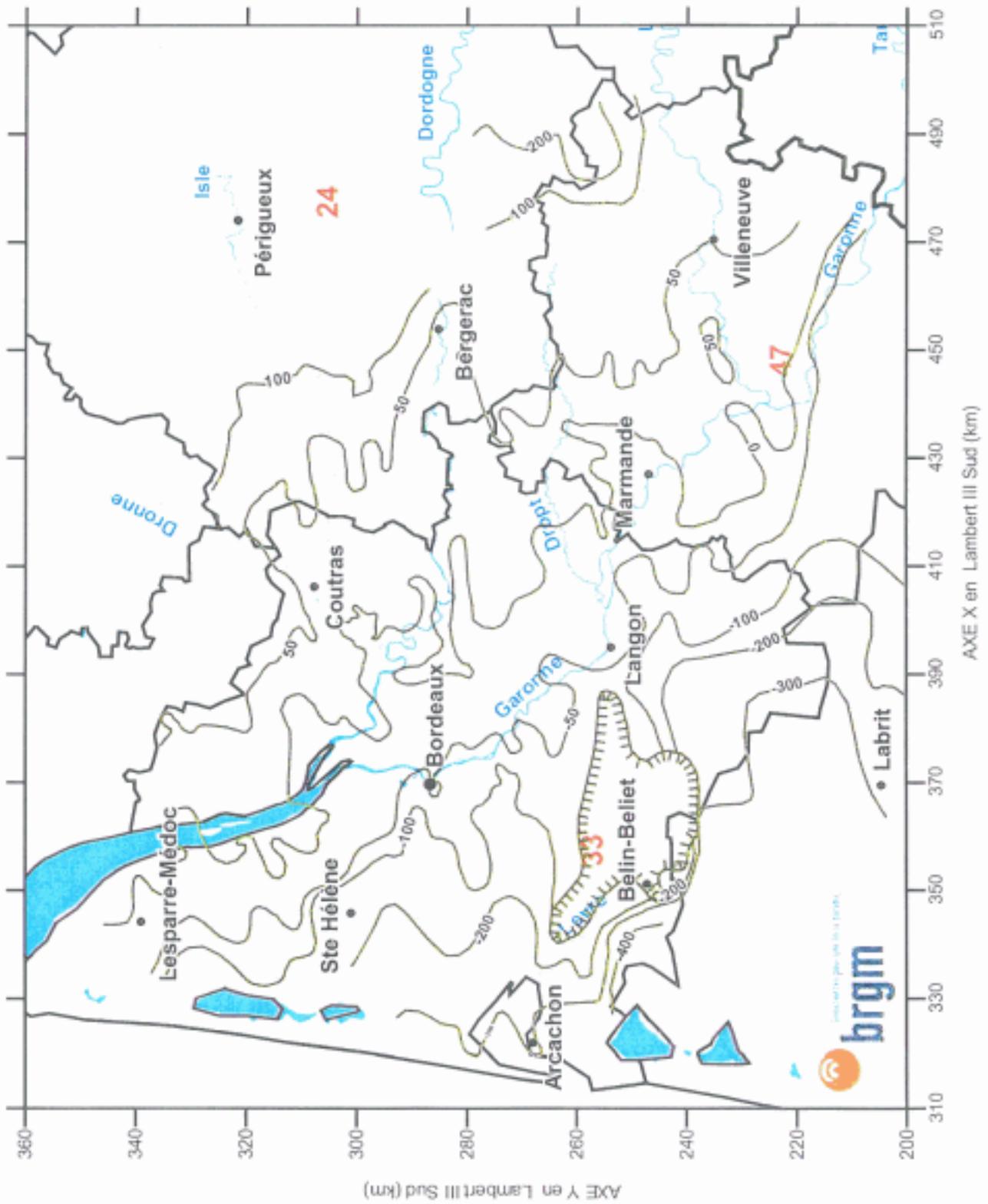
Cartes en isohypses des toits stratigraphiques de l'Éocène inférieur, moyen et supérieur



Carte en isohypses du toit stratigraphique de l'Éocène inférieur



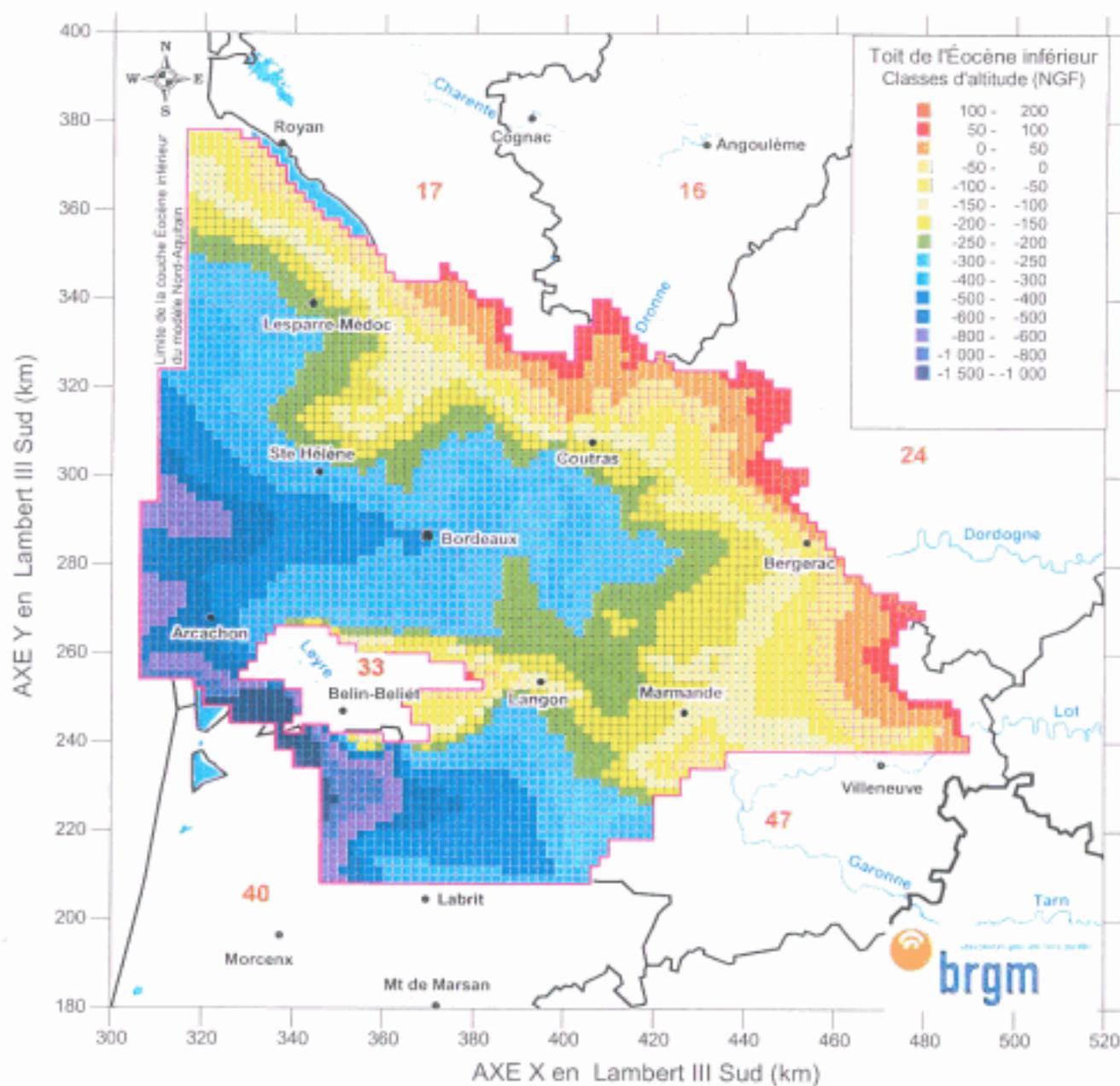
Carte en isohypses du toit stratigraphique de l'Éocène moyen



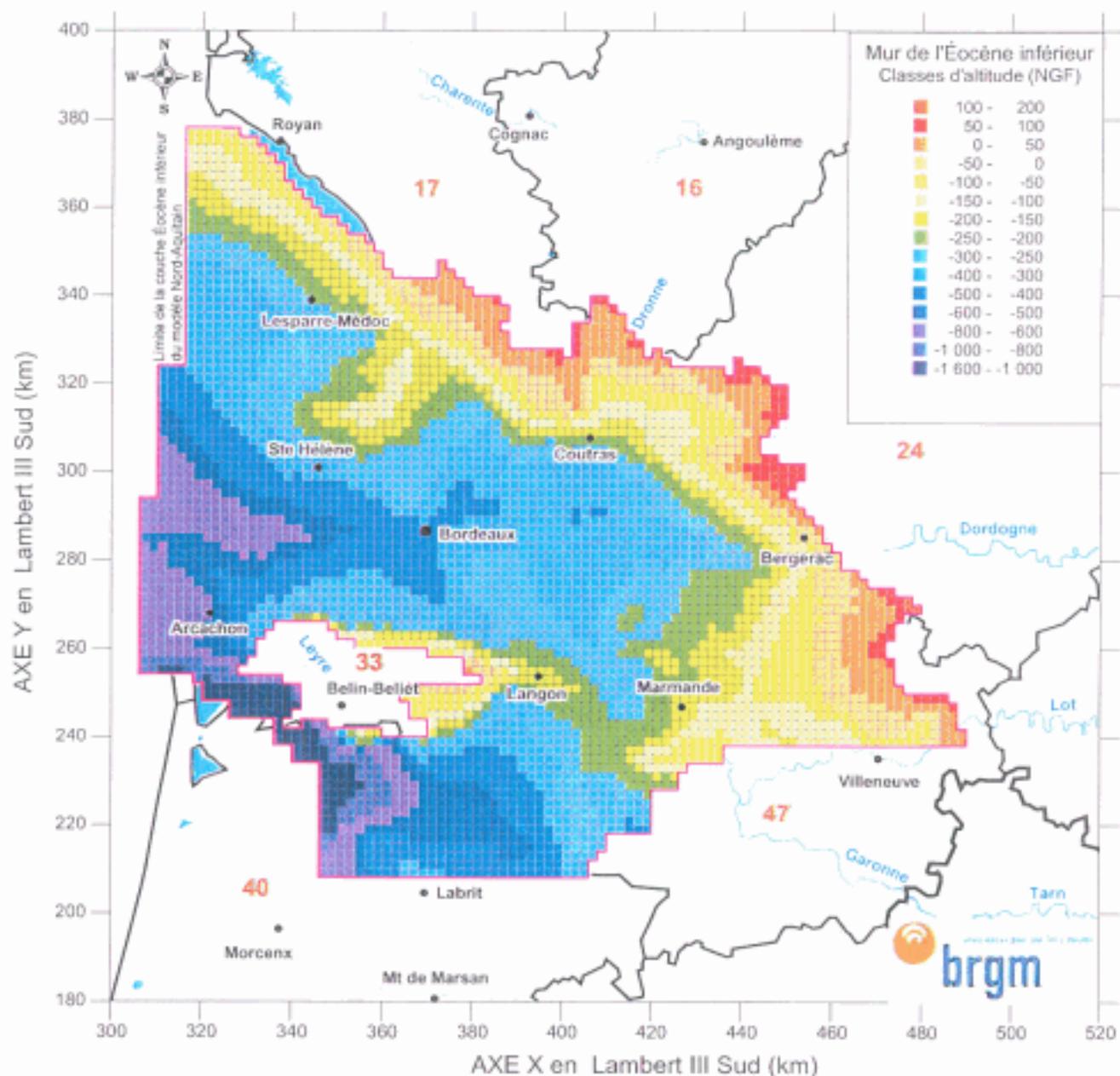
Carte en isohypses du toit stratigraphique de l'Éocène supérieur

ANNEXE 3

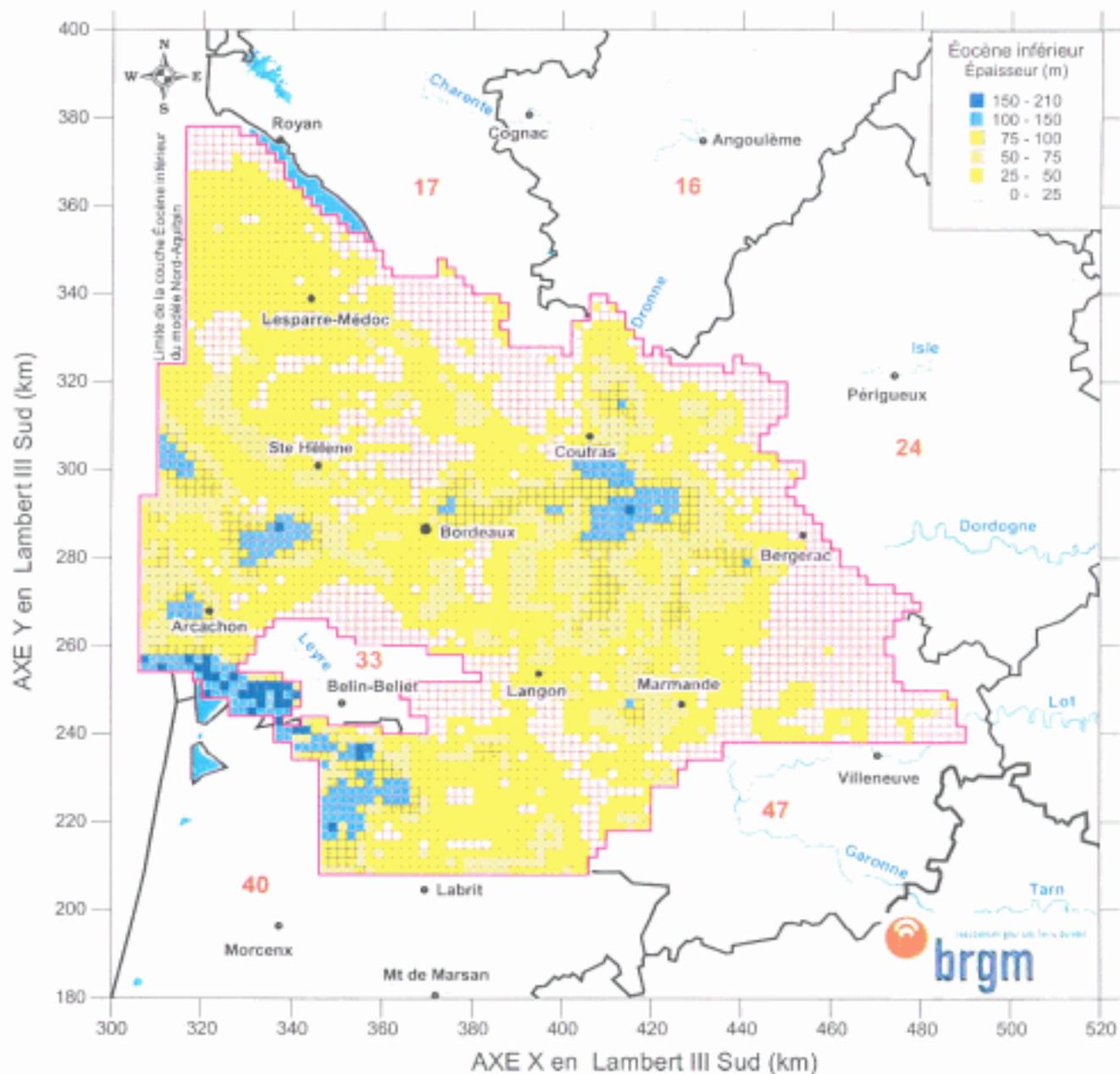
Géométrie des aquifères de l'Éocène



Carte du toit de l'aquifère Éocène inférieur

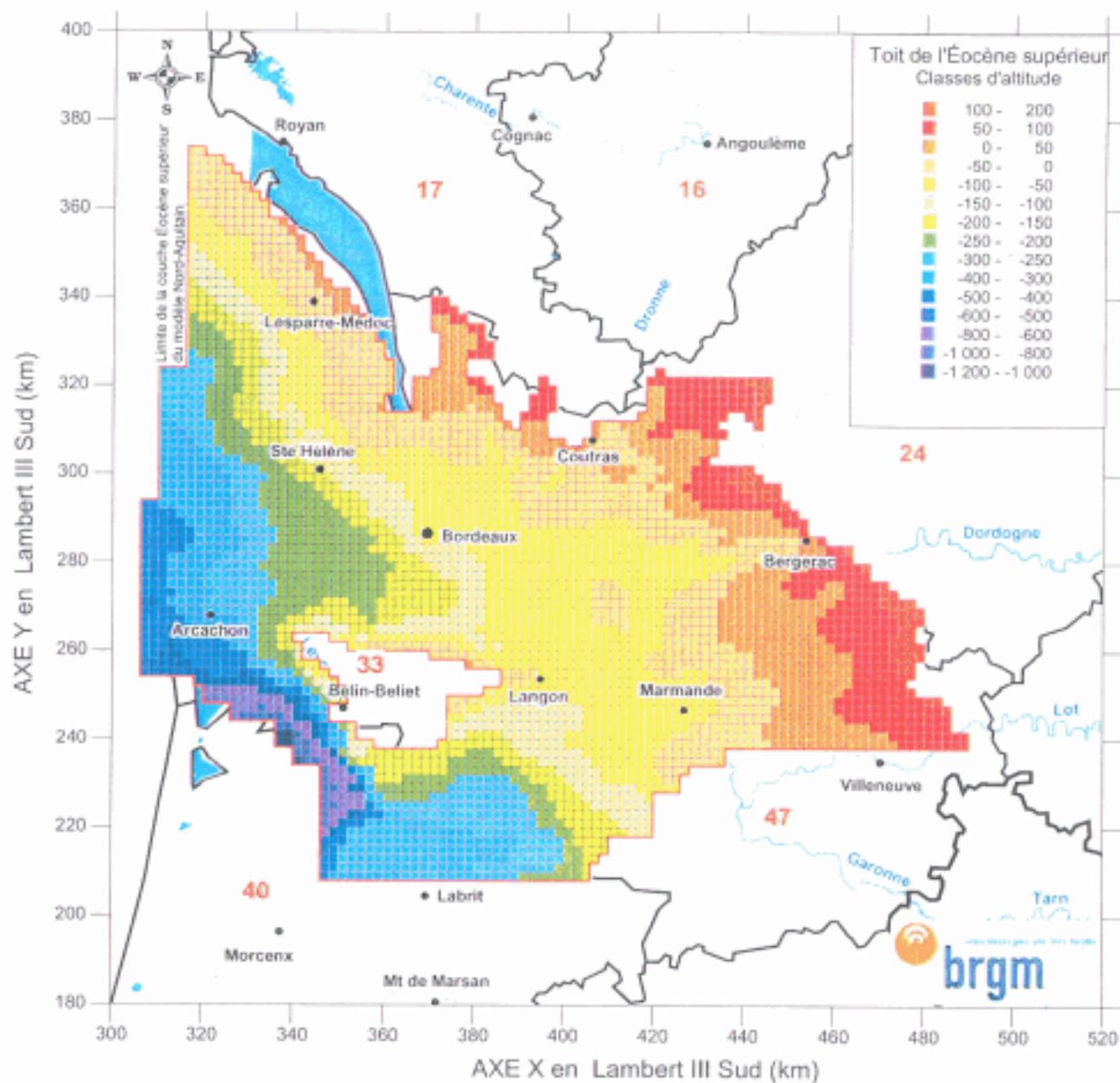


Carte du mur de l'aquifère Éocène inférieur

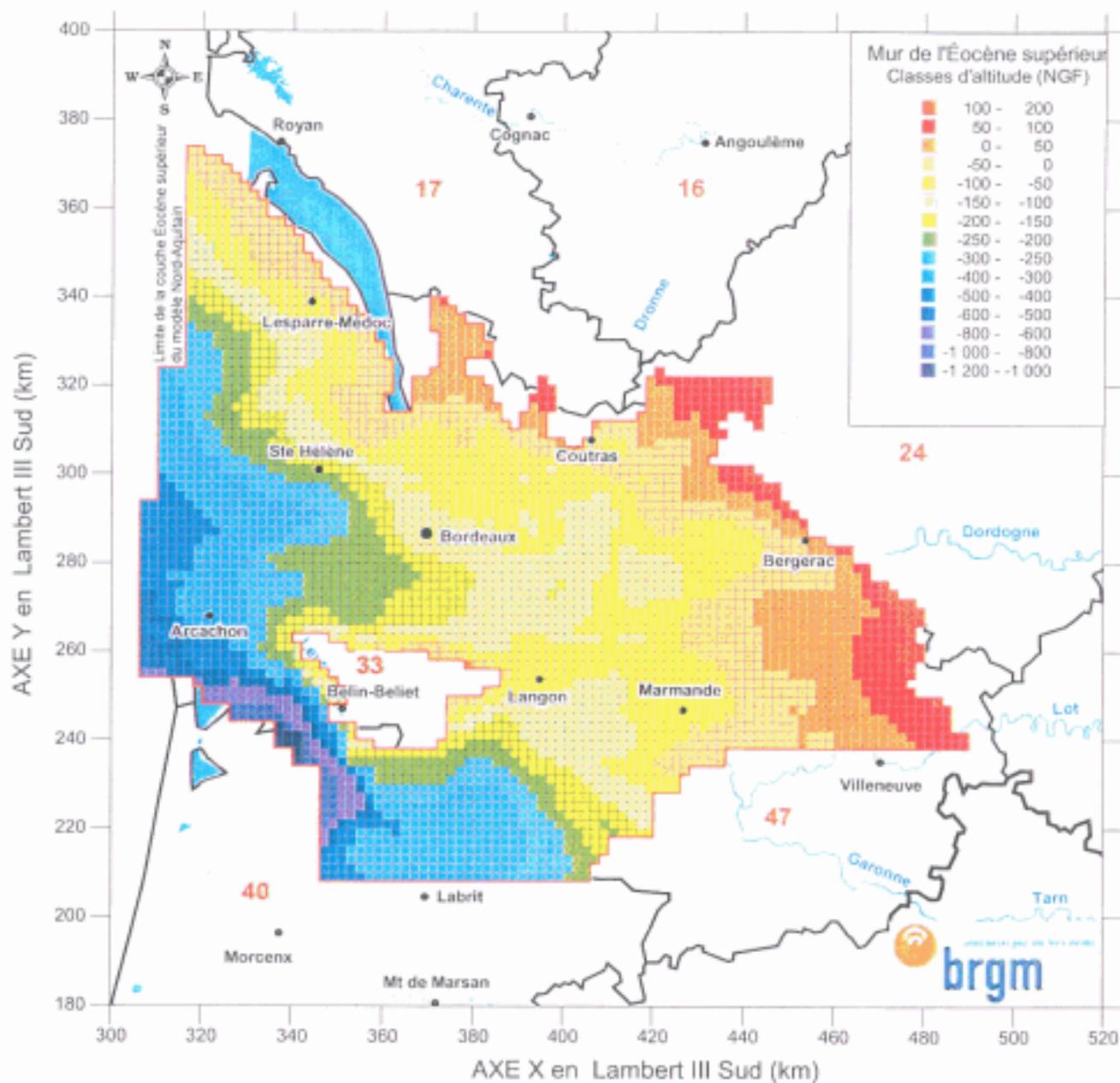


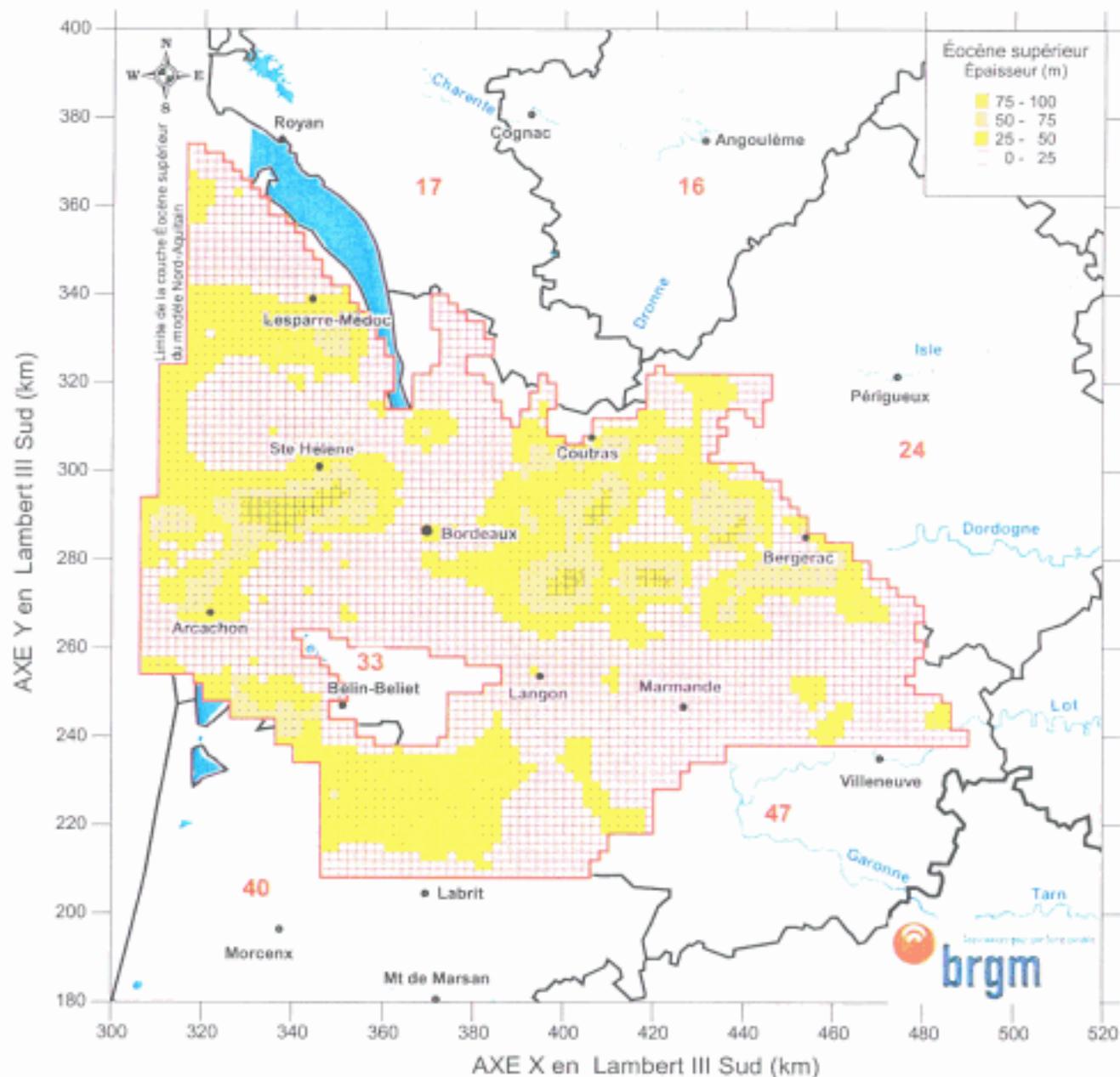
Carte indicative de l'épaisseur de l'aquifère Éocène inférieur

Carte élaborée à partir des grilles du toit et du mur de la formation



Carte du toit de l'aquifère Éocène supérieur





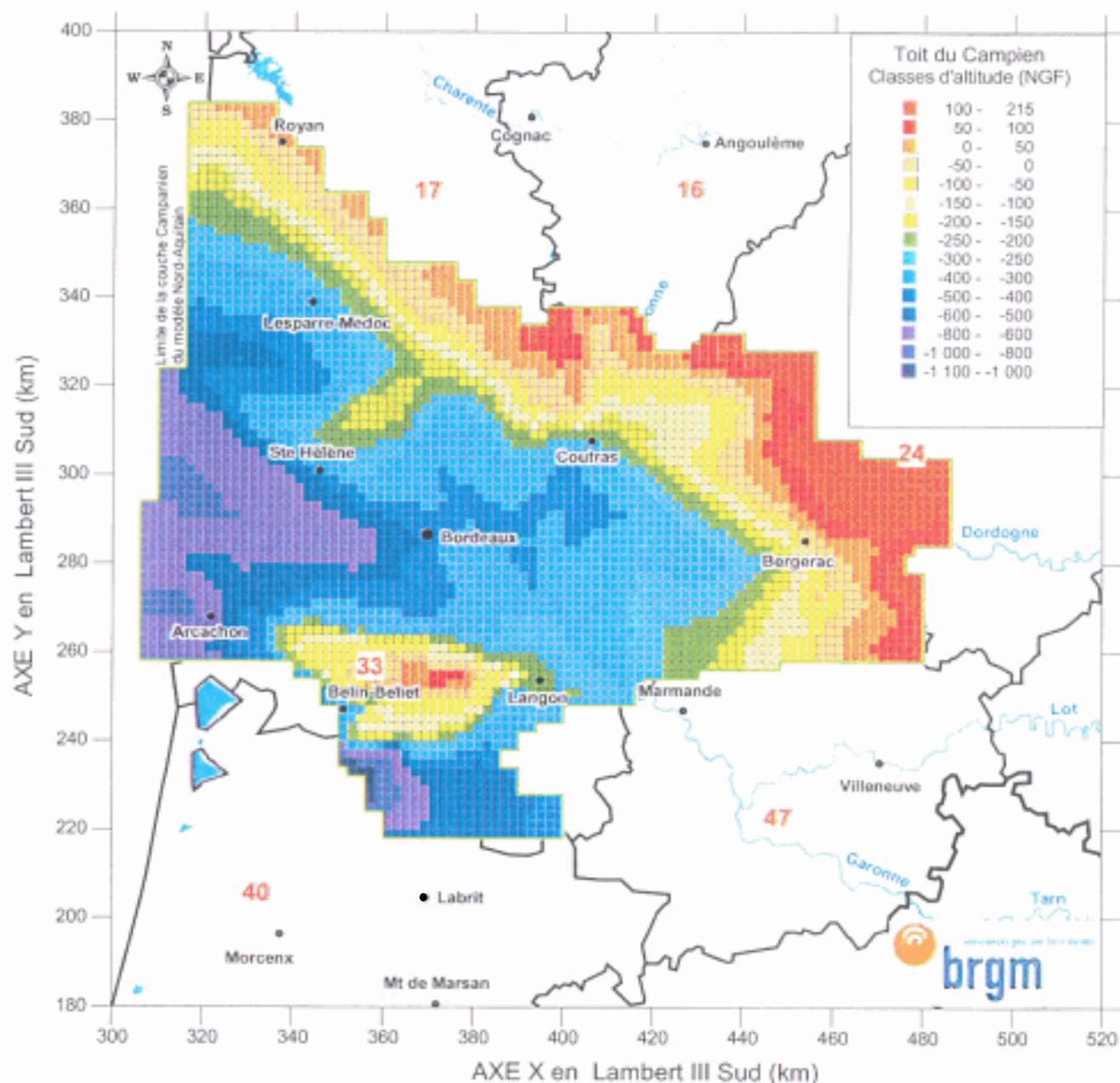
Carte indicative de l'épaisseur de l'aquifère Éocène supérieur

Carte élaborée à partir des grilles du toit et du mur de la formation

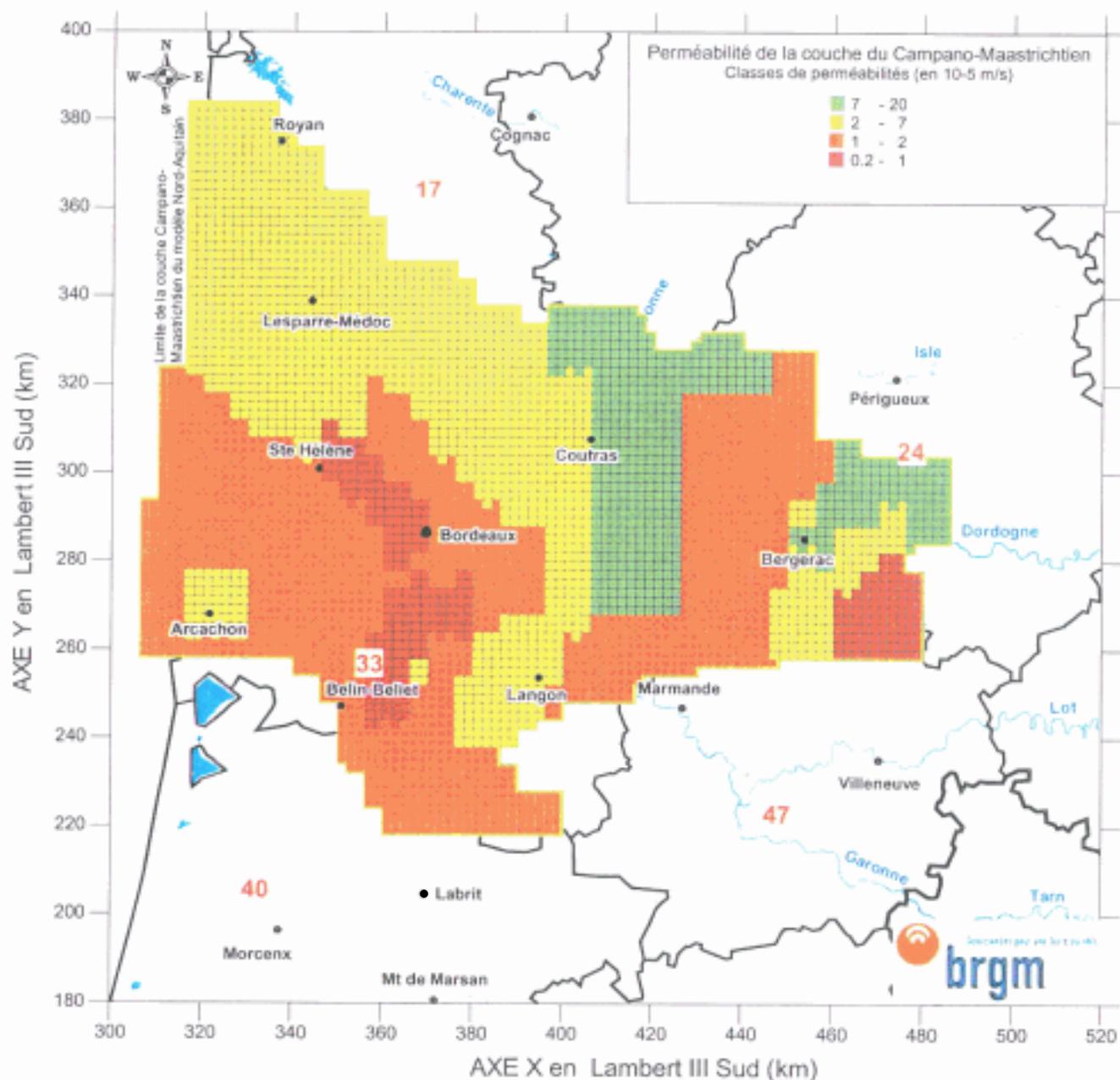
ANNEXE 4

Cartes des toits et des perméabilités des couches du Campano-Maastrichtien et du Turonien- Coniacien-Santonien

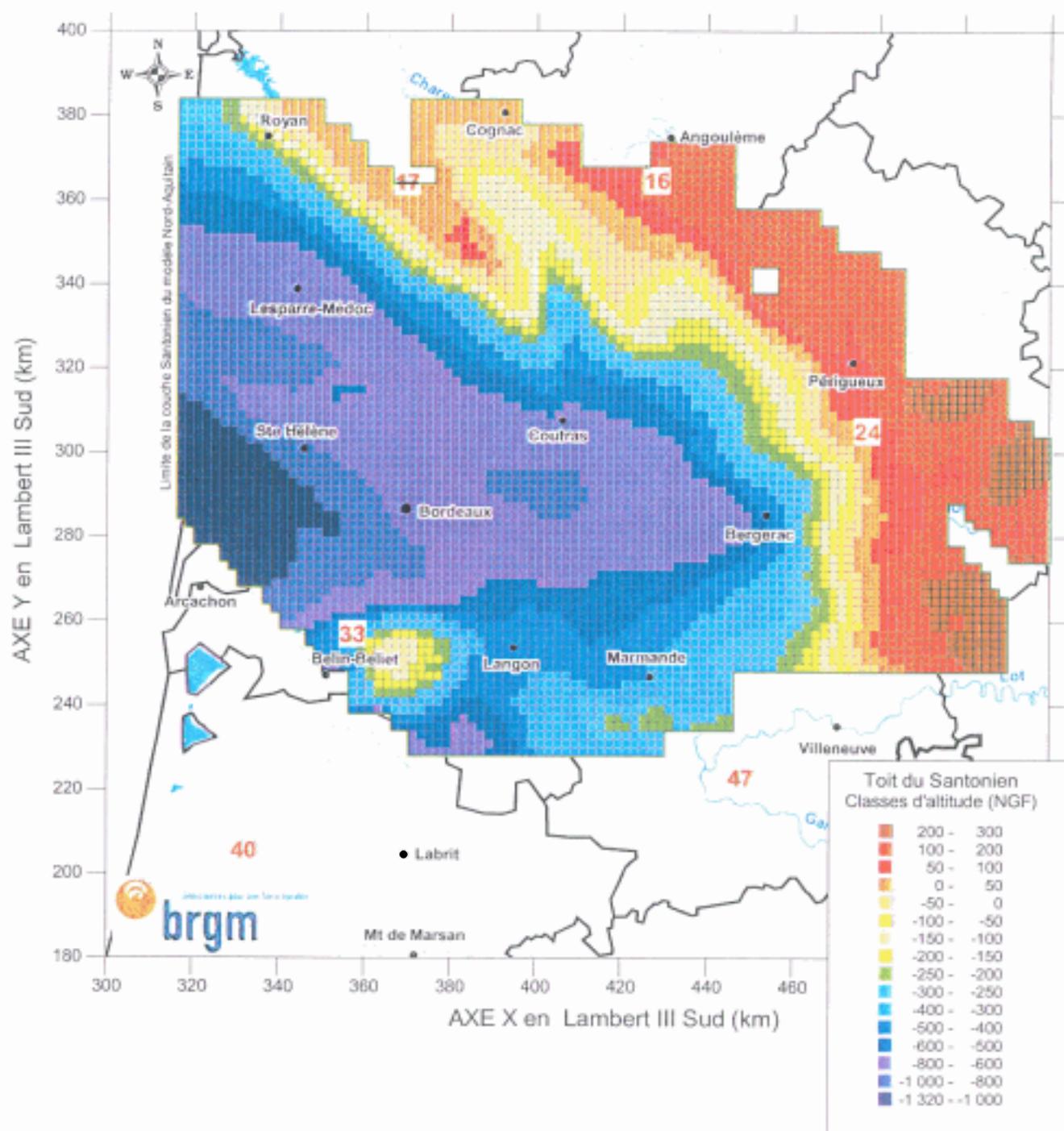
Passage à la maille de 2 x 2 km



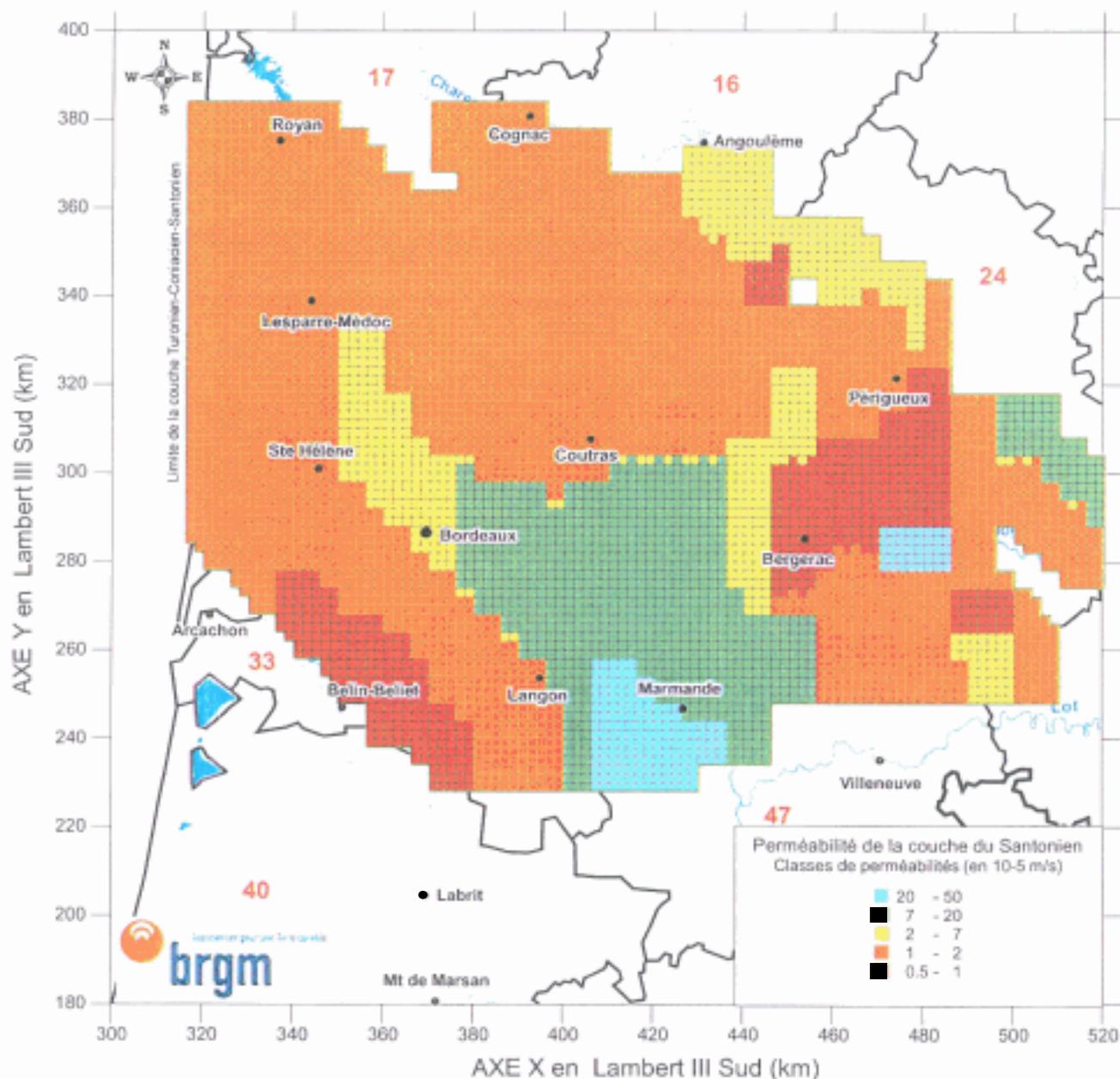
Carte du toit de l'aquifère Campano-Maastrichtien



Carte indicative des perméabilités de l'aquifère Campano-Maastrichtien



Carte du toit de l'aquifère Turonien-Coniacien-Santonien

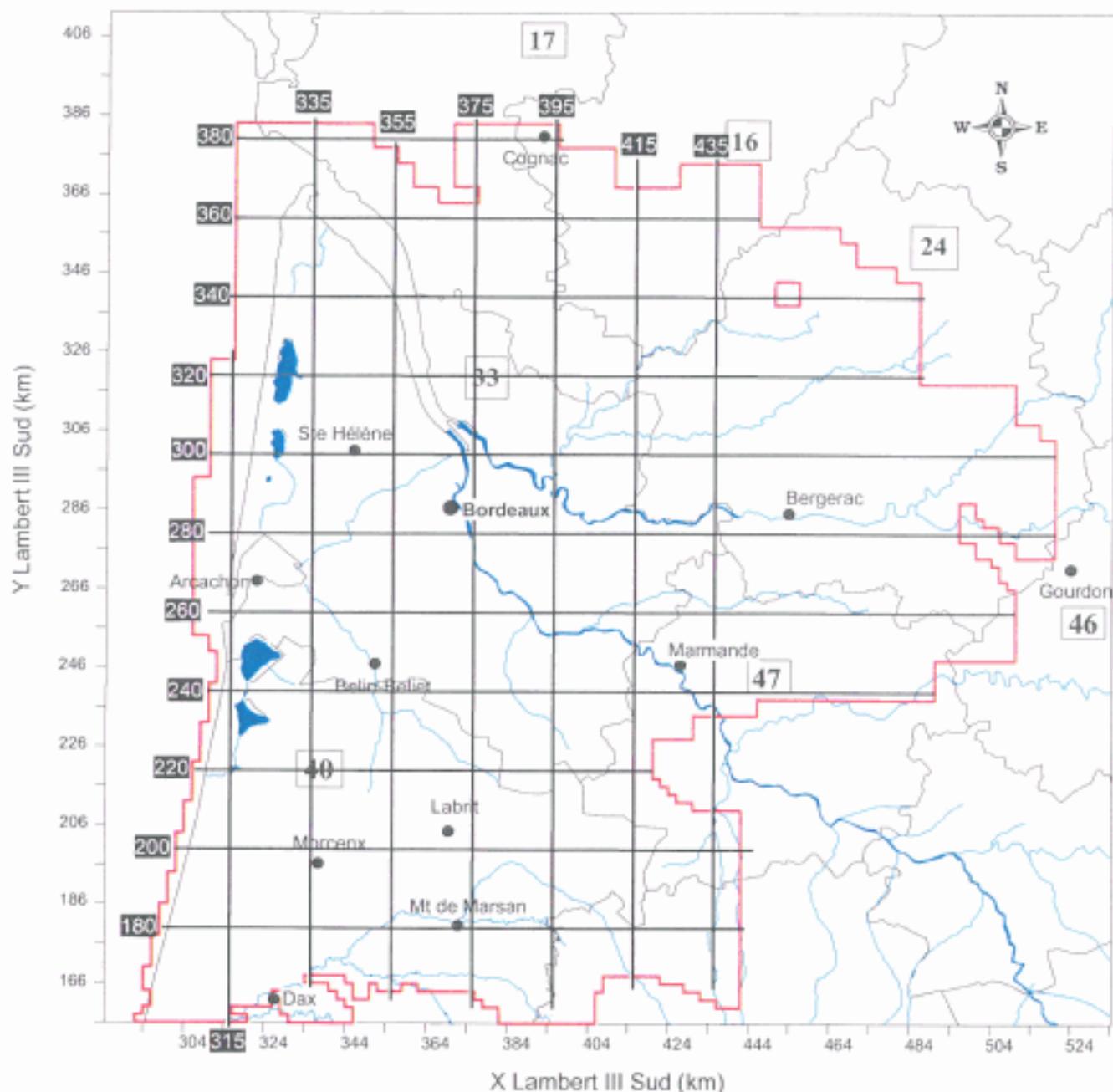


Carte indicative des perméabilités de l'aquifère Turonien-Coniacien-Santonien

ANNEXE 5

Coupes verticales dans le modèle numérique géologique

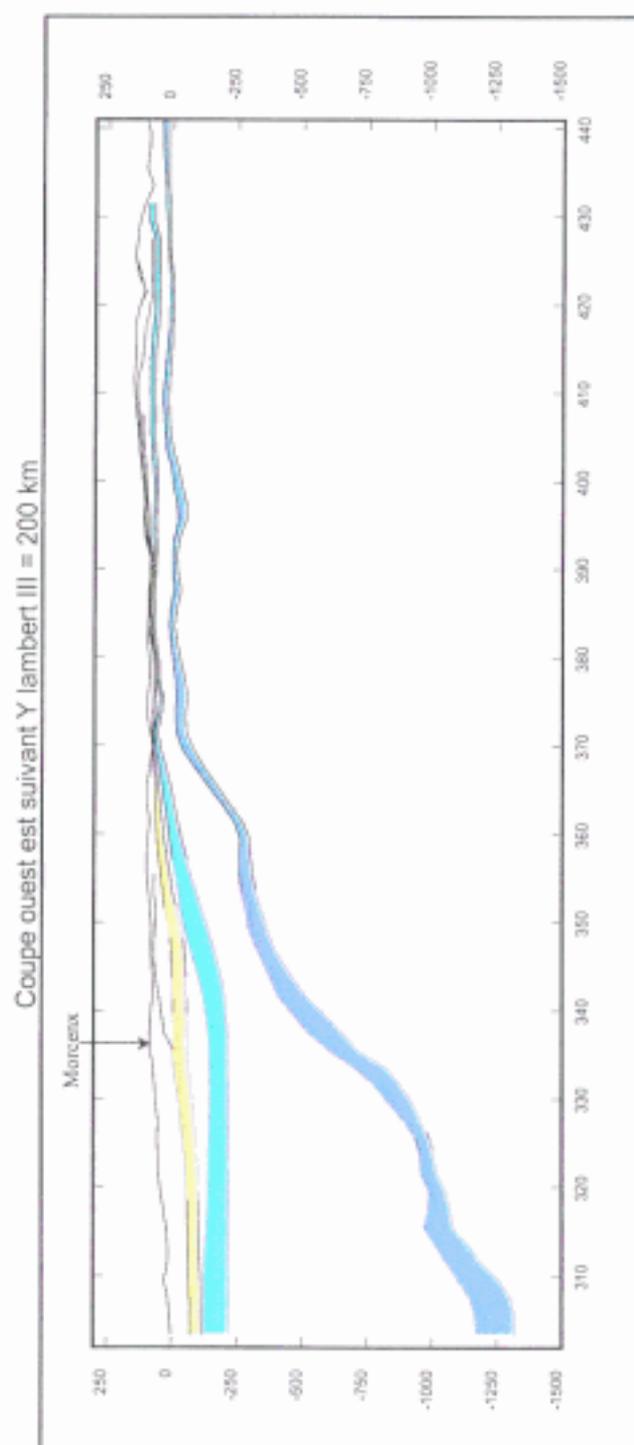
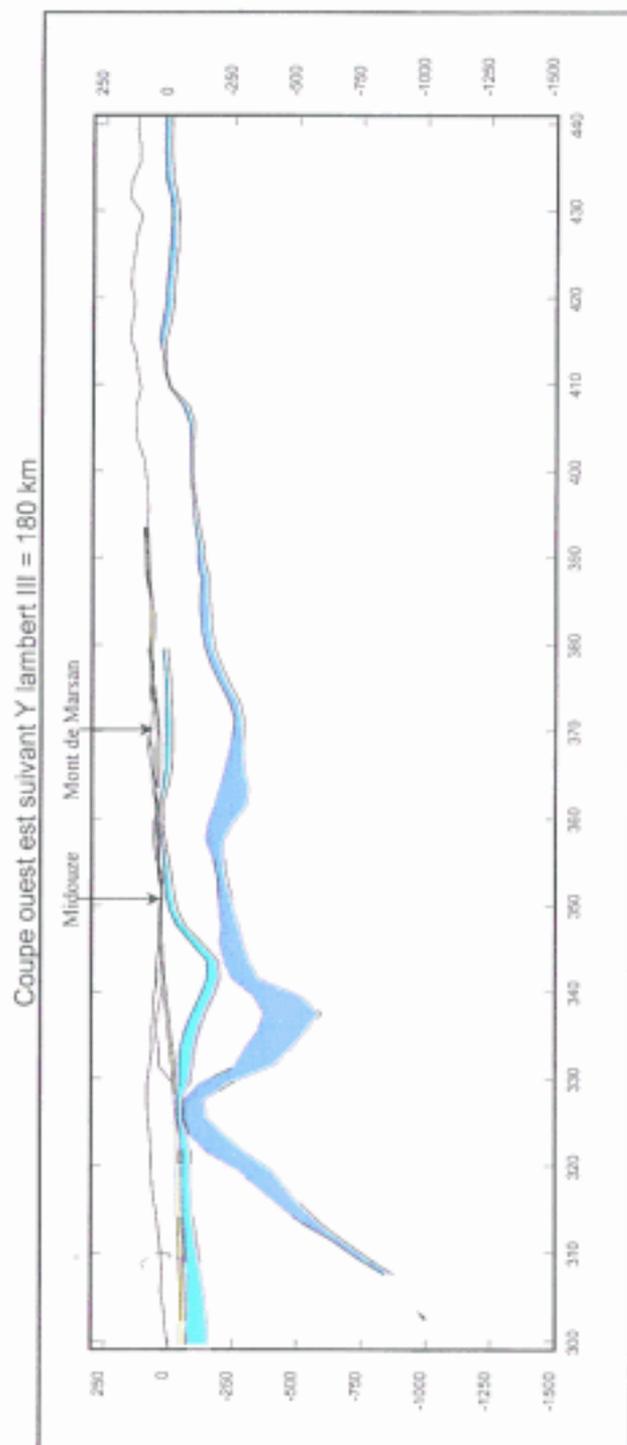
Carte de localisation des coupes verticales dans le géométrie du modèle



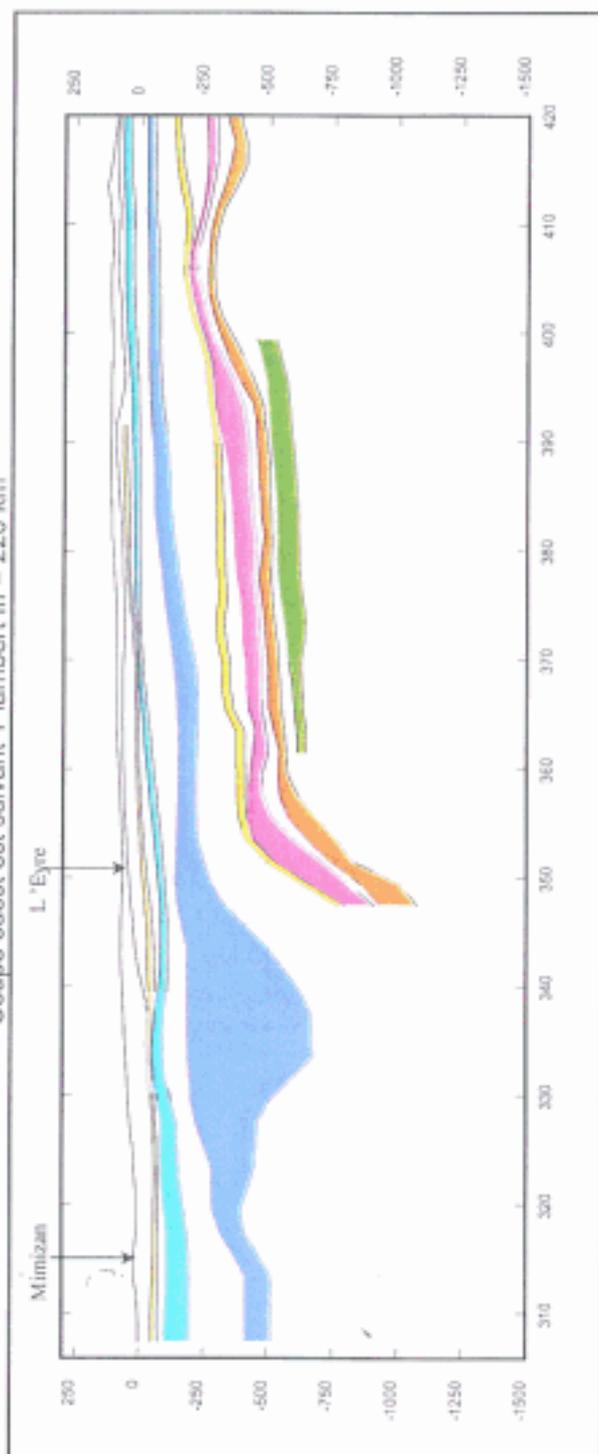
Limites d'extension du modèle Nord Aquitain

Dans les coupes qui vont suivre, les couches aquifères sont définies par le code couleur ci-dessous :

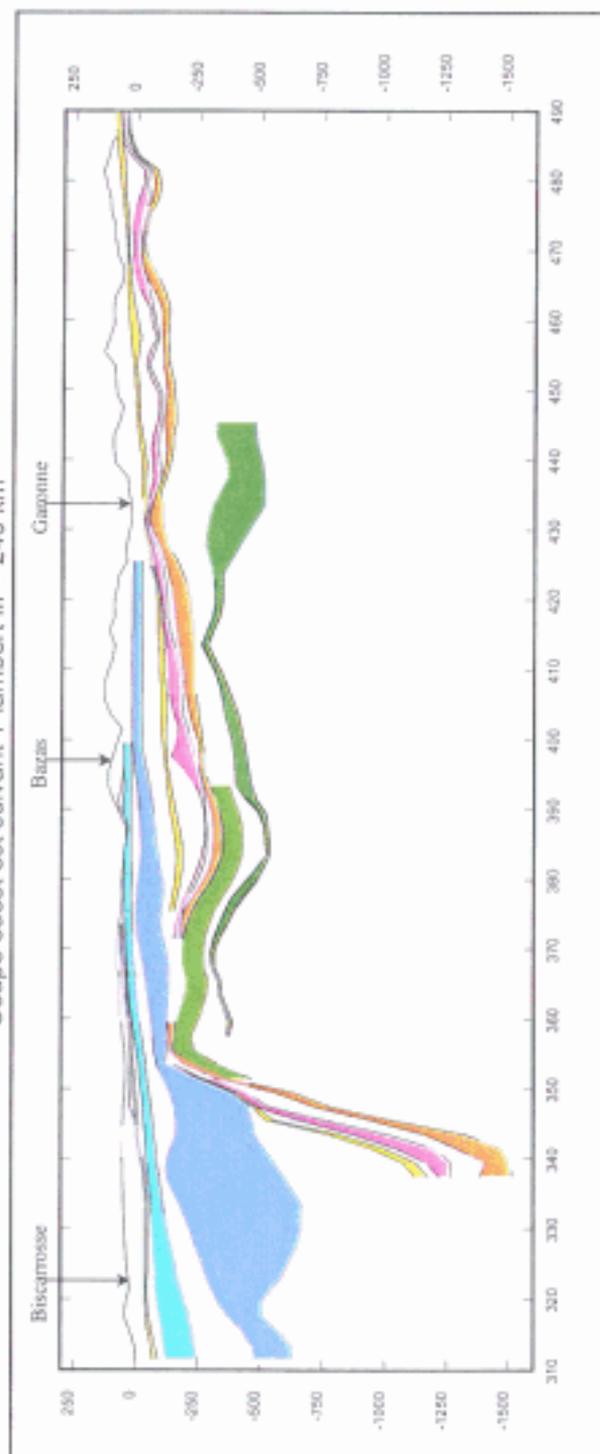
	Plio-Quaternaire
	Helvétien
	Aquitainien-Burdigalien
	Oligocène
	Eocène supérieur
	Eocène moyen
	Eocène inférieur
	Campano-Mastrichtien
	Turonien-Coniacien-Santonien



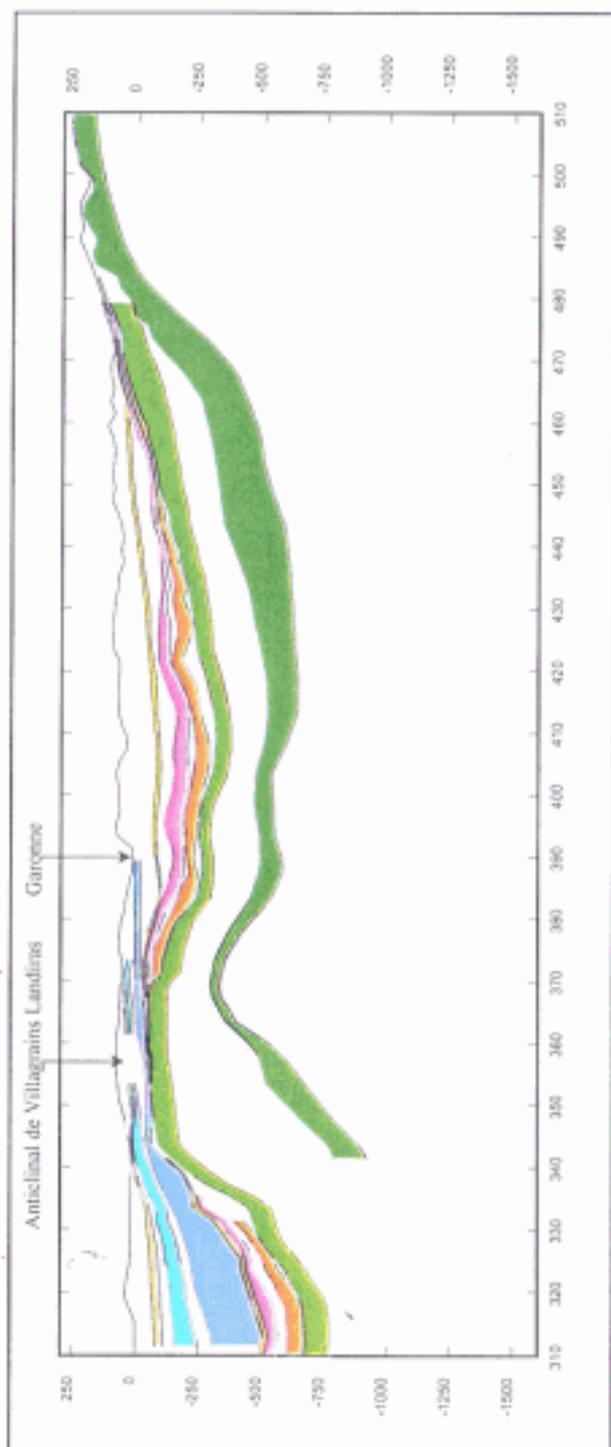
Coupe ouest est suivant Y lambert III = 220 km



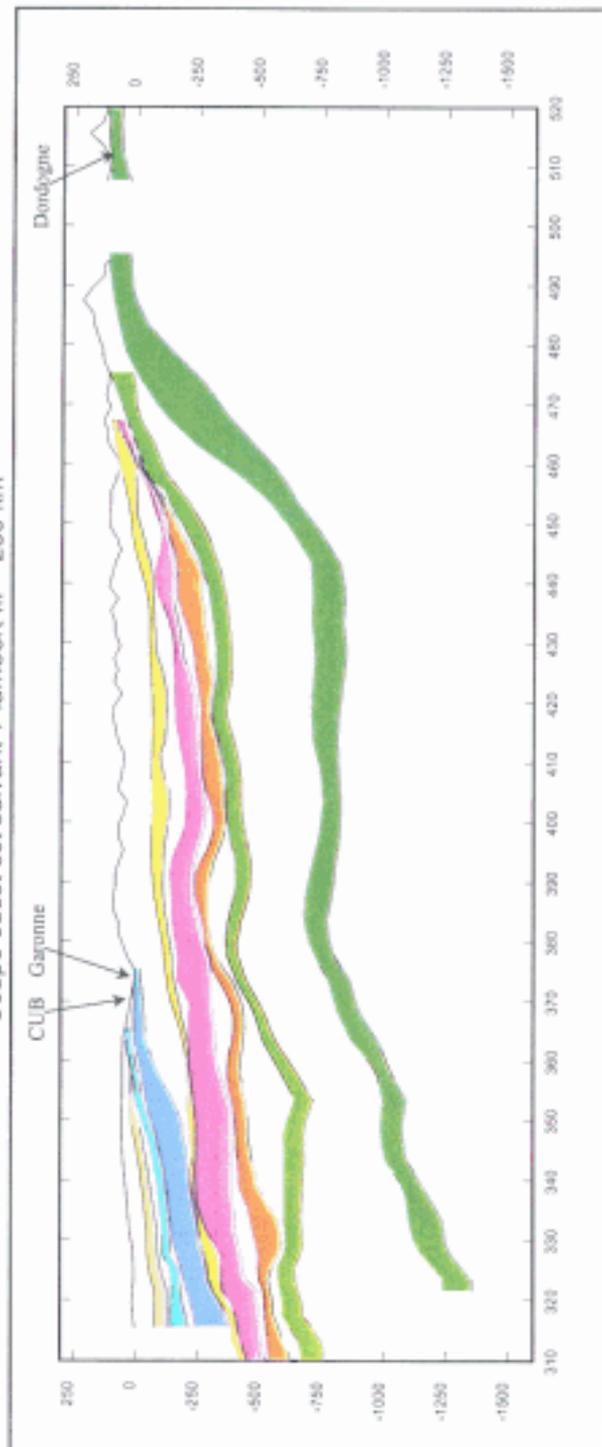
Coupe ouest est suivant Y lambert III = 240 km

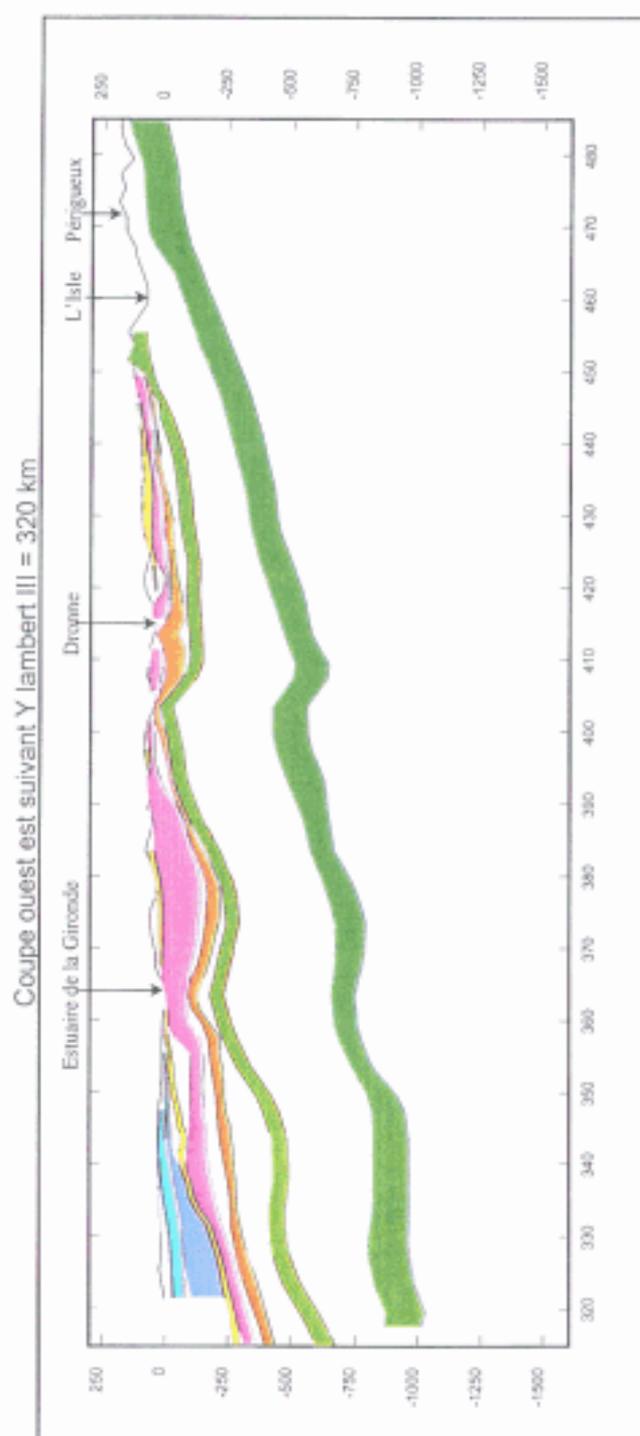
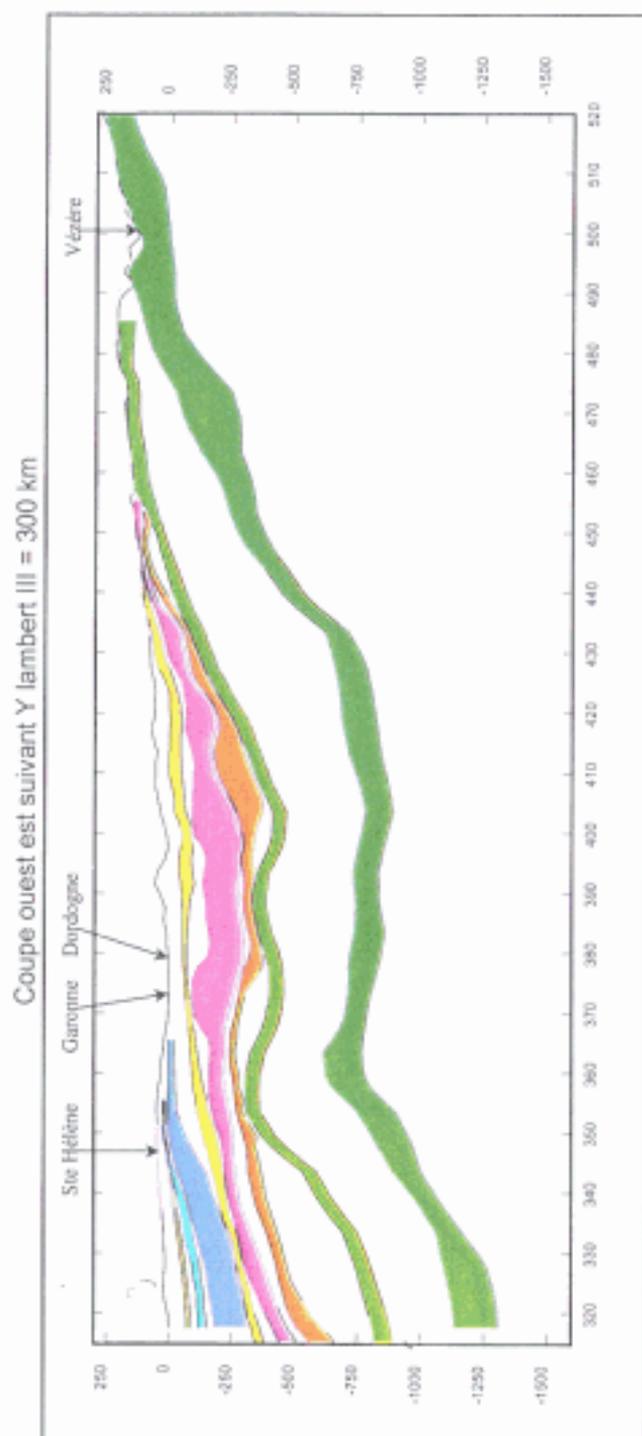


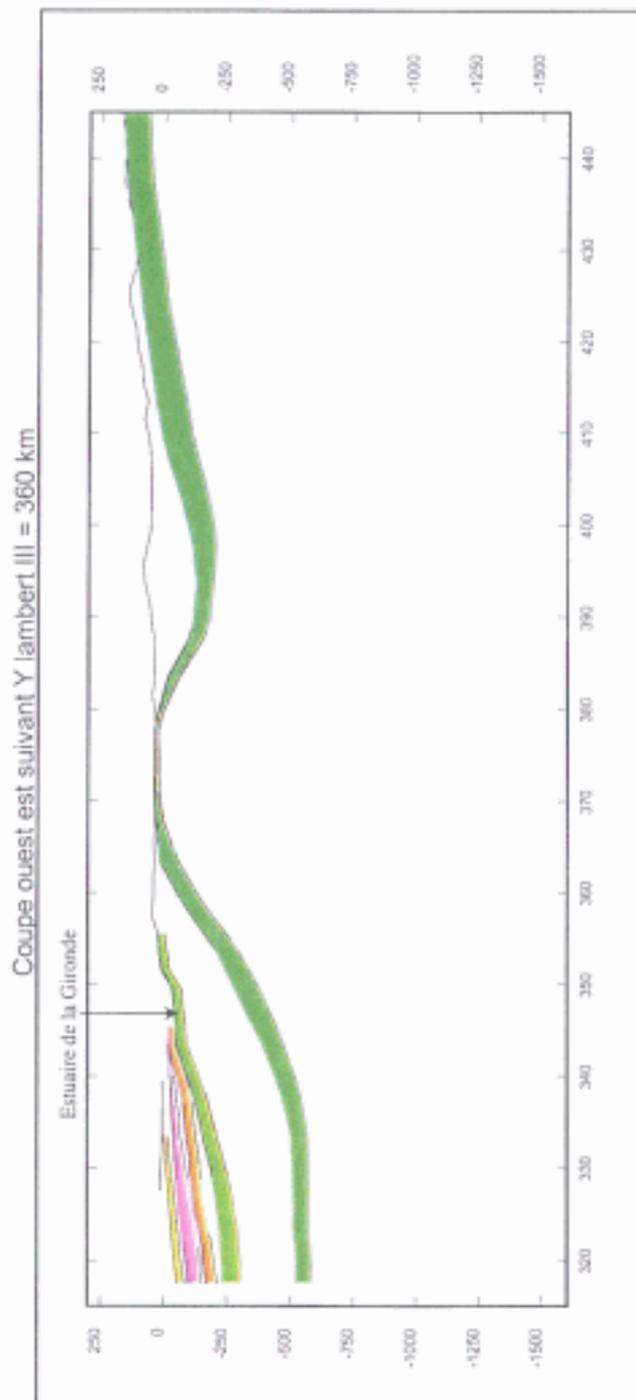
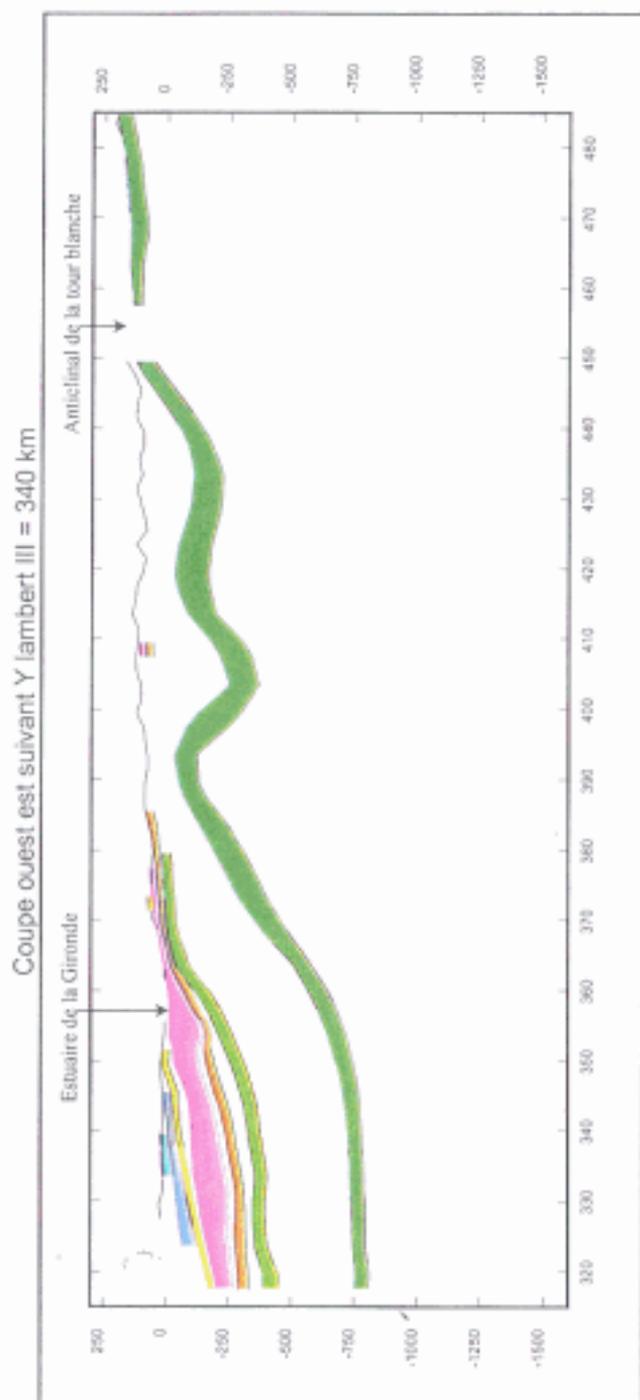
Coupe ouest est suivant Y lambert III = 260 km

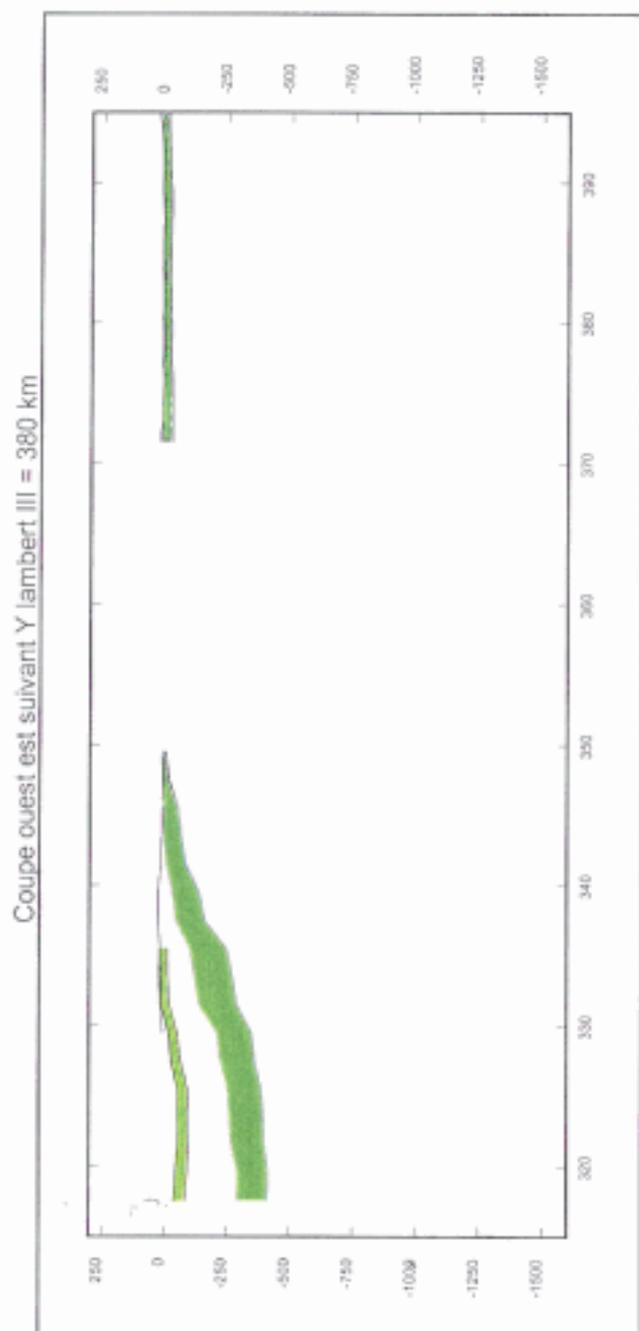


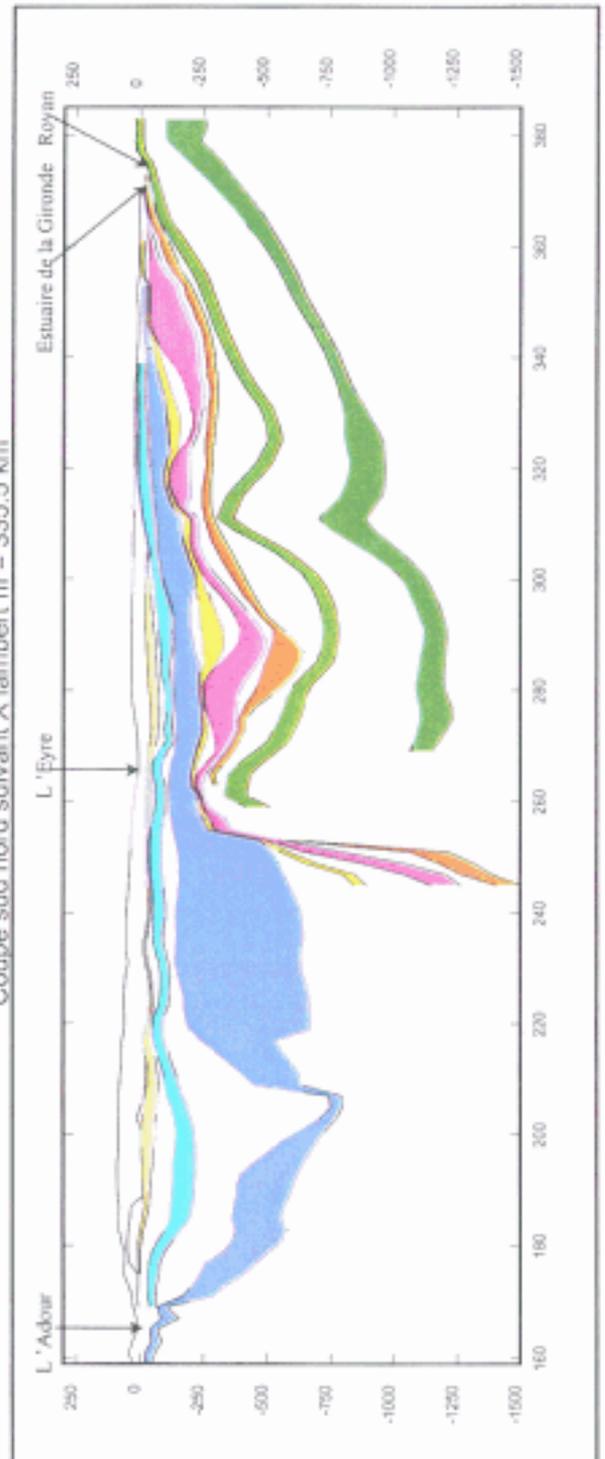
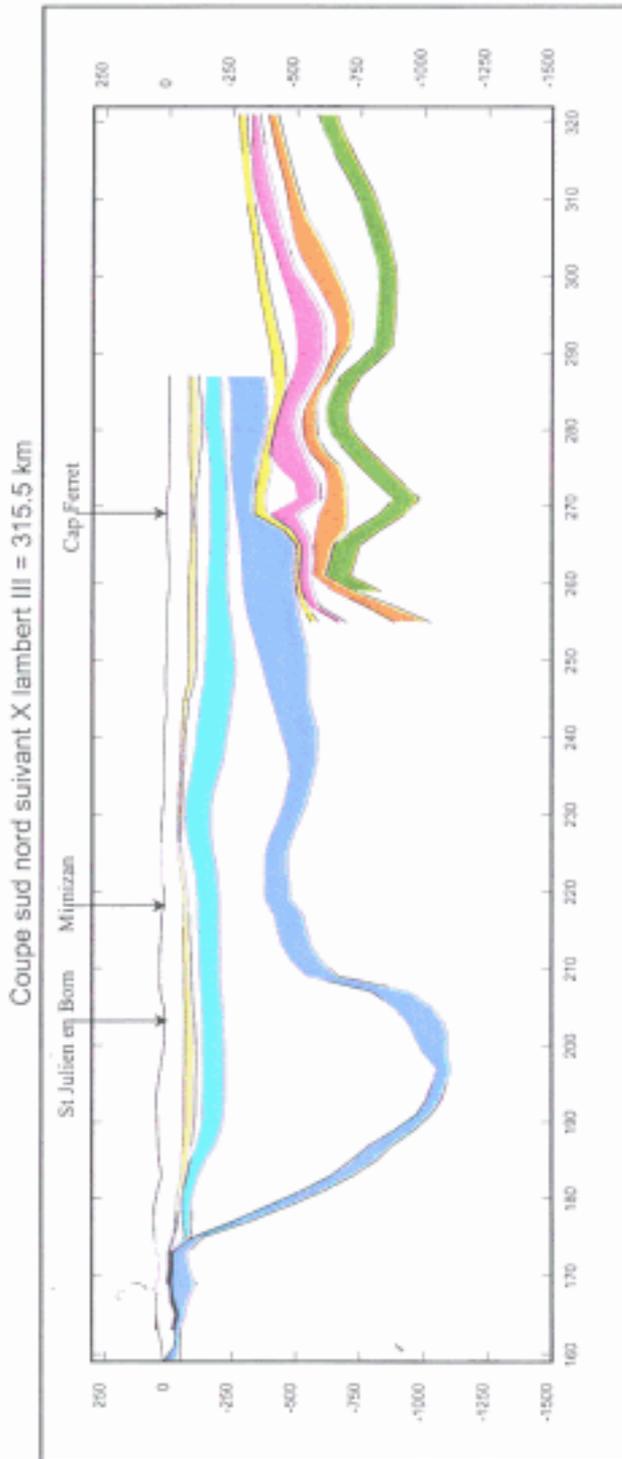
Coupe ouest est suivant Y lambert III = 280 km



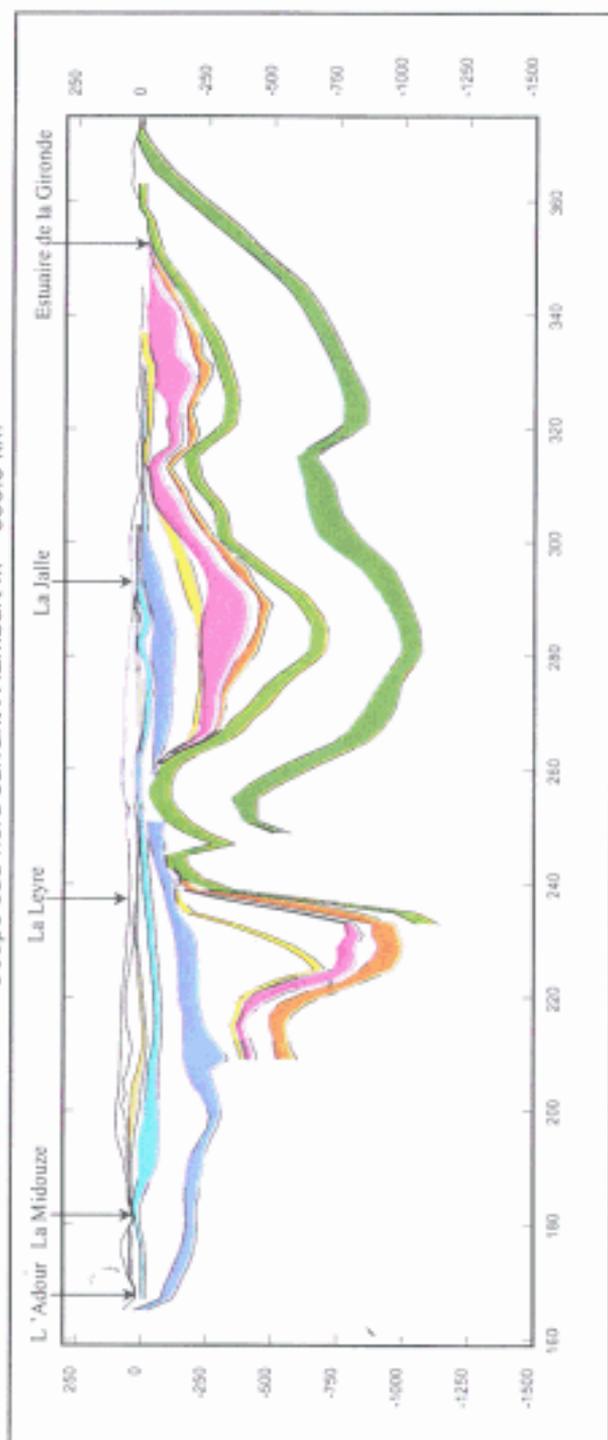




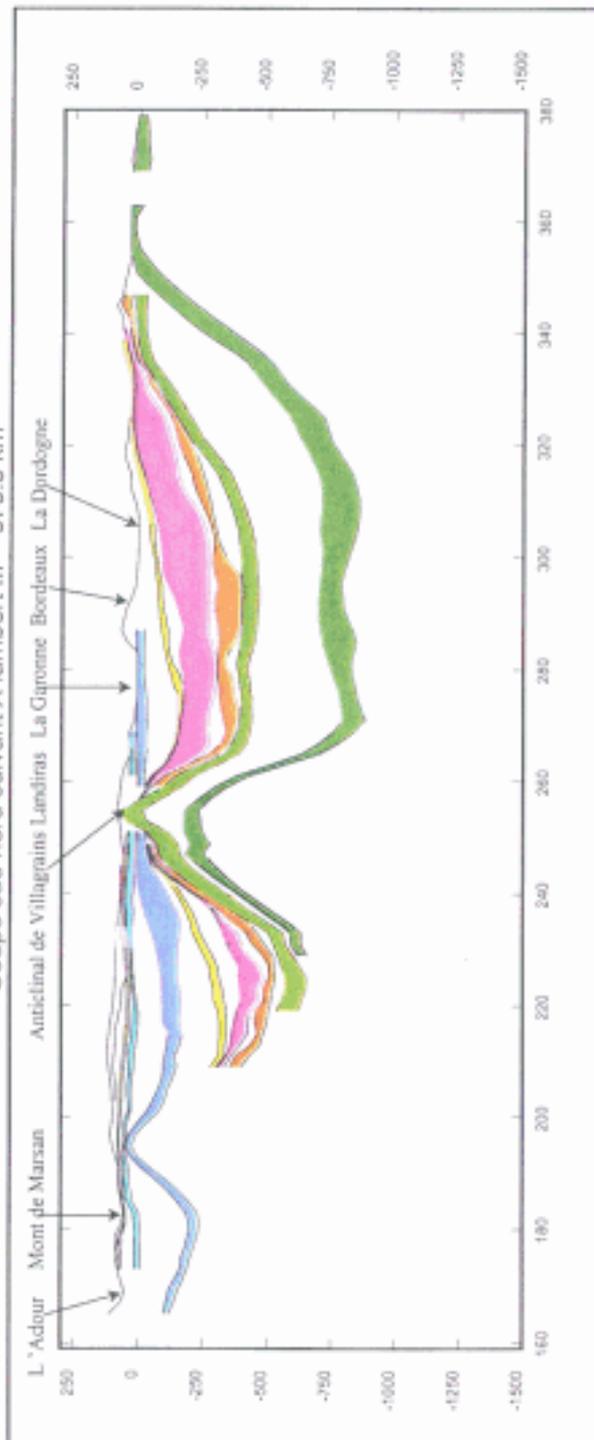


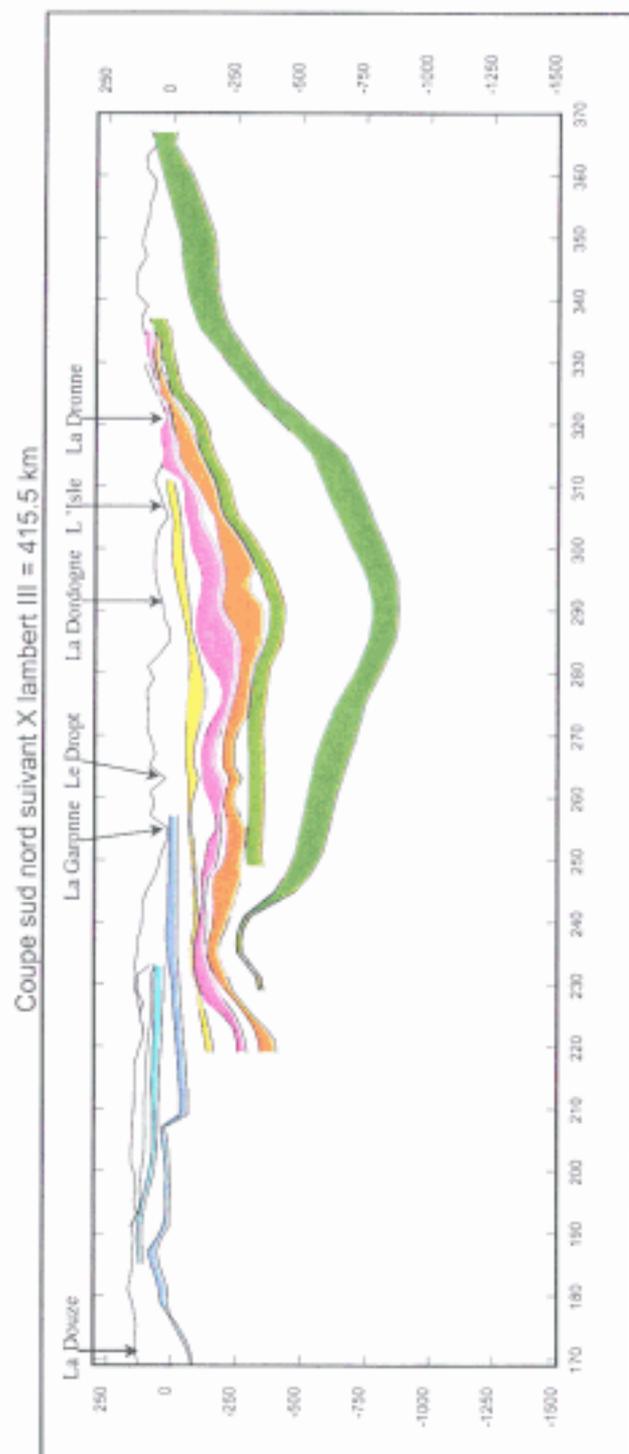
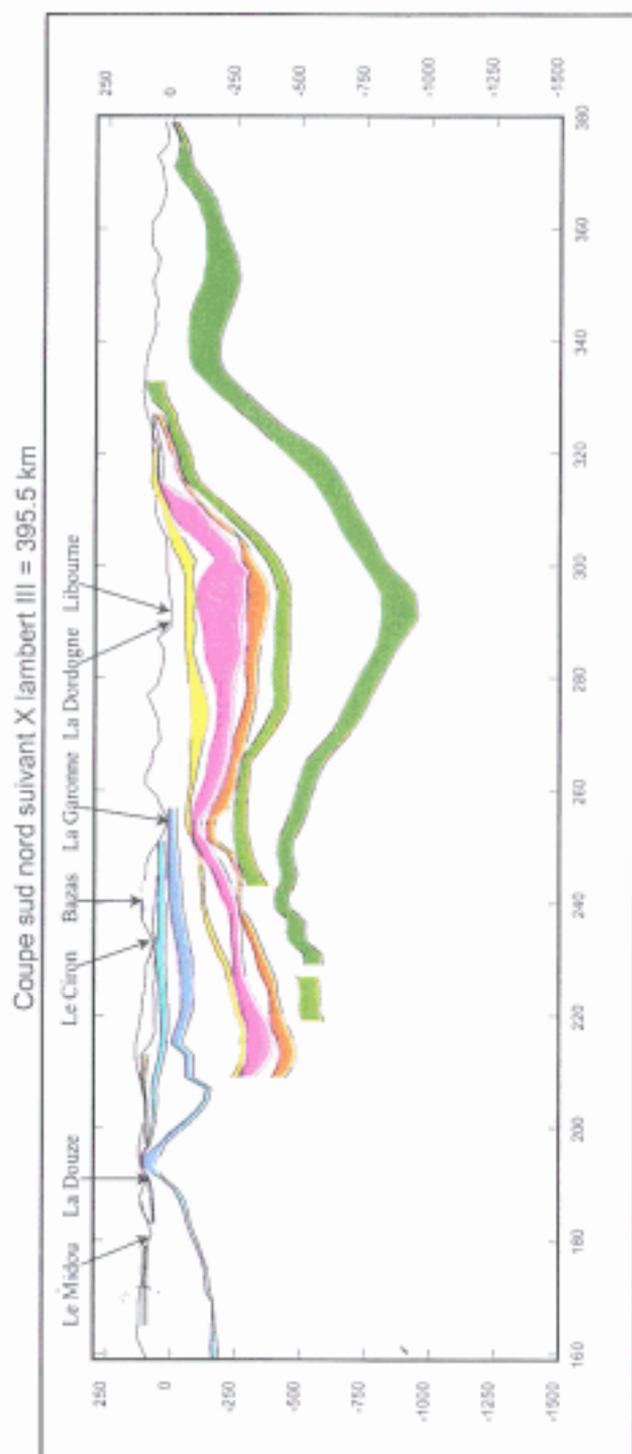


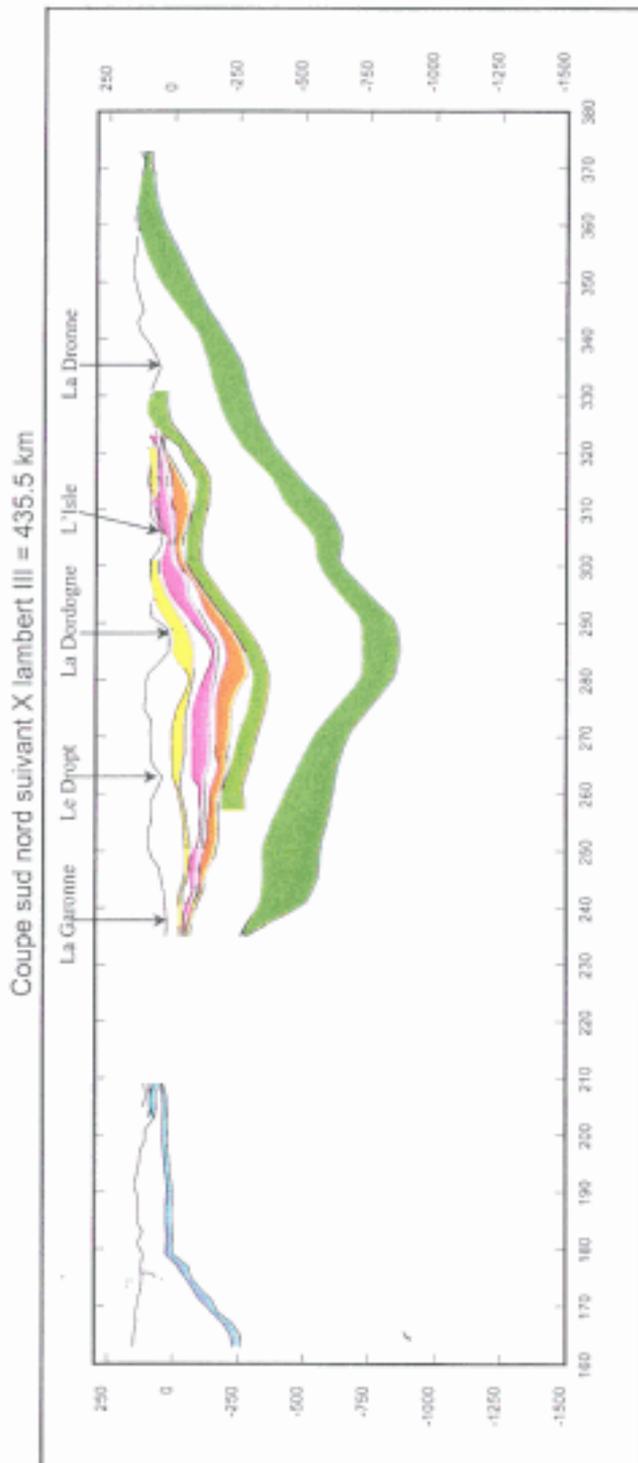
Coupe sud nord suivant X lambert III = 355.5 km



Coupe sud nord suivant X lambert III = 375.5 km



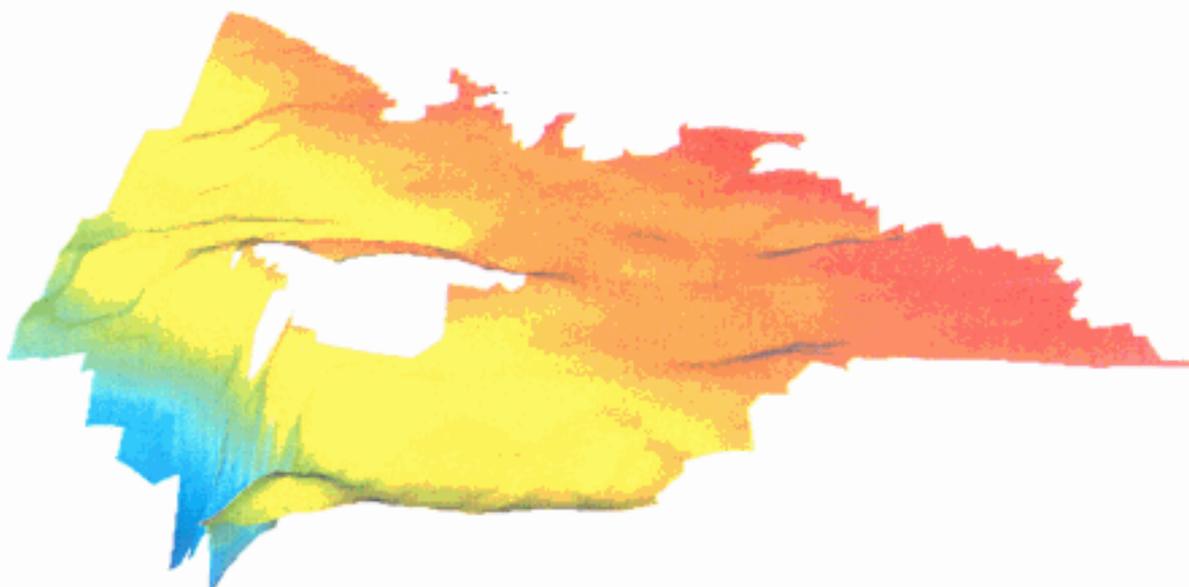




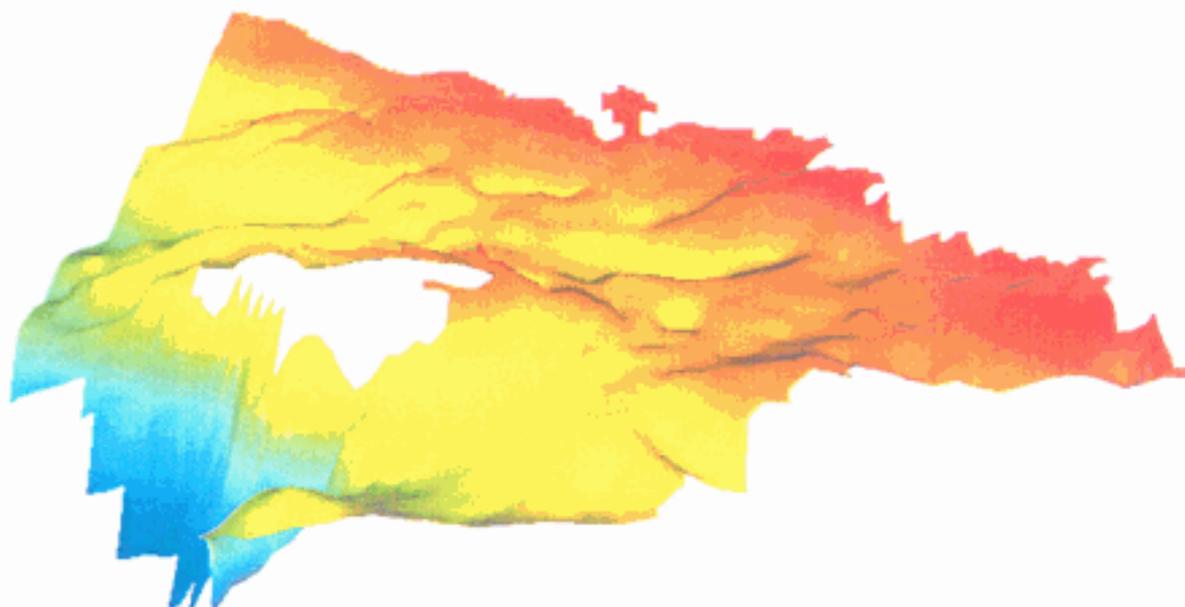
ANNEXE 6

Vues 3D du modèle numérique géologique

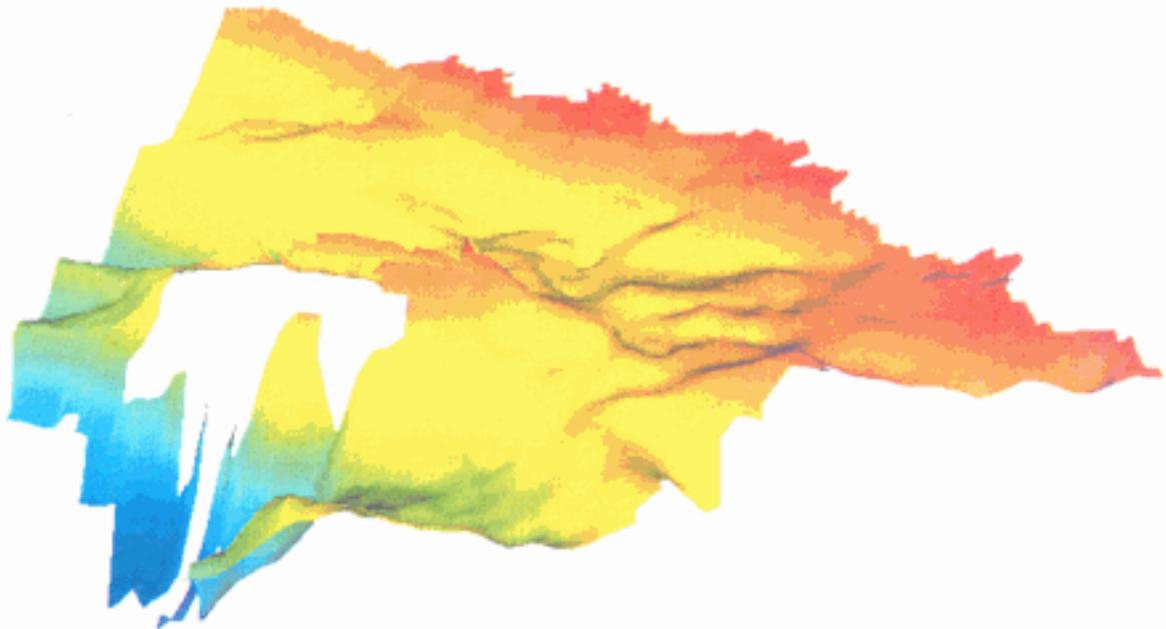
VUE 3D DU TOIT DE L'EOCENE SUPERIEUR



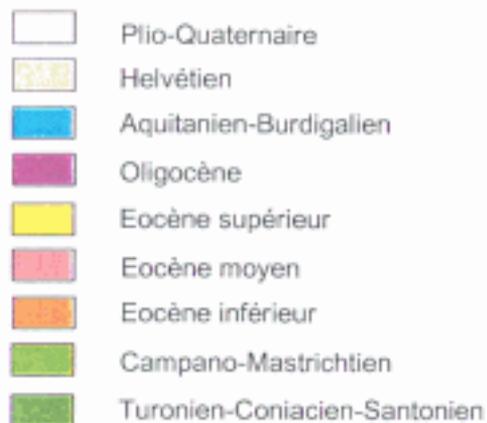
VUE 3D DU TOIT DE L'EOCENE MOYEN



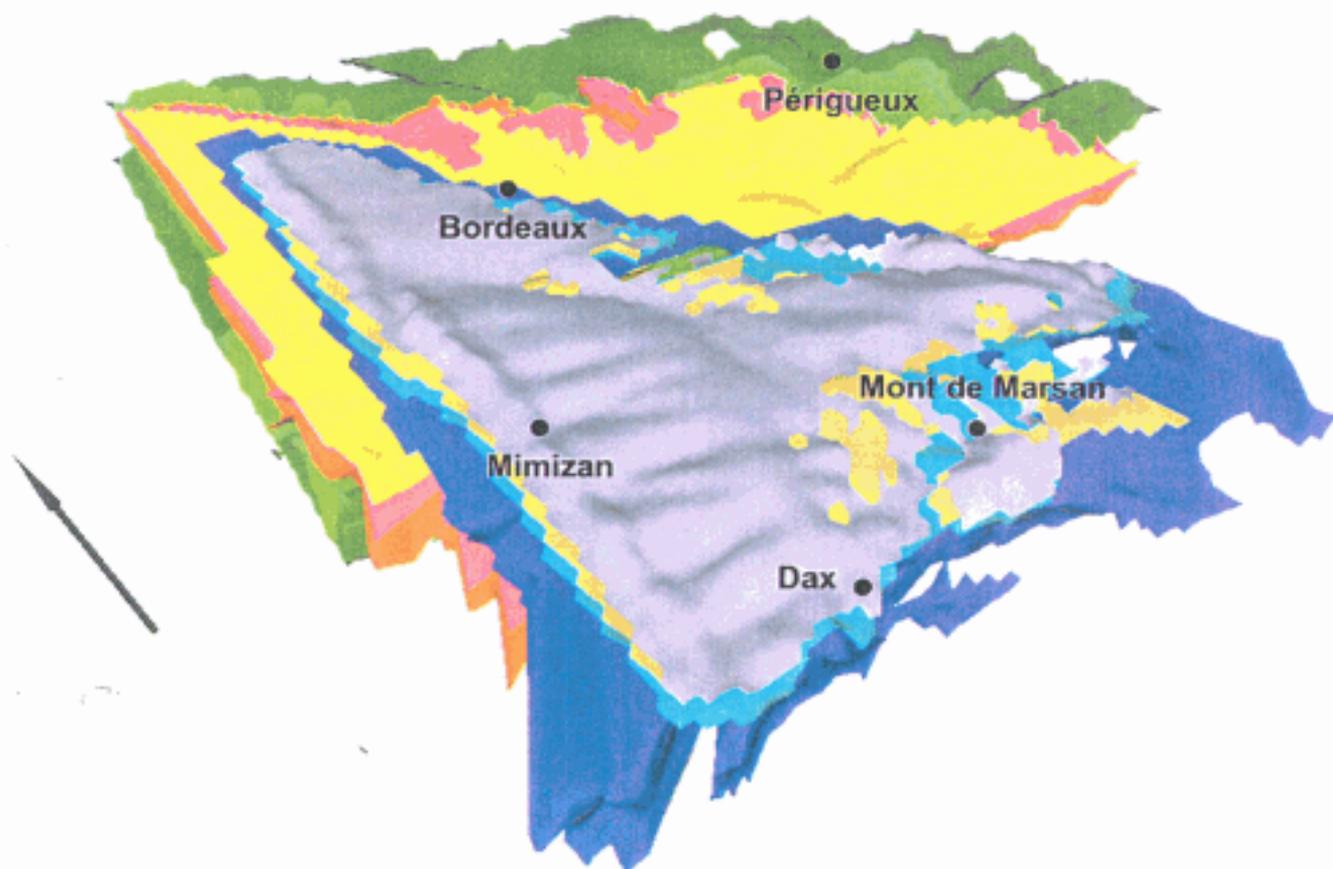
VUE 3D DU TOIT DE L'EOCENE INFERIEUR



Vues 3D des toits des formations aquifères du modèle nord aquitain

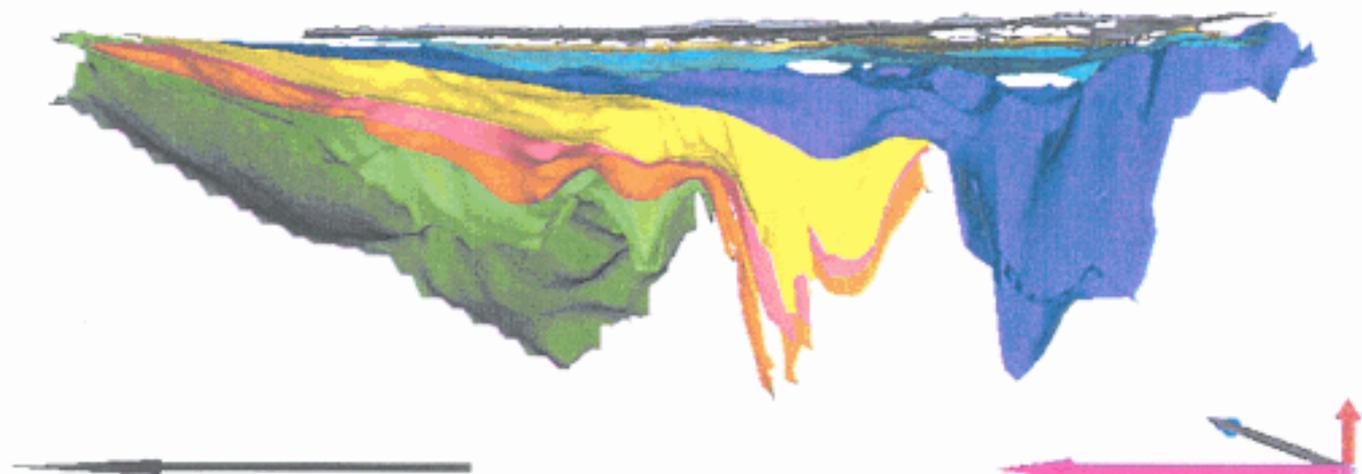


Vue en perspective

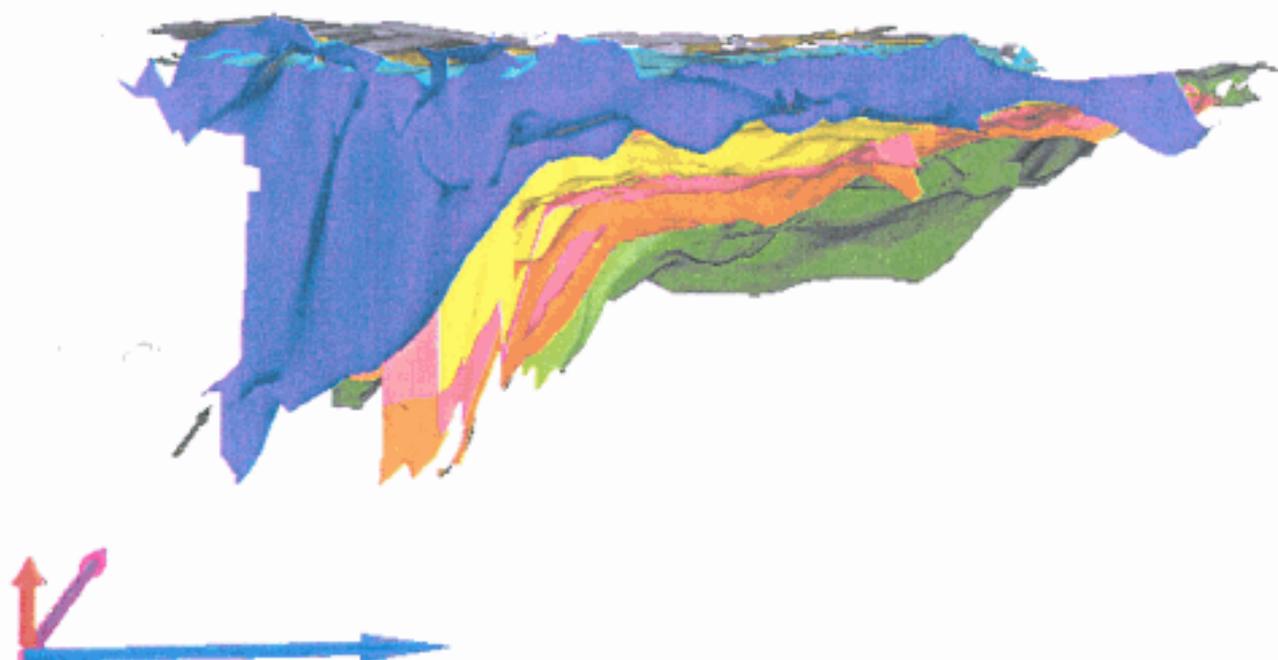


Vues 3D des toits des formations aquifères du modèle nord aquitain

Vue de l'Ouest

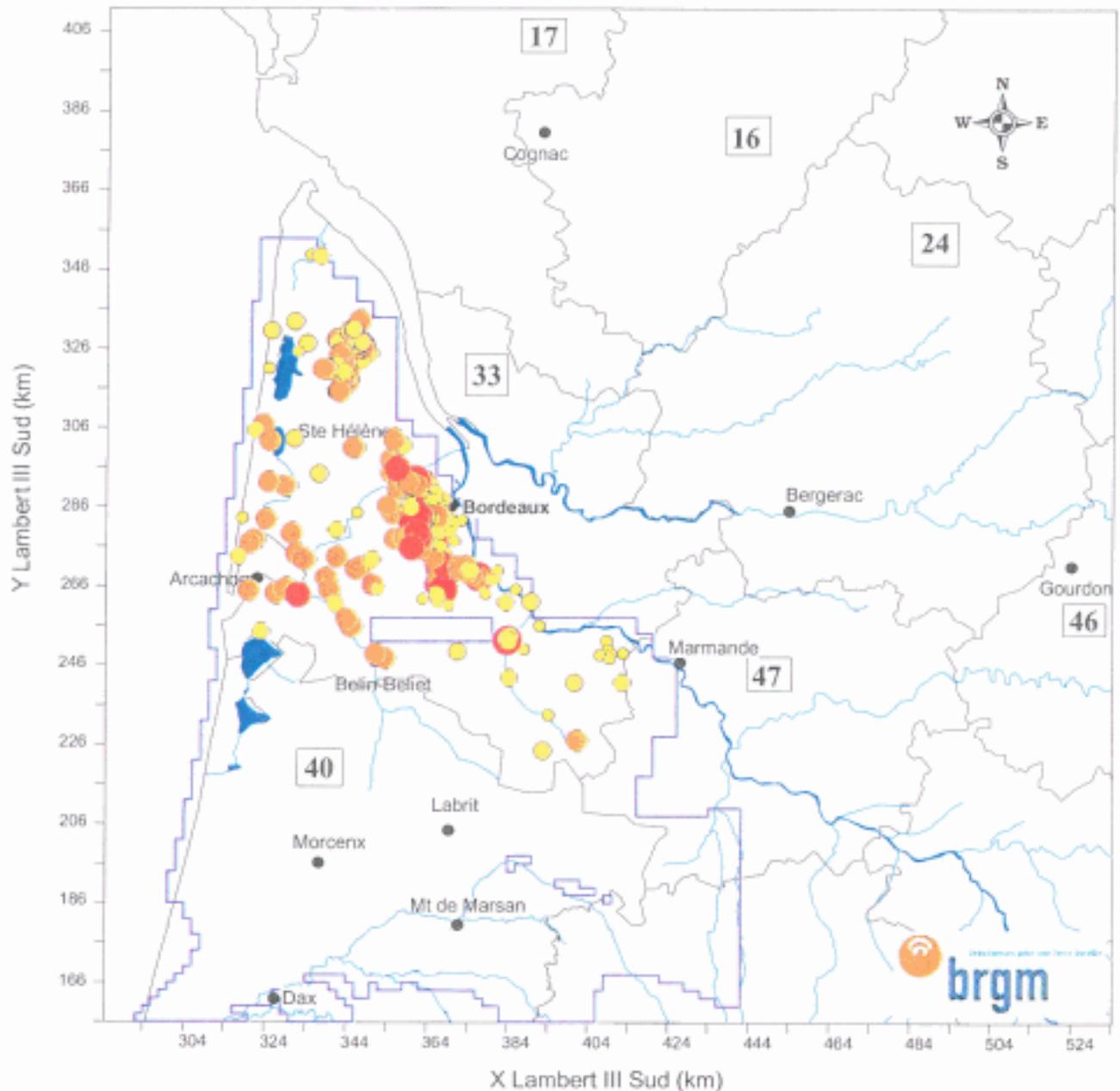


Vue du Sud

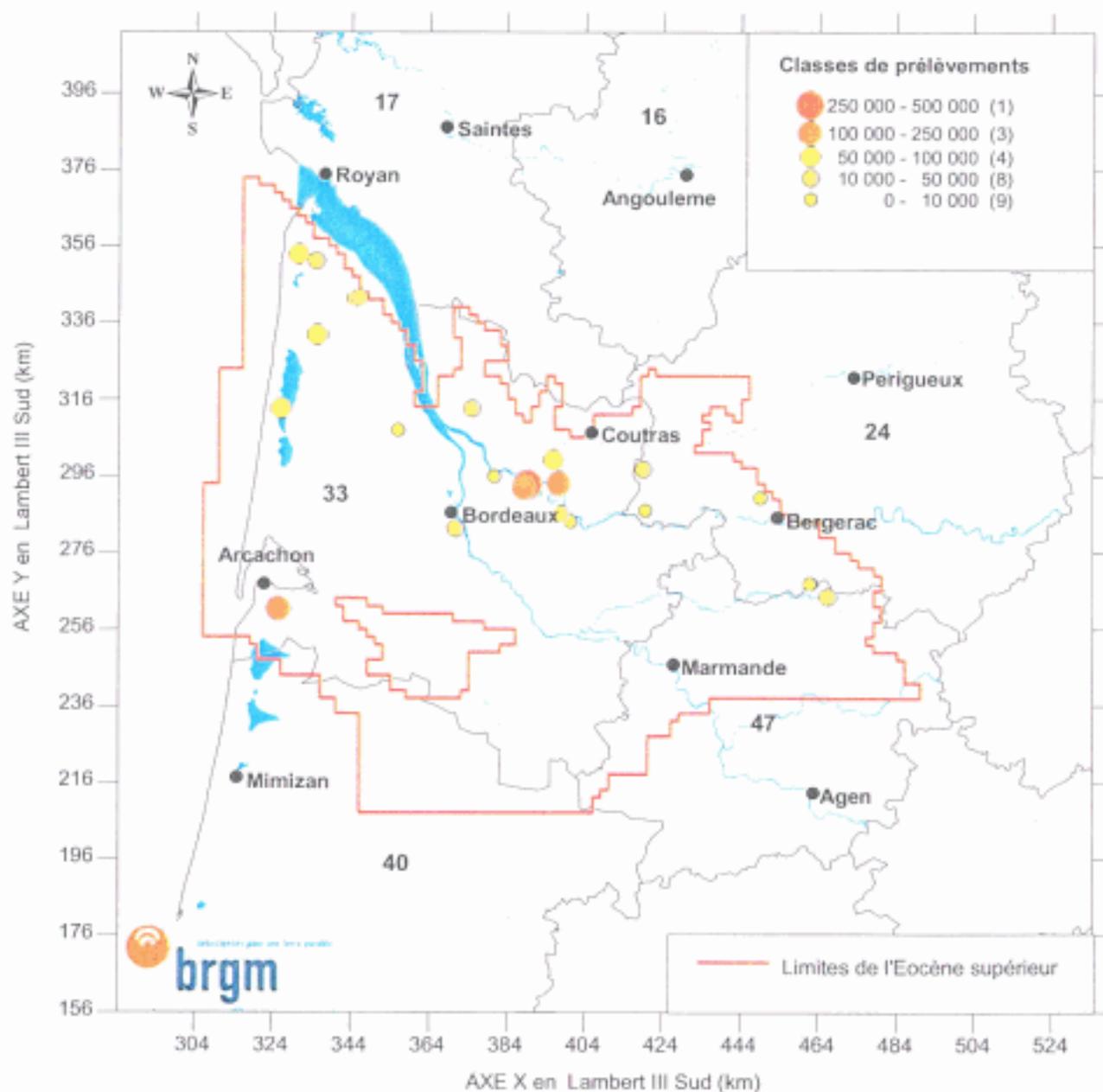


ANNEXE 7

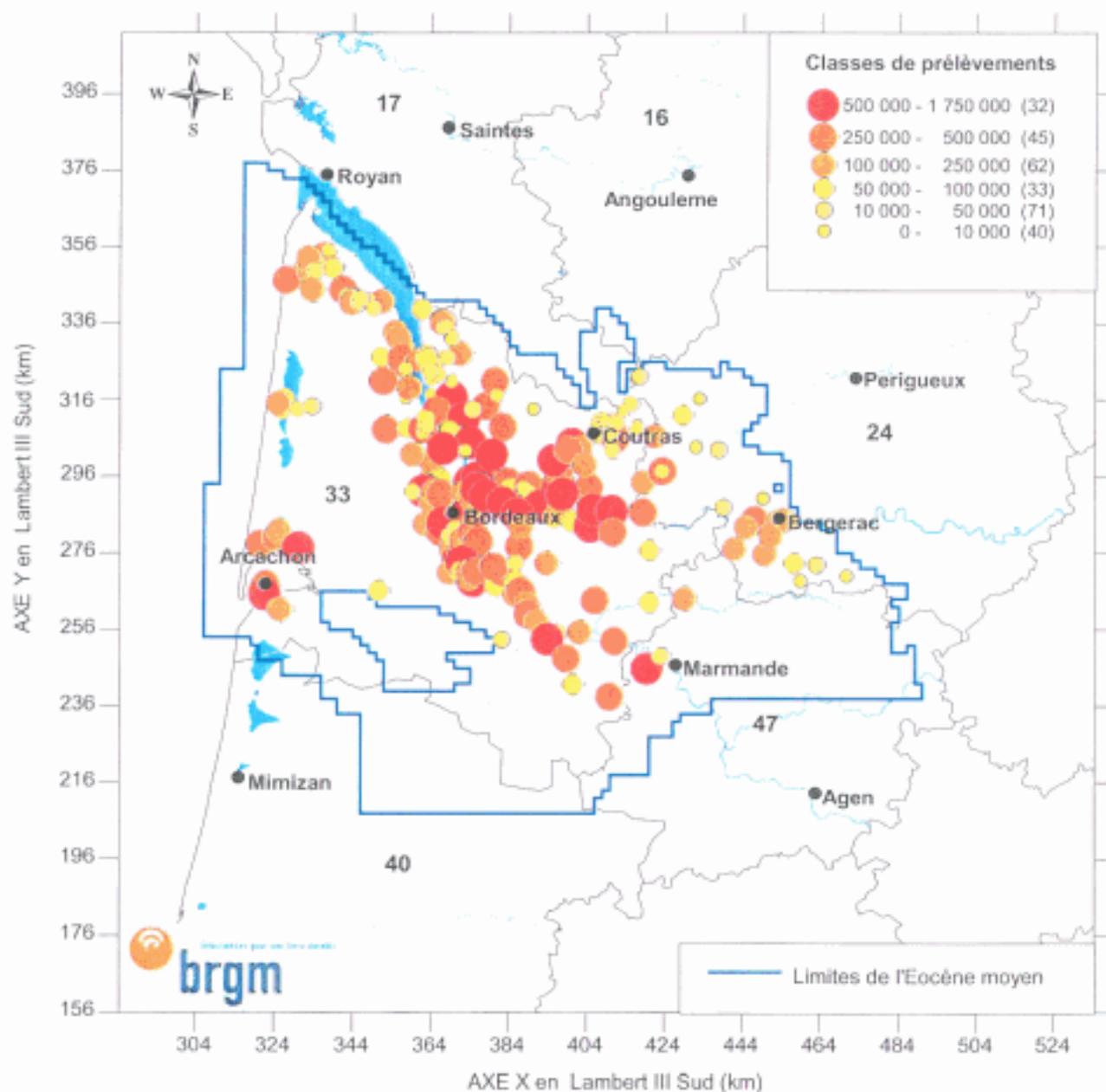
Répartition des prélèvements dans les couches inférieures du modèle en 2000



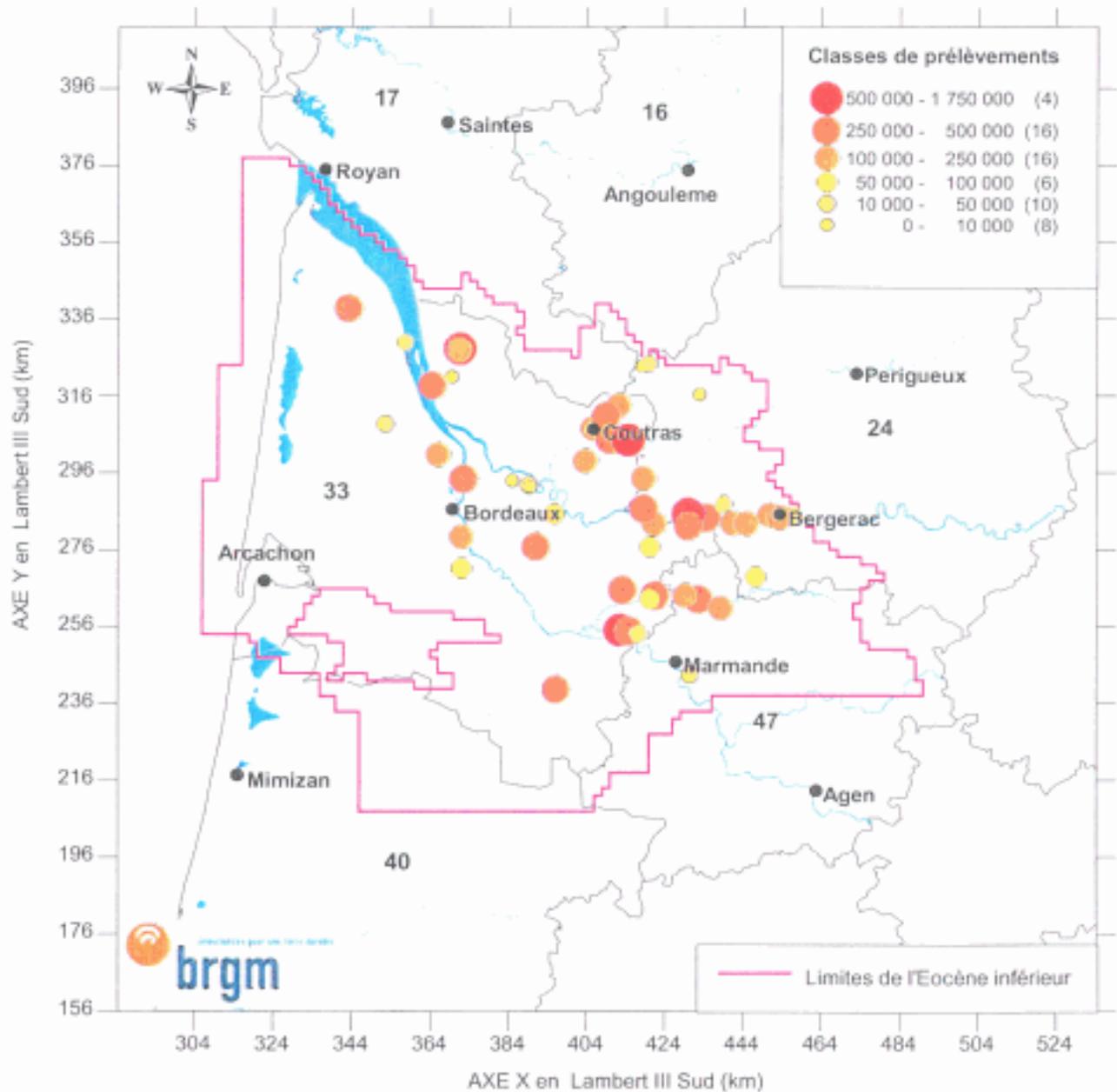
Répartition des prélèvements dans l'Oligocène en 2000



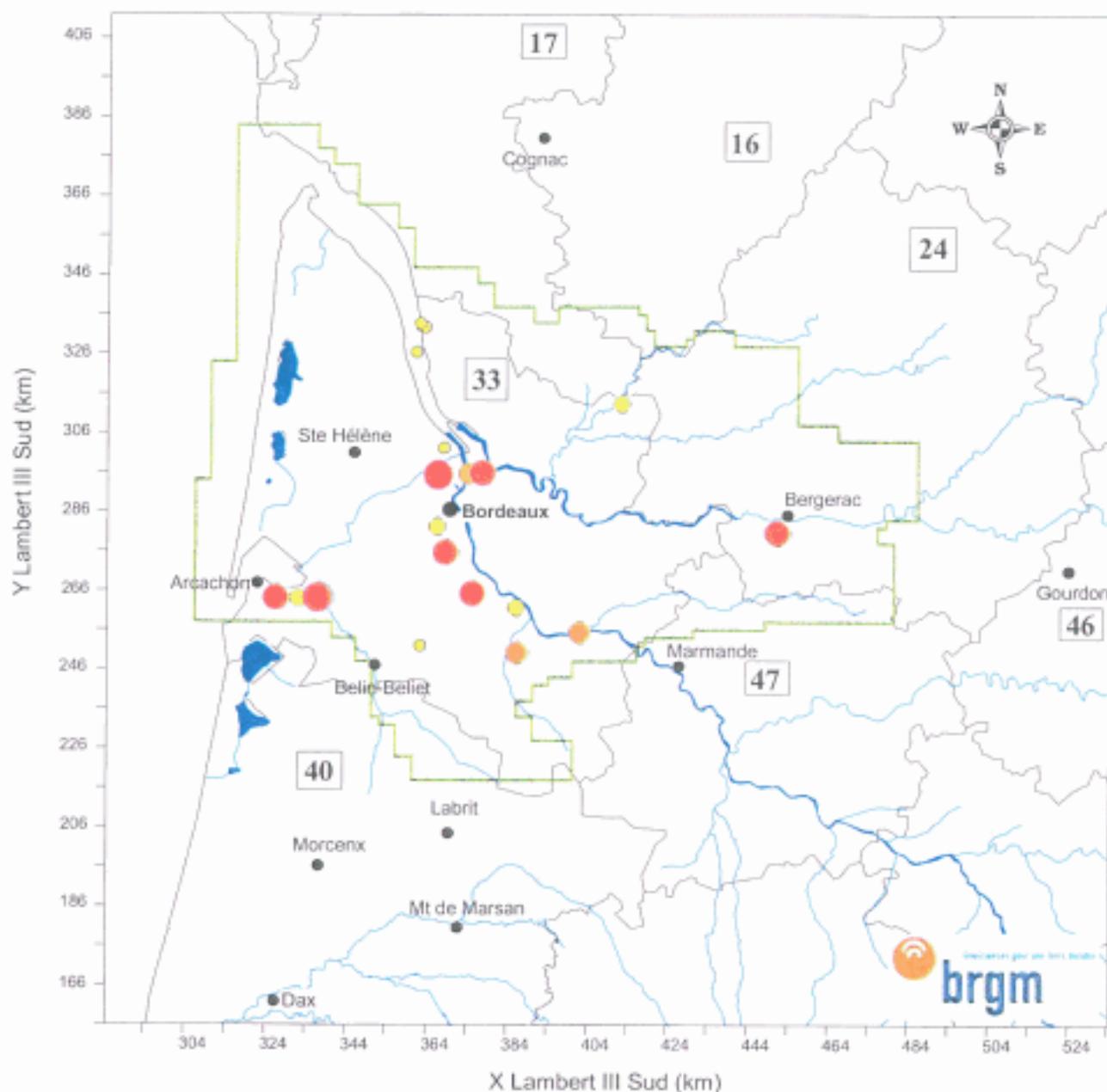
Répartition des prélèvements dans l'Éocène supérieur en 2000



Répartition des prélèvements dans l'Éocène moyen en 2000



Répartition des prélèvements dans l'Éocène inférieur en 2000



Répartition des prélèvements dans le Campano-Maastrichtien en 2000

BRGM
SERVICE des ACTIVITES RE
SERVICE GEOLOGIQUE REGIO
24, avenue Léonard de Vinci - 33600
Tél. : 33 (0)5 57 26

Indes