

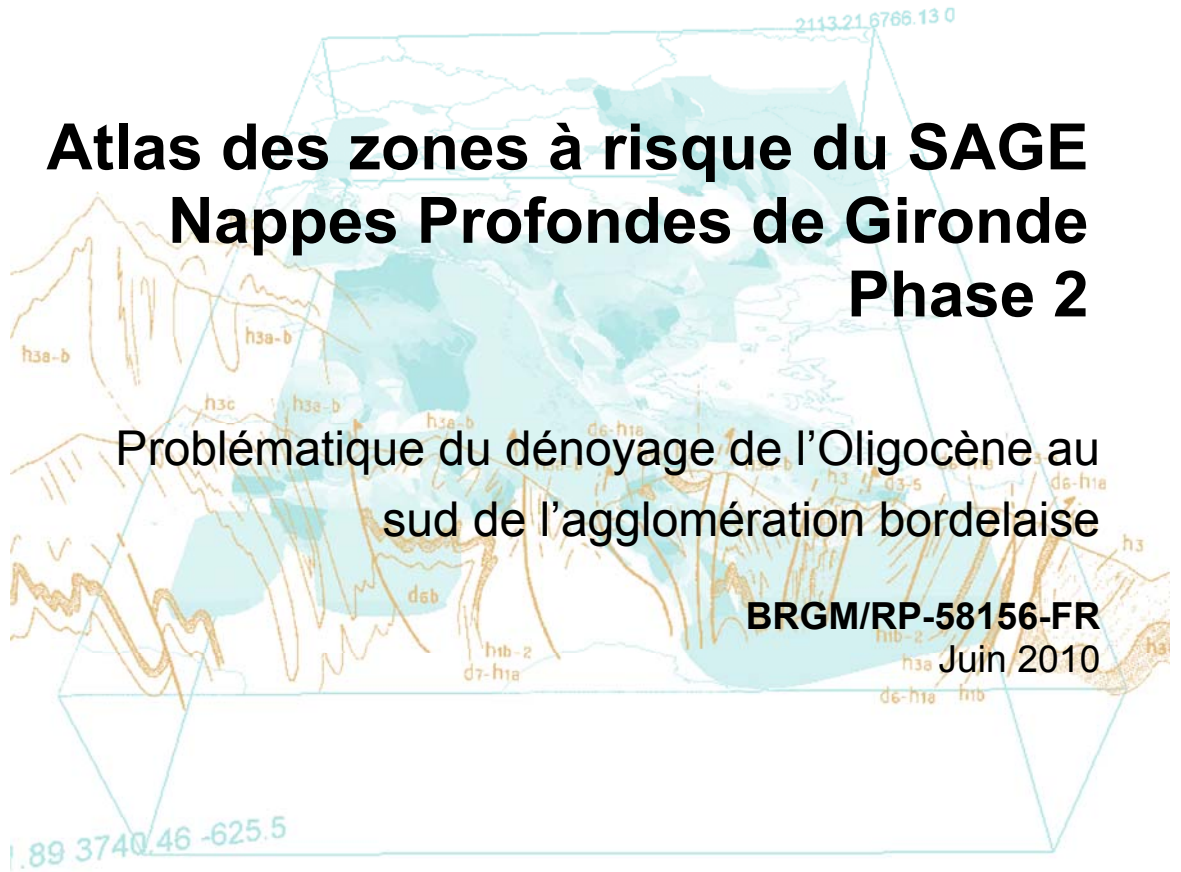
Document public



Atlas des zones à risque du SAGE Nappes Profondes de Gironde Phase 2

Problématique du dénoyage de l'Oligocène au
sud de l'agglomération bordelaise

BRGM/RP-58156-FR
Juin 2010



Atlas des zones à risque du SAGE Nappes Profondes de Gironde Phase 2

Problématique du dénoyage de l'Oligocène au
sud de l'agglomération bordelaise

BRGM/RP-58156-FR
Juin 2010

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 08 EAUK 24

M. Saltel, N. Pédrón, JP. Platel, P. Corbier, B. Bourgine
avec la collaboration de
JB. Loiseau

Vérificateur :

JJ Seguin

Approbateur :

Ph Dutartre

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

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



Mots clés : Oligocène, zone à risque, dénoyage, modélisation géologique, modélisation hydrodynamique, gestion de nappe, scénario d'exploitation

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : **M. Saltel, N. Pédrón, JP. Platel, P. Corbier, B. Bourguine** avec la collaboration de **JB. Loiseau** (2010) - Atlas des zones à risque du SAGE Nappes Profondes de Gironde - Phase 2 - Problématique du dénoyage de l'Oligocène au Sud de l'agglomération Bordelaise, BRGM/RP-58156-FR 123 p., 64 figures, 11 tableaux, 7 annexes

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

Synthèse

Cette étude s'inscrit dans le cadre du **SAGE « Nappes profondes de Gironde »** (**S**chémas d'**A**ménagement et de **G**estion des **E**aux) et relève plus particulièrement de la **mesure 3-10** portant sur la réalisation d'atlas évolutif des zones à risque.

Ce travail fait suite à la première phase réalisée en 2005 [Corbier et al., 2005] qui avait permis de confirmer ou d'infirmier l'existence du risque sur les 5 zones identifiées par le groupe d'experts de la Commission Locale de l'Eau : dénoyage de l'Oligocène bordelais, domaine minéralisé de l'Eocène, crête piézométrique de l'Eocène au droit de l'estuaire de la Gironde, salinisation de l'Eocène dans la zone médocaine, biseau salé dans le Miocène au niveau du bassin d'Arcachon.

Le présent rapport s'intéresse plus spécifiquement au réservoir de l'Oligocène qui constitue une des principales ressources en eau potable du département de la Gironde. Cette nappe d'intérêt stratégique est fortement influencée par les prélèvements, qui induisent depuis de nombreuses années un dénoyage progressif de certains secteurs susceptible de mettre en péril la ressource tant du point de vue quantitatif que qualitatif. En conséquence, cette zone à risque a été jugée prioritaire par la CLE pour l'établissement de règles de gestion en adéquation avec les objectifs du SAGE. Le travail réalisé dans le cadre de cette étude a abouti à la création d'un modèle hydrodynamique intégrant des connaissances géologiques et hydrogéologiques sur le réservoir de l'Oligocène.

Dans un premier temps, le modèle a servi à mieux évaluer l'extension de la zone dénoyée au cours du temps. Les résultats obtenus montrent que l'étendue du dénoyage du réservoir oligocène est moins importante que n'auraient pu le laisser penser les premières estimations réalisées précédemment [Corbier et al., 2005] qui avaient été établies à partir des cartes piézométriques et du modèle géologique existant. Dans un second temps, le modèle a été utilisé pour réaliser des simulations prospectives afin de fournir des éléments techniques permettant aux différents acteurs de la Commission Locale de l'Eau (CLE) d'arrêter un plan de gestion pour la nappe de l'Oligocène.

Six scénarios (3 basés sur des évolutions climatiques et 3 sur des variations de prélèvements) ont été élaborés et utilisés pour simuler l'évolution des charges au pas de temps annuel jusqu'en 2025. Les différents scénarios pris en compte dans le cadre de ces projections ont été définis en concertation avec le groupe d'experts hydrogéologues de la CLE. Il ressort de l'interprétation des 3 premiers scénarios que les prévisions du **GIEC** (**G**roupe d'experts **I**ntergouvernemental sur l'**E**volution du **C**limat) induisent globalement une baisse de la piézométrie par rapport à la reconduction à l'identique d'une climatologie moyenne pour la période 1997-2007. Les simulations basées sur l'évolution des prélèvements montrent qu'un dénoyage plus ou moins important peut être obtenu en fonction des stratégies utilisées pour l'exploitation du réservoir. En effet, l'augmentation globale des prélèvements (scénario 4) conduit à

une extension importante du dénoyage du réservoir alors qu'une baisse des prélèvements sur la ligne des « 100 000 m³/jour » (scénario 6) aboutit à une stabilisation voire à une remontée nette des charges dans ce secteur.

Fort de ces constatations, une série de simulations visant à étudier la possibilité de réduire les prélèvements sur le parc de forages existants dans les secteurs problématiques pour limiter au mieux la désaturation du réservoir a été réalisée. Il ressort de cette approche que la répartition des prélèvements dans l'espace est un facteur prépondérant. En effet, pour une même réduction de prélèvements, l'impact sur le dénoyage peut-être plus ou moins important. Les simulations réalisées ont également montré que le retour à un dénoyage équivalent à celui observé en 1972 n'apparaît pas envisageable en considérant les conditions de recharge issues des prospections du GIEC. **Néanmoins, une réduction de 3 à 4 millions de m³/an (soit environ 10 % des prélèvements du secteur) appliquée à certains forages bien précis permettrait d'aboutir à une amélioration significative de la situation.** Toutefois, il faut garder à l'esprit que cette approche permet uniquement d'évaluer de manière globale l'ordre de grandeur du volume annuel à substituer pour réduire l'impact de l'exploitation du réservoir sur le dénoyage de la nappe. A noter que toute mise en œuvre d'une réduction des prélèvements doit être précédée d'une étude de faisabilité de ces stratégies d'exploitation vis-à-vis des contraintes techniques et économiques. Il est en effet possible que certains scénarios ne soit pas compatibles avec les spécificités du réseau de distribution ou les capacités d'alimentation de tel ou tel secteur.

Par ailleurs, il faut souligner ici le manque de points d'observation sur la zone d'intérêt située à l'est de la ligne des « 100 000 m³/jour ». La réalisation de 6 piézomètres sur les communes de Saucats, la Brède et de Saint-Morillon permettrait de bénéficier de points de surveillance complémentaires qui serviraient à affiner la construction des cartes piézométriques dans ce secteur à fort enjeu et à améliorer la restitution locale des charges dans le modèle hydrodynamique. D'autres part, ces points d'observation permettraient de mesurer l'effet sur la piézométrie des réductions des prélèvements qui seraient appliquées à certains forages de la ligne des « 100 000 m³/jour ». Des prélèvements pourraient également être réalisés pour observer l'évolution de paramètres susceptibles de traduire une dégradation de la qualité de la nappe. De plus, il semblerait pertinent de suivre de nouveau en continu certains ouvrages de la ligne des « 100 000 m³/jour » afin d'observer les variations saisonnières. La plupart font aujourd'hui l'objet d'un suivi annuel ce qui est parfois insuffisant pour l'utilisation en chroniques de calage.

D'autres parts, les études antérieures ([LARAG et SAFEGE, 1994] ; [SAFEGE, 1996] ; [Chapuis, 2009] ; [Vengud, 2009] ;) nous rappellent que la vulnérabilité du réservoir de l'Oligocène est surtout liée à la proximité des zones d'affleurement qui constituent des zones de communication privilégiées avec le réseau hydrographique. Ainsi, l'installation de stations de jaugeage sur certains secteurs stratégiques (Saucats, Gat-Mort) permettrait une meilleure compréhension des interactions nappes-rivières. De même, la mise en place de stations de jaugeage au droit de sources non aménagées pour l'alimentation en eau potable permettrait de mesurer l'impact des évolutions climatiques et donc de la recharge sur leurs débits.

Sommaire

1. Introduction	13
1.1. RAPPEL : LE SAGE NAPPES PROFONDES DE GIRONDE ET L'ATLAS ÉVOLUTIF DES ZONES A RISQUES	13
1.2. PROBLEMATIQUE	14
2. Caractéristiques du réservoir considéré	17
2.1. DESCRIPTION GEOLOGIQUE	17
2.1.1. L'Oligocène inférieur basal (Rupélien basal).....	17
2.1.2. L'Oligocène inférieur (Rupélien).....	19
2.1.3. L'Oligocène supérieur (Chattien) et le Miocène inférieur (Aquitaniens basal)	20
2.2. CONTEXTE STRUCTURAL	20
2.2.1. Failles	20
2.2.2. Anticlinaux.....	21
2.3. HYDROGEOLOGIE	23
2.3.1. Caractéristiques hydrodynamiques	24
2.3.2. Alimentation de la nappe.....	24
2.3.3. Piézométrie	26
2.3.4. Exutoires	28
2.3.5. Géochimie	29
2.4. APPROCHE QUALITATIVE	30
2.4.1. Conductivité	32

2.4.2. Nitrates	35
2.4.3. Fer	37
2.4.4. Conclusion	39
3. Modélisation géologique.....	41
3.1. OUTILS ET PRINCIPES	41
3.1.1. Principe général de modélisation.....	41
3.1.2. Constitution de la base de données	42
3.2. ÉLABORATION DU MODELE	47
3.2.1. Contrôle préalable des données.....	47
3.2.2. Construction.....	48
3.2.3. Structuration des réservoirs modélisés.....	55
4. Modélisation hydrodynamique.....	61
4.1. CONSTRUCTION DU MODELE	61
4.1.1. Géométrie du modèle	61
4.1.2. Discrétisation temporelle	63
4.1.3. Conditions imposées	64
4.1.4. Prélèvements.....	68
4.1.5. Recharge	73
4.1.6. Paramètres hydrodynamiques.....	76
4.1.7. Points d'observation	77
4.2. CALAGE DU MODELE	80
4.2.1. Démarche de calage.....	80
4.2.2. Calage du modèle en régime permanent	81

4.2.3. Calage du modèle en régime transitoire	85
4.3. DENOYAGE DU RESERVOIR OLIGOCENE	93
4.4. SIMULATIONS PROSPECTIVES.....	98
4.4.1. Description des scénarios	98
4.4.2. Résultats	99
4.5. RECHERCHE D'OPTIMISATION DES PRELEVEMENTS	113
LIMITES ET PERSPECTIVES.....	120
5. Conclusions	123
6. Bibliographie.....	127

Liste des figures

Remarque : les coordonnées affichées sur l'ensemble des cartes présentées dans ce rapport sont exprimées en Lambert II étendue.

Figure 1 : Limite de la zone d'étude et problématique du dénoyage (d'après les premières estimations issues du rapport BRGM/RP-53756-FR)	14
Figure 2 : Coupe lithostratigraphique synthétique de l'Oligocène et de ses terrains de recouvrement dans la région bordelaise [Platel et al., 2000]	18
Figure 3 : Schéma structural de la zone d'étude	21
Figure 4 : Coupes géologiques du flanc nord de la structure de Villagrains-Landiras (Alvinerie et Gayet, 1973)	22
Figure 5 : Coupe représentative du réservoir oligocène (Platel et al., 2000)	23
Figure 6 : Répartition des perméabilités mesurées dans le secteur d'étude pour l'aquifère oligocène	24
Figure 7 : Zones de communications potentielles entre l'aquifère de l'Oligocène et les aquifères encadrant (Hosteins, 1982)	25
Figure 8 : Comparaison des piézométries dressées en 1975 (Chamayou et Heng, 1975) et 2000 (Schnebelen et al., 2001).	26
Figure 9 : Évolution de la piézométrie de la nappe de l'Oligocène dans la région Bordelaise entre 1975 et 2005 (source rapports BRGM « Contrôle qualité et gestion des nappes d'eau souterraines en Gironde » [Chamayou et Heng, 1975], [Bellegarde et al., 1980], [Bonnery et Sourisseau, 1986], [Bonnery et Sourisseau, 1991], [Bonnery et Mauroux, 1996], [Schnebelen et al., 2001])	27
Figure 10 : Localisation des qualitomètres sur la zone d'étude.	31
Figure 11 : Mesures de la conductivité en 2006.	32
Figure 12 : Evolution de la conductivité sur les forages « Parc » (08035X0337) et « Moulin Lagues » (08276X0090)	34
Figure 13 : Teneurs en nitrates mesurées en 2006.	35
Figure 14 : Evolution des teneurs en nitrates sur les forages « Parc » (08035X0337) et « Moulin Lagues » (08276X0090)	36
Figure 15 : Teneurs en fer mesurées en 2006.	37
Figure 16 : Evolution des teneurs en fer dissous sur les forages « Parc » (08035X0337) et « Moulin Lagues » (08276X0090)	38
Figure 17 : Limites du modèle géologique de l'Oligocène au pas de 200 m (Rapport BRGM/RP-50468-FR)	42
Figure 18 : Données géologiques utilisées pour l'élaboration du modèle.	44
Figure 19 : Illustration du SIG "Modèle OLIOGCENE" sous MapInfo	47
Figure 20 : Schéma des horizons modélisés	49

Figure 21 : Comparaison selon un axe SW-NE entre géométrie du modèle et coupe géologique.....	50
Figure 22 : Comparaison selon un axe S-N entre géométrie du modèle et coupe géologique.....	51
Figure 23 : Contrôle de cohérence à l'aide de coupes	53
Figure 24 : Exemple de visualisation 3D du modèle géologique	54
Figure 25 : Épaisseur des alluvions	55
Figure 26 : Épaisseur des recouvrements quaternaires à miocène moyen	56
Figure 27 : Épaisseur du réservoir miocène	57
Figure 28 : Épaisseur de l'éponte au toit de l'Oligocène	58
Figure 29 : Épaisseur du réservoir oligocène	59
Figure 30 : Agencement schématique des différentes couches du modèle hydrodynamique.....	61
Figure 31 : Visualisation 3D du modèle hydrodynamique	62
Figure 32 : Exemple de coupe verticale de contrôle réalisée à l'aide du logiciel Marthe	63
Figure 33 : Évolutions comparées de la cote de la Garonne, de la piézométrie et des prélèvements sur le secteur d'étude	64
Figure 34 : Réseau hydrographique intégré dans le modèle.....	66
Figure 35 : Localisation des prélèvements sur le secteur d'étude pour l'année 2007.....	69
Figure 36 : Évolution des prélèvements dans la nappe du Miocène de 1972 à 2007	70
Figure 37 : Répartition des prélèvements dans la nappe de l'Oligocène en 2007	72
Figure 38 : Évolution des prélèvements dans la nappe de l'Oligocène de 1972 à 2007.....	73
Figure 39 : Évolution des précipitations efficaces annuelles à la station de Mérignac (33).....	74
Figure 40 : Localisation des différentes zones de recharge	75
Figure 41 : Localisation des points d'observation	78
Figure 42 : Chroniques piézométriques illustrant le dénoyage de l'aquifère	79
Figure 43 : Procédure de calage.....	81
Figure 44 : Hauteurs piézométriques restituées – nappe du Plio-Quaternaire, année 2006	82
Figure 45 : Hauteurs piézométriques restituées – nappe du Miocène, année 2006	83
Figure 46 : Hauteurs piézométriques restituées – nappe de l'Oligocène, année 2006.....	84
Figure 47 : Diagramme de dispersion des hauteurs piézométriques calculées et observées pour l'année 2006.....	85
Figure 48 : Comparaison entre les niveaux observés et simulés	86
Figure 49 : Chroniques piézométriques dans la zone bordelaise.....	87
Figure 50 : Chroniques piézométriques sur la ligne des 100 000 m ³ /j	88

Figure 51 : Histogramme des écarts individuels entre chroniques piézométriques observées et chroniques simulées	90
Figure 52 : Évolution dans le temps des écarts moyens et de leur écart type	91
Figure 53 : Extension de la zone dénoyée estimée à partir de charges restituées par le modèle- année 1980.....	95
Figure 54 : Extension de la zone dénoyée estimée à partir de charges restituées par le modèle- année 2005.....	96
Figure 55 : Rabattement estimé à partir du modèle entre l'état piézométrique des années 1980 et 2005.....	97
Figure 56 : Exemple de désagrégation des données de précipitations (mm/jour) pour la France.....	99
Figure 57 : Résultats de simulation – Évolution piézométriques sur une sélection de 11 piézomètres en fonction des modifications appliquées à la recharge.....	101
Figure 58 : Évolution des prélèvements (hors sources) selon les différents scénarios considérés – nappe de l'oligocène	103
Figure 59 : Résultats de simulation – Évolution piézométriques sur une sélection de 11 piézomètres en fonction des modifications appliquées aux prélèvements	105
Figure 60 : Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle - scénario 4 - année 2025.....	109
Figure 61 : Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle - scénario 5 - année 2025.....	110
Figure 62 : Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle - scénario 6 - année 2025.....	111
Figure 63 : Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Optimisation - scénario A - année 2025	115
Figure 64 : Lacune dans le réseau de suivi de la nappe de l'Oligocène.....	120

Liste des tableaux

Tableau 1 : Lithostratigraphie comparées de l'Oligocène du Bordelais (d'après Platel et al., 2000)	17
Tableau 2 : Débit naturel de quelques sources oligocènes non exploitées (Schnebelen, 2002)	28
Tableau 3 : Pile stratigraphique du modèle géologique.....	45
Tableau 4 : Résultats des jaugeages réalisés par la DIREN sur les affluents de la Garonne durant les périodes d'étiages 2008 et 2009 [DIREN, 2009].	67
Tableau 5 : Volumes prélevés par usage dans la nappe du Miocène en 2007.....	70
Tableau 6 : Volumes prélevés par usage dans la nappe de l'Oligocène en 2007.....	71
Tableau 7 : Points d'observation.....	77
Tableau 8 : Oligocène - statistiques sur les écarts entre piézométrie observée et piézométrie simulée calculés sur les chroniques de mesures disponibles.....	89
Tableau 9 : Usage des forages utilisé pour ajuster les prélèvements dans les secteurs dénoyés.....	113
Tableau 10 : Caractéristiques générales des scénarios d'optimisation.....	117
Tableau 11 : Volumes annuels en m ³ prélevés au droit des forages d'ajustement pour les scénarios d'optimisation les plus représentatifs.....	118

Liste des annexes

Annexe 1 Coupes dans la géométrie du modèle géologique numérique (GDM)	
Annexe 2 Vues 3D dans le modèle géologique numérique	
Annexe 3 Cartes des isobathes des toits et des murs des couches du modèle géologique	
Annexe 4 Chroniques de calage du modèle en régime transitoire	
Annexe 5 Cartographie des perméabilités issues du calage en régime transitoire	
Annexe 6 Évaluation des besoins futurs pour l'AEP	
Annexe 7 Simulations d'optimisation – Cartes de dénoyage	

1. Introduction

1.1. RAPPEL : LE SAGE NAPPES PROFONDES DE GIRONDE ET L'ATLAS ÉVOLUTIF DES ZONES A RISQUES

Les **Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE)** sont des instruments de gestion et de planification mis en place pour concilier l'utilisation des ressources en eau et la protection des milieux aquatiques. Le SAGE "Nappes profondes de Gironde" a été approuvé par arrêté préfectoral le 25 novembre 2003 après une phase d'état des lieux qui a permis de souligner la dégradation qualitative et quantitative de certaines nappes profondes dont celle de l'Eocène (évolution de la baisse piézométrique sous l'agglomération bordelaise notamment) et de mettre en évidence une dépendance du département vis-à-vis des nappes profondes pour la satisfaction de ses besoins en eau. Les aquifères concernés par le SAGE correspondent aux nappes du Miocène, de l'Oligocène, de l'Eocène et du Crétacé qui, à elles seules, permettent de couvrir 98% des besoins en eau potable de la Gironde. Le document « Orientations du SAGE » définit un certain nombre de mesures visant à améliorer la gestion quantitative et qualitative des ressources. La mesure 3-10 prévoit en particulier la réalisation, dans un délai d'un an après l'approbation du document, d'un atlas des zones à risques devant préciser pour chacune des zones identifiées :

- la description du risque et des mécanismes qui y contribuent,
- l'extension spatiale de la zone,
- les points de prélèvement concernés et les usages qui y correspondent,
- la liste des communes concernées,
- le réseau de points de contrôle de la zone,
- les valeurs de piézométrie de crise (PCR) en chacun de ces points,
- les valeurs de piézométrie objectif d'étiage (POE) déclenchant un plan d'intervention.

Le travail d'élaboration de l'Atlas évolutif des zones à risque, confié au BRGM par le **SMEGREG (Syndicat Mixte d'Etude pour la Gestion de la Ressource en Eau du département de la Gironde)** dans le cadre de sa mission de secrétariat technique de la **Commission Locale de l'Eau (CLE)**, a été scindé en deux phases :

- La première phase, réalisée en 2005 [Corbier et al., 2005], a permis de confirmer ou d'infirmer l'existence du risque sur les 5 zones identifiées par le groupe d'experts de la Commission Locale de l'Eau (dénoyage de l'Oligocène bordelais, domaine minéralisé de l'Eocène, crête piézométrique de l'Eocène au droit de l'estuaire de la Gironde, salinisation de l'Eocène, biseau salé dans le Miocène au niveau du bassin d'Arcachon) et de préciser les besoins de connaissance pour la réalisation de la phase 2,

- La phase 2 doit permettre d'aboutir, pour les zones dont le risque est avéré, à la définition d'unités de gestion pertinentes s'appuyant sur des réseaux de points de contrôle de référence pour lesquels des valeurs de piézométrie de crise et/ou d'objectif seront définies conformément aux alinéas 6 et 7 de la mesure 3-10.

1.2. PROBLEMATIQUE

Avec l'Eocène, l'Oligocène constitue une des principales ressources en eau potable du département de la Gironde. Les prélèvements effectués dans la nappe de l'Oligocène, longtemps inférieurs à ceux de la nappe de l'Éocène ont progressivement augmenté pour devenir équivalents à ceux prélevés dans la nappe de l'Éocène dès 1997. Cette ressource a donc un intérêt stratégique primordial dans l'alimentation en eau potable de l'agglomération bordelaise. Toutefois les études les plus récentes ([Platel et al., 2000] ; [Schnebelen et al., 2002] ; [Corbier et al., 2005]) ont montré le fort impact des pompages effectués sur la ligne des « 100 000 m³/jour », orientée selon un axe nord-sud entre Cabanac et Léognan et dans une moindre mesure, dans le secteur située à l'est de Mérignac aboutissant au dénoyage de la nappe dans ces secteurs (Figure 1).

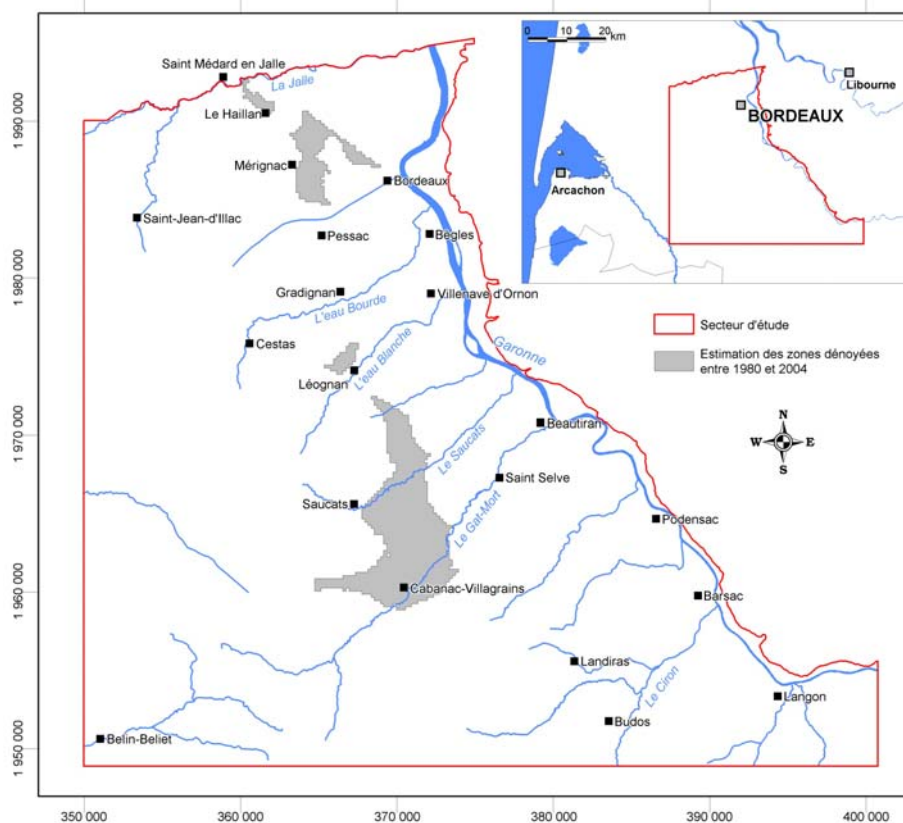


Figure 1 : Limite de la zone d'étude et problématique du dénoyage (d'après les premières estimations issues du rapport BRGM/RP-53756-FR)

Le dénoyage d'un aquifère captif correspond à la désaturation d'une partie du réservoir par abaissement du niveau piézométrique en dessous du mur de l'éponte supérieure. Il traduit généralement une exploitation intensive de la ressource et peut avoir diverses conséquences.

D'un point de vue technique, l'abaissement de la charge peut nécessiter le déplacement des pompes ou leur remplacement lorsque leurs caractéristiques (rapport débit-puissance) ne les autorisent plus à assurer le débit d'exploitation initialement défini. Par ailleurs, le dénoyage du puits semble jouer un rôle dans la mise en place de dépôts incrustants sur l'équipement du puits (crépine) ou sa proche périphérie (massif filtrant aquifère). Ces dépôts d'oxydes de fer [Houben, 2004] ou de carbonates [Houben et Treskatis, 2007] réduisent d'autant la porosité du milieu aquifère et donc la productivité du puits [Larroque et Franceschi, 2008]. L'exploitation intensive de la ressource peut aussi induire une diminution du débit des sources et des cours d'eau alimentés par la nappe et provoquer des phénomènes d'inversion des écoulements. En effet, l'abaissement piézométrique observé perturbe le fonctionnement hydraulique des affluents de la Garonne. Ainsi, le Saucats, aux abords de la dépression engendrée par les prélèvements est caractérisé par des pertes qui traduisent une alimentation locale de la nappe par la rivière. D'un point de vue qualitatif, les études précédentes ont montré que les nitrates contenus dans les puits et les forages situés à proximité des zones d'affleurement constituaient la principale source de pollution de la nappe [Schnebelen et al., 2002].

Du fait de sa contribution à l'alimentation en eau potable de l'agglomération bordelaise et de la vulnérabilité de cette ressource, cette zone à risque a été jugée prioritaire par la CLE pour l'établissement de règles de gestion en adéquation avec les objectifs du SAGE.

L'objectif de cette étude est d'apporter les éléments techniques pertinents nécessaires à la mise en place de règles pour la gestion équilibrée de la ressource oligocène sur la zone concernée. Elle prévoit l'élaboration d'un modèle hydrodynamique suffisamment détaillé pour préciser les zones dénoyées et quantifier les aspects qui en découlent (conditions d'exploitation de la nappe, drainances verticales depuis les réservoirs encadrants et impact sur le débit des sources et des cours d'eau).

Les simulations réalisées à l'aide de ce modèle doivent permettre aux différents gestionnaires et acteurs de l'eau de la Commission Locale de l'Eau d'arrêter un plan de gestion de la nappe.

Les contours du secteur d'étude sont présentés à la Figure 1. La Jalle de Saint-Médard constitue la limite nord du domaine étudié. La limite ouest a été fixée arbitrairement selon un axe nord/sud à bonne distance des secteurs dénoyés. A l'est, la zone d'étude s'appuie sur l'extension orientale de la plaine alluviale de la Garonne afin de prendre en compte les échanges entre les nappes et le fleuve. Elle intègre également à l'Est l'évènement tectonique majeur que constitue la faille de Bordeaux ainsi que le réseau de failles mineures afférent.

Dans un premier temps, ce rapport présentera les caractéristiques du réservoir oligocène objet principal de cette étude. Cette synthèse sera suivie du descriptif de l'élaboration du modèle géologique. Enfin, la dernière partie détaillera la mise en œuvre du modèle hydrodynamique et son exploitation pour l'aide à la définition de règles de gestion.

2. Caractéristiques du réservoir considéré

2.1. DESCRIPTION GEOLOGIQUE

Différents auteurs ont étudié la stratigraphie des formations oligocènes ([Veillon et Vigneaux, 1964] ; [Pratviel, 1972]; [Alvinerie et al., 1976] ; [Alvinerie et al., 1977] ; [Dubreuilh et Alvinerie, 1978] ; [Gayet, 1985] ; [Platel et al., 2000]). Le tableau ci-dessous (Tableau 1) permet de faire le lien entre les anciennes dénominations et les nouvelles :

Veillon & Vigneaux, 1964		Pratviel, 1972 ; Gayet, 1985	Platel, 2000	
	<i>Chattien</i>	Oligocène supérieur 2	Oligocène supérieur	Chattien
Calc. à Astéries supérieur	<i>Stampien</i>	Oligocène supérieur 1 c supérieur 1 b	Oligocène inférieur	Rupélien
Calc. à Astéries inférieur			<i>Membre C</i>	
	<i>Sannoisien supérieur</i>	Oligocène supérieur 1 a	Oligocène inf	
	<i>Sannoisien inférieur</i>	Oligocène inférieur 1 et 2	Oligocène inférieur basal	

Tableau 1 : Lithostratigraphie comparées de l'Oligocène du Bordelais (d'après Platel et al., 2000)

L'Oligocène peut être séparé en deux ensembles, l'Oligocène inférieur ou Rupélien (regroupant le Stampien et le Sannoisien) et l'Oligocène supérieur ou Chattien.

La coupe géologique synthétique conceptuelle des formations oligocènes et de ses recouvrements retrace la superposition des terrains dans la région bordelaise. (Figure 2). Ce log théorique permet de représenter l'ensemble des termes composant la série lithostratigraphique. Certains secteurs sont en effet caractérisés par des lacunes induites par des phénomènes d'érosion ou de non-dépôt.

2.1.1. L'Oligocène inférieur basal (Rupélien basal)

La base des terrains oligocènes est constituée par la partie supérieure de la **Formation des Molasses du Fronsadais**. Cette formation, d'origine fluviatile et palustre, est essentiellement composée d'assises argilo-carbonatées dans sa partie inférieure et de niveaux grésos-sableux dans sa partie supérieure. Elle présente une épaisseur de 30 à 40 mètres.

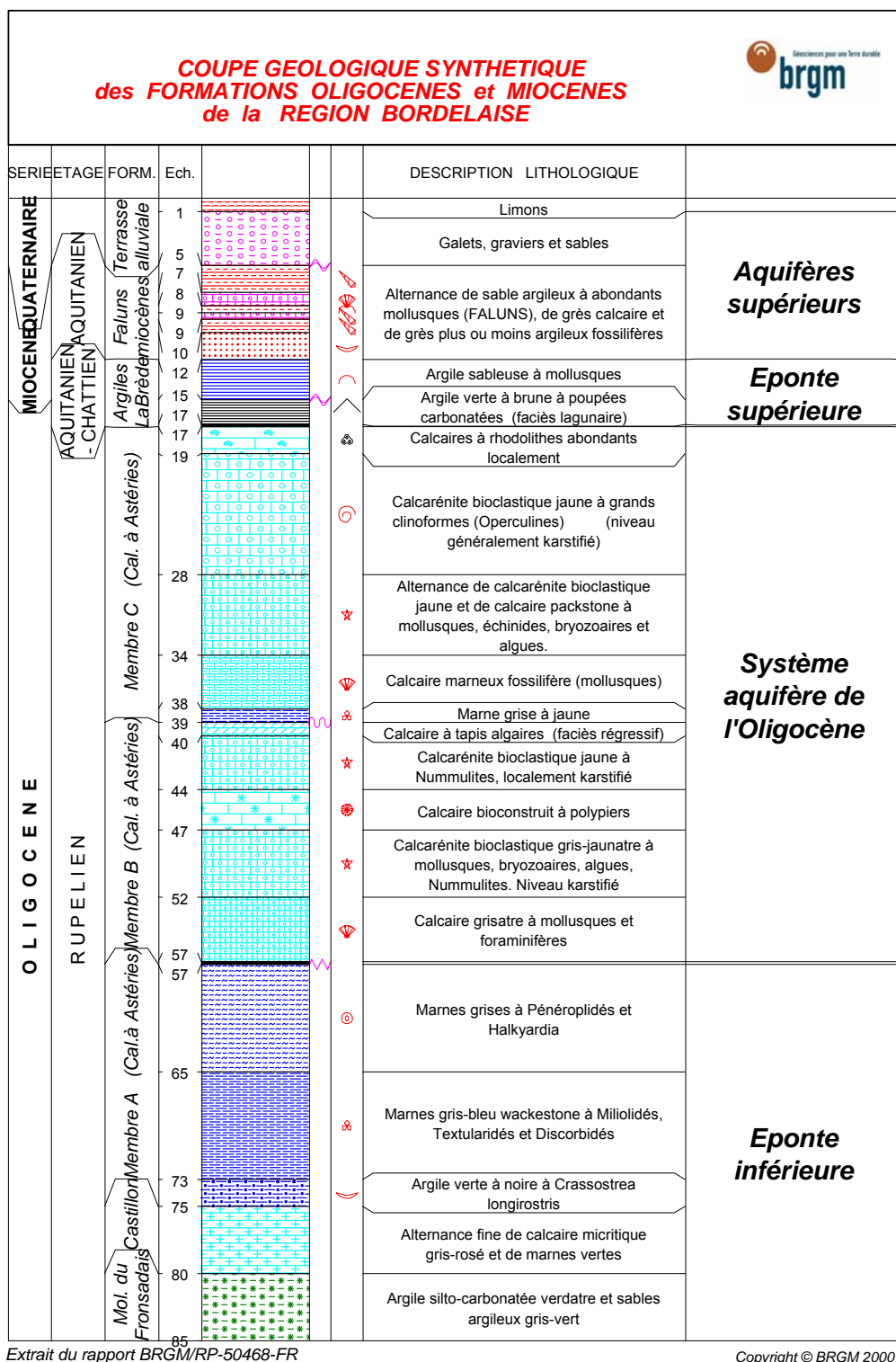


Figure 2 : Coupe lithostratigraphique synthétique de l'Oligocène et de ses terrains de recouvrement dans la région bordelaise [Platel et al., 2000]

Les Molasses du Fronsadais sont surmontées par la **Formation de Castillon** qui est constituée de calcaires micritiques gris rosé, alternant avec des marnes vertes et des niveaux argileux à nodules de calcaire, déposés en environnement lacustre. Son épaisseur est faible (environ 1 à 5 m) car elle a été souvent érodée par la transgression marine du Rupélien.

2.1.2. L'Oligocène inférieur (Rupélien)

La **Formation du Calcaire à Astéries**, plus récente, est composée de trois membres (A, B et C). Elle correspond à une transgression marine majeure qui s'est déroulée en deux épisodes successifs séparés d'une phase régressive ([Cassoudebat et al., 1972] ; [Pratviel, 1972] ; [Gayet, 1985] ; [Platel et al., 2000]).

L'éponte inférieure de l'aquifère oligocène est formée par le Membre A.

Ce dernier correspond à une assise de calcaires marneux fins, de teinte grise à gris-bleu, riches en foraminifères, déposée dans des paléo-environnements de baie protégée ou de zones lagunaires (= ex *Sannoisien* des auteurs). Localement, cette assise peut débiter par un mince niveau d'argiles vertes à noires à *Crassostrea longirostris* ([Gayet, 1985] ; [Alvinerie et al., 1977]). Vers l'ouest du secteur d'étude, ce membre est représenté par des marnes grises à pénéroplidés et *Halkyardia*, déposées en environnement de plate-forme proximale à moyenne et aussi appelées "Calcaires à *Archiacines*" par certains auteurs.

La partie réservoir est constituée par les membres supérieurs B et C de la Formation du Calcaire à Astéries.

Le **Membre B** correspond à l'assise médiane du Rupélien carbonaté. Il est liée à une transgression plus affirmée que la précédente pendant laquelle se sont déposés, sur une vingtaine de mètres, des calcaires de texture grainstone, bioclastiques, gris à jaunes (ou calcarénites) dont les éléments clastiques sont principalement des foraminifères, des bryozoaires, des polypiers, des algues et des mollusques [Alvinerie et al., 1977]. La fin de la grande séquence A-B du Rupélien correspond à des assises massives de calcaires bioclastiques jaunes à nummulites à stratifications obliques qui progradent en direction de l'ouest. L'épisode régressif, qui termine le membre médian du Rupélien, se caractérise localement par un calcaire peu épais à tapis algaires. La base du **Membre C** est représentée par quelques mètres de marnes et de calcaire marneux. L'assise supérieure est surtout constituée par des calcaires de texture "grainstone" bioclastiques gris blanc parfois jaunâtres, très fossilifères comprenant de nombreux débris d'échinodermes, de lamellibranches, de foraminifères et de bryozoaires. Ces calcaires massifs à stratifications obliques, qui représentent les couches progradantes déposées pendant le haut niveau marin, sont organisés en grands cliniformes. Au sommet du membre, des calcaires à rhodolites abondants se sont localement déposés.

2.1.3. L'Oligocène supérieur (Chattien) et le Miocène inférieur (Aquitaniens basal)

L'éponte supérieure de l'aquifère oligocène est constituée par les assises perméables du Chattien et de l'Aquitaniens basal.

Le **Chattien** est constitué de marnes et d'argiles (*Marnes de Sainte-Christine* ou *Argiles de La Brède* selon les auteurs) qui témoignent de la très importante régression marine connue au début du Chattien (baisse du niveau de l'océan mondial de 150 m environ). Leur épaisseur ne dépasse toutefois pas 5 mètres. Le caractère lagunaire des dépôts est très marqué avec des faciès d'argiles vertes à nodules carbonatés (poupées) et de fréquentes marmorisations pédogénétiques ocres mais cet horizon est souvent absent dans les forages profonds ou à l'affleurement, du fait de l'érosion liée à la transgression miocène ou de la mise en place des terrasses alluviales de la Garonne.

L'**Aquitaniens basal** est représenté par des argiles sableuses bleu verdâtre à mollusques qui correspondent aux faciès de la première transgression miocène. Ces assises constituent la partie supérieure de l'éponte des réservoirs oligocènes. Toutefois, elles n'existent pas partout. Le cas échéant, l'éponte du réservoir est alors uniquement constituée par les argiles et les marnes du Chattien.

2.2. CONTEXTE STRUCTURAL

2.2.1. Failles

Le domaine septentrional du Bassin aquitain est caractérisé par des accidents tectoniques (pli ou failles) peu complexes de direction hercynienne.

La **faille de Bordeaux** (Figure 3) constitue un des principaux accidents du secteur d'étude. Elle a été mise en évidence par les différences de cote des formations mésozoïques observées sous l'agglomération bordelaise. Son rejet au toit du Crétacé serait de 100 m au minimum [Platel, 1987]. Son tracé passe le long de la vallée de la Garonne entre Langon et Bordeaux, puis s'infléchit vers le nord-ouest en direction de Sainte-Hélène-Brach.

Cette grande faille normale a principalement joué en distension au Crétacé inférieur puis en compression à tendance décrochante à certaines périodes du Crétacé supérieur et durant l'Eocène. La faille étant ensuite de moins en moins active, la sédimentation n'a fait qu'en atténuer les effets. Ainsi à l'Oligocène, la faille ne correspond qu'à une flexure à jeu syn-sédimentaire. Des différences d'altitude au niveau de formations synchrones entre le plateau de Bouliac et la ville de Bordeaux attestent par contre de jeux miocènes. Dans le bloc effondré situé au sud-ouest de la faille, il existe un réseau de failles subparallèles qui se présentent sous forme de faisceau et qui attestent d'un jeu décrochant [Platel, 1987]. Elles délimitent des lanières constituées de horsts et de grabens à raccords obliques avec la faille majeure de Bordeaux.

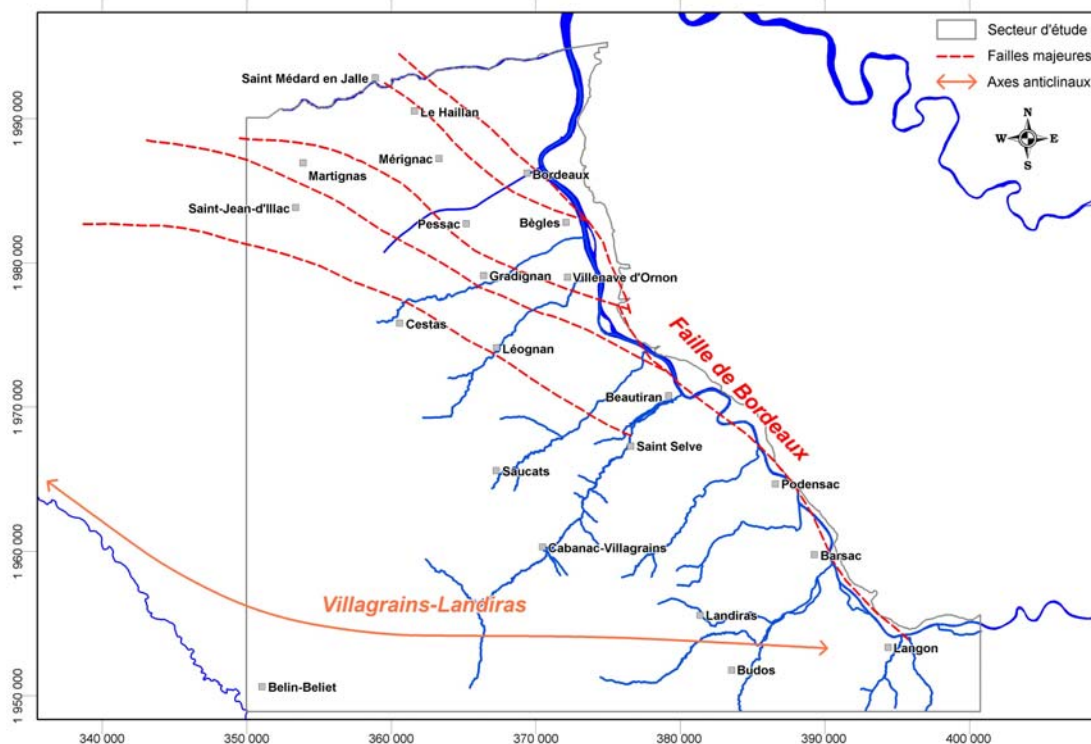


Figure 3 : Schéma structural de la zone d'étude

2.2.2. Anticlinaux

La structure de Villagrains-Landiras est localisée à une trentaine de kilomètres au sud de Bordeaux (Figure 4). Orienté selon un axe WNW-ESE, la présence de cet anticlinal a été mise en évidence par l'existence d'affleurements crétacés dans les lits des ruisseaux recoupant l'axe de la structure ([Raulin, 1854] ; [Tournouer, 1862] ; [Linder, 1873] ; [Benoist, 1885] ; [Fallot, 1892] ; [Daguin, 1941] ; [Lubet, 1948] ; [Vigneaux, 1950] , [Vigneaux, 1951] , [Vigneaux, 1953] ; [Blanc, 1973] ; [Alvinerie et Gayet, 1973]).

Les calcaires marneux du Campanien supérieur affleurent de façon très discrète dans le lit du Gat-Mort à Villagrains, tandis que dans le lit du Tursan, à proximité de Landiras, sont rencontrés les calcaires karstifiés du Maastrichtien supérieur.

La reconstitution de l'histoire tectonique de l'anticlinal de Villagrains-Landiras indique que l'exhaussement principal de cette structure s'établit à la fin de l'Éocène inférieur.

Durant l'Éocène moyen, l'érosion semble avoir été très active surtout à l'ouest où le Miocène vient au contact direct du Cénomaniens (sondage pétrolier de Saint-Magne 1 et sondages 08515X0052 et 08511X0219). Ce secteur constituant le cœur de la structure ([Saltel, 2008], [Platel et Serrano, 2008]).

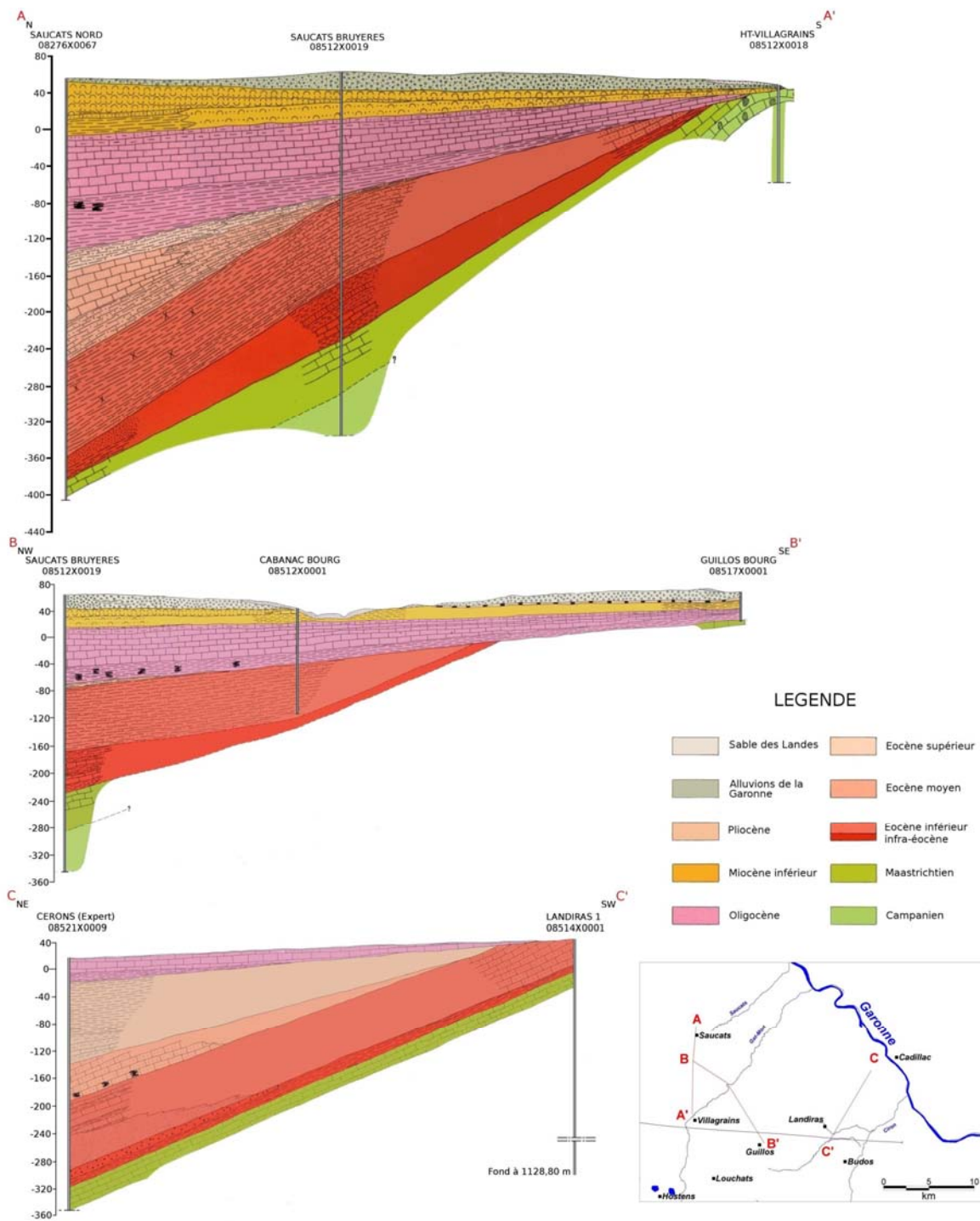


Figure 4 : Coupes géologiques du flanc nord de la structure de Villagrains-Landiras (Alvinerie et Gayet, 1973)

Durant l'Oligocène, la structure a été de nouveau submergée. La faible épaisseur des formations rupéliennes doit être imputée à une érosion postérieure. En effet, un peu au nord de Villagrains, c'est l'Aquitainien lacustre qui vient recouvrir les argiles infra-éocènes et à Saint-Magne, le Miocène de faciès littoral est directement au contact du Cénomaniens. Une érosion post-stampienne est probable. La fin de l'Oligocène et le début du Miocène ont dû être marqués par une nouvelle phase de surrection suivie d'une nouvelle phase d'érosion. Le Miocène est très peu épais sur l'axe de la structure et présente des faciès régressifs. Au Pliocène et au Quaternaire, les dépôts détritiques sont venus recouvrir la quasi-totalité de la structure [Blanc, 1973]. Les coupes présentées en Figure 4 (ci-dessus) résument la géométrie des formations du sommet du Crétacé supérieur au Pliocène sur le flanc nord de la structure de Villagrains-Landiras.

2.3. HYDROGEOLOGIE

Le système aquifère de l'Oligocène est constitué par les membres supérieurs de la Formation du calcaire à Astéries. Le réservoir occupe une large étendue dans la partie ouest du Bassin aquitain. Au droit du secteur d'étude, l'aquifère est limité vers l'est par la rive gauche de la Garonne. La nappe de l'Oligocène se trouve perchée sur un ensemble imperméable au droit de l'Entre-Deux-Mers (rive droite de la Garonne), et constitue ici un système isolé, bien délimité par le réseau hydrographique encadrant. A l'ouest de la Garonne, les calcaires de l'Oligocène sont affleurants ou sub-affleurants sous un recouvrement alluvial peu épais. Dans ce secteur, la nappe est libre et en communication directe avec les nappes sus-jacentes. En direction de l'ouest, le réservoir est rencontré en forage à des profondeurs croissantes, recouvert par les marnes et argiles oligo-miocènes et les sables argileux miocènes et quaternaires. La nappe devient alors captive (Figure 5).

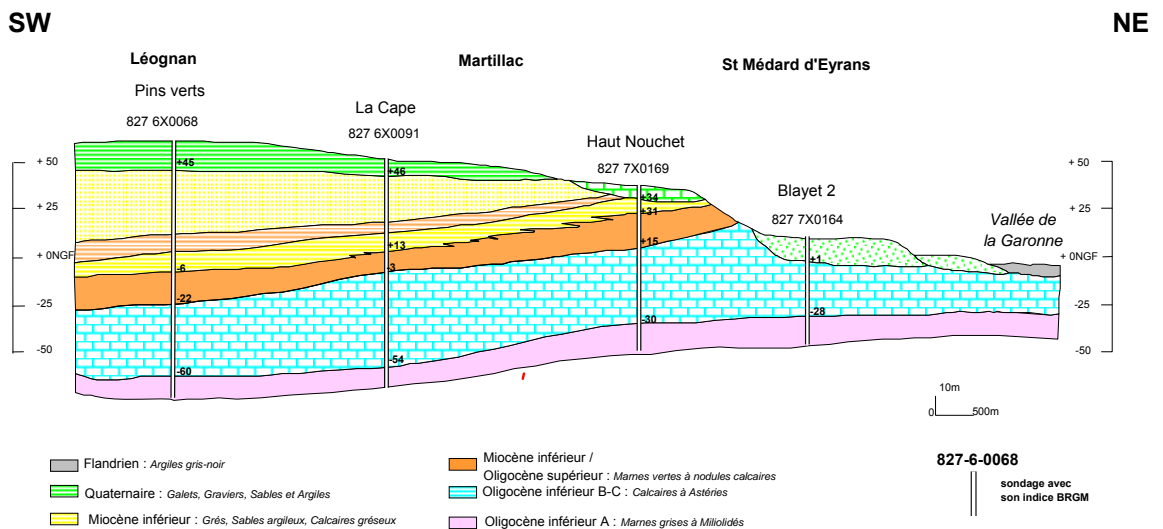


Figure 5 : Coupe représentative du réservoir oligocène (Platel et al., 2000)

2.3.1. Caractéristiques hydrodynamiques

Les caractéristiques hydrodynamiques de cet aquifère sont très variables car dépendantes de l'état d'érosion et de karstification des terrains qui peuvent induire des vitesses de circulation des eaux souterraines localement importantes.

Les perméabilités mesurées sur la zone d'étude varient dans une large gamme allant de $3.10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ à $2,4.10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$. Les valeurs de perméabilité peuvent être regroupées en deux ensembles, centrés autour de $2.10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ et $2.10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$ (Figure 6), toutefois, la répartition spatiale de ces valeurs ne montre pas d'organisation nette [Larroque, 2004]. On note simplement que les valeurs les plus fortes sont observées au droit des affleurements oligocènes et tout particulièrement près des ruisseaux du Saucats et du Gat-Mort du fait de l'importance locale de la karstification.

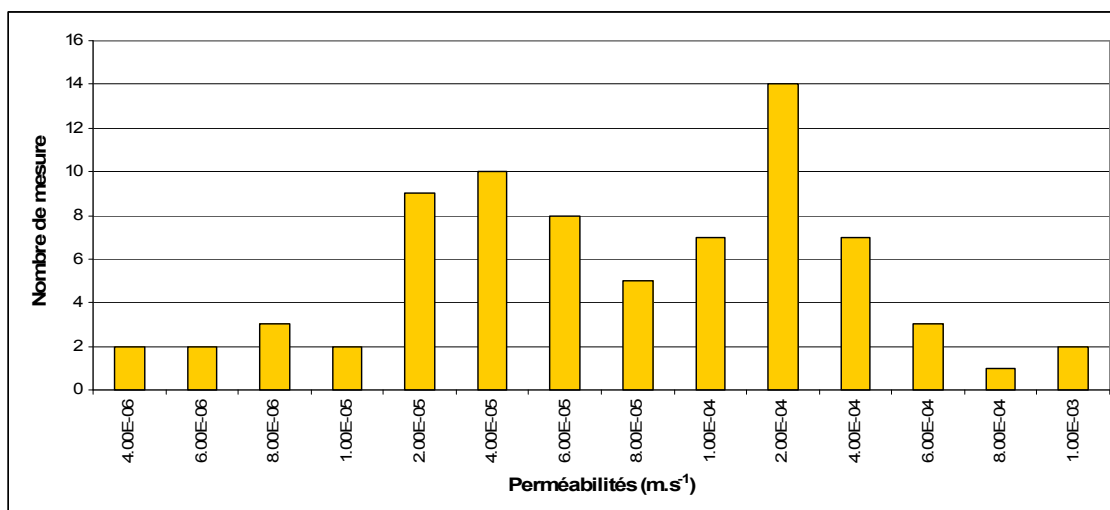


Figure 6 : Répartition des perméabilités mesurées dans le secteur d'étude pour l'aquifère oligocène

Les valeurs de coefficient d'emmagasinement disponibles sont quant à elles peu nombreuses et concernent essentiellement les secteurs de Bordeaux et d'Arcachon. Elles sont de l'ordre de 1.10^{-5} à 3.10^{-4} pour la partie captive.

2.3.2. Alimentation de la nappe

Les secteurs où les formations aquifères oligocènes sont affleurantes à sub-affleurantes correspondent à des aires d'alimentation dans lesquelles un mélange s'opère entre les eaux plus anciennes (ayant alimenté la nappe il y a plus de 50 ans) et les eaux actuelles comme le confirment les mesures de tritium [Hosteins, 1982]. Dans ce même domaine, où l'aquifère est très transmissif, la nappe est également fortement drainée par le réseau hydrographique qui constitue l'exutoire majeur du système à l'est.

Par ailleurs, les phénomènes de drainance en relation avec les aquifères sus-jacents ont un rôle prépondérant dans l'alimentation de l'aquifère de l'Oligocène. Le Médoc est vraisemblablement le siège d'échanges importants entre les aquifères du Miocène et de l'Oligocène (Figure 7). La comparaison de la piézométrie des deux nappes révèle une forte similitude dans la forme des isopièzes. Les hauteurs piézométriques mesurées sur une même verticale étant plus fortes pour la nappe du Miocène que pour celle de l'Oligocène.

De même, une alimentation par l'intermédiaire des aquifères de l'Éocène et du Crétacé supérieur est probable au droit de la structure de Villagrains-Landiras.

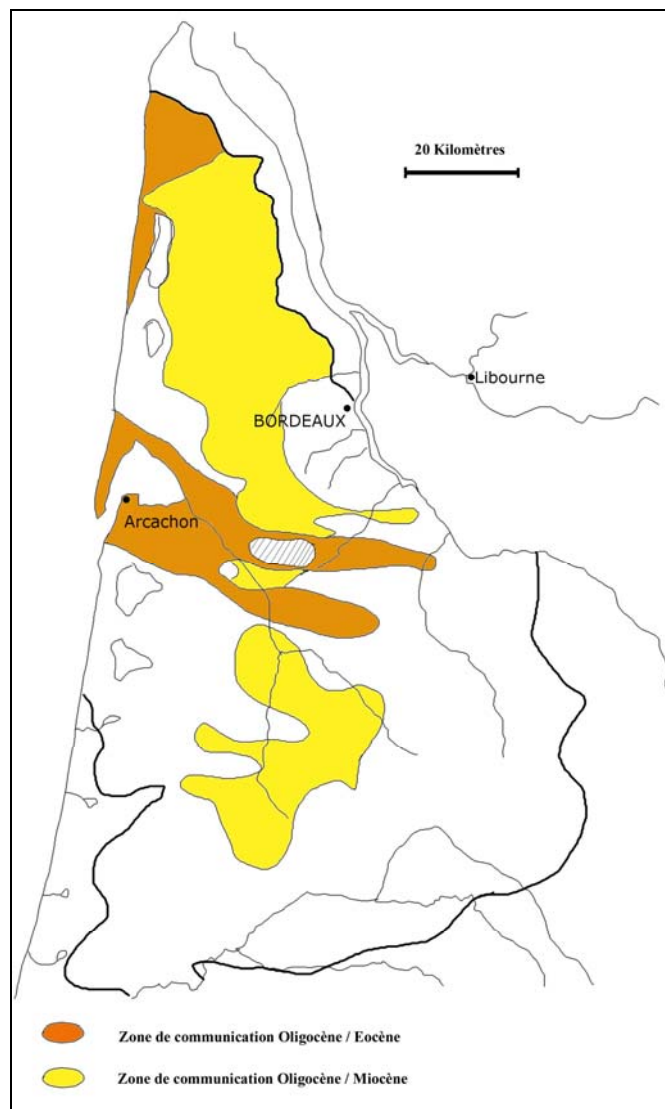


Figure 7 : Zones de communications potentielles entre l'aquifère de l'Oligocène et les aquifères encadrant (Hosteins, 1982)

2.3.3. Piézométrie

A l'ouest du secteur étudié existe un domaine, orienté selon un axe nord-sud, caractérisé par des potentiels plus élevés qui vient séparer les écoulements orientés vers l'océan Atlantique d'une part et ceux dirigés vers la Garonne d'autre part. Dans cette partie orientale qui nous intéresse plus particulièrement, le modelé piézométrique est fortement influencé par le réseau hydrographique et les gradients hydrauliques observés sont plus élevés qu'à l'ouest (5 ‰ contre 2 ‰ environ). Les rivières viennent en effet drainer la nappe de l'Oligocène, soit directement soit par l'intermédiaire des alluvions de la Garonne. Ceci est particulièrement vrai pour les ruisseaux de la Jalle-St-Médard, du Saucats et du Ciron [Singo, 1981]. Au fil des ans, l'exploitation de la nappe pour l'alimentation en eau potable a fortement modifié la distribution des isopièzes. La comparaison de la piézométrie de 1975, pouvant être considérée comme un état initial [Chamayou et Heng, 1975], avec celle de 2000 [Schnebelen et al., 2001] traduit bien l'effet des prélèvements. Une dépression orientée selon un axe nord-sud s'est progressivement dessinée au nord de Saucats (Figure 8).

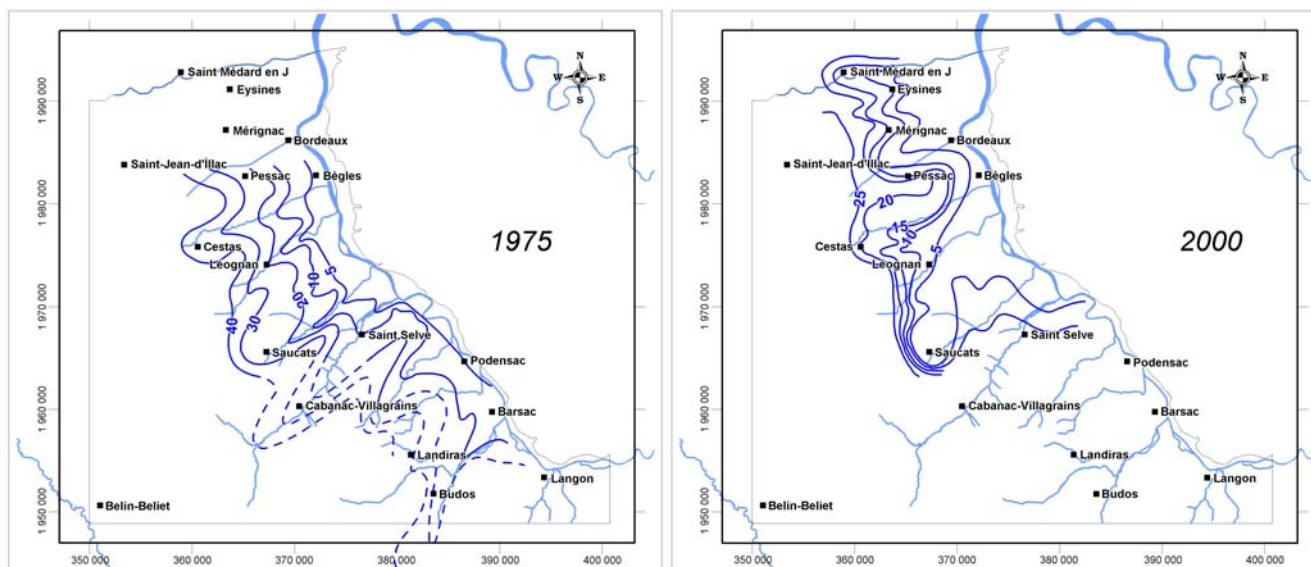


Figure 8 : Comparaison des piézométries dressées en 1975 (Chamayou et Heng, 1975) et 2000 (Schnebelen et al., 2001).

L'examen de l'évolution du tracé de l'isopièze +10 m NGF de 1975 à 2005 met en évidence deux zones de recul (Figure 9) :

- La première, et la plus ancienne, est localisée au sud de Bordeaux, entre Léognan et Saucats. Elle correspond à la ligne des « 100 000 m³/jour » (ensemble d'une dizaine d'ouvrages orienté selon un axe nord-sud servant à l'alimentation en eau potable de la CUB). L'exploitation de cet ensemble a induit, à partir de 1975, la formation d'une dépression ;
- La seconde est située à l'ouest de Bordeaux entre Eysines et Mérignac. Elle s'est formée à partir de 1995 ;

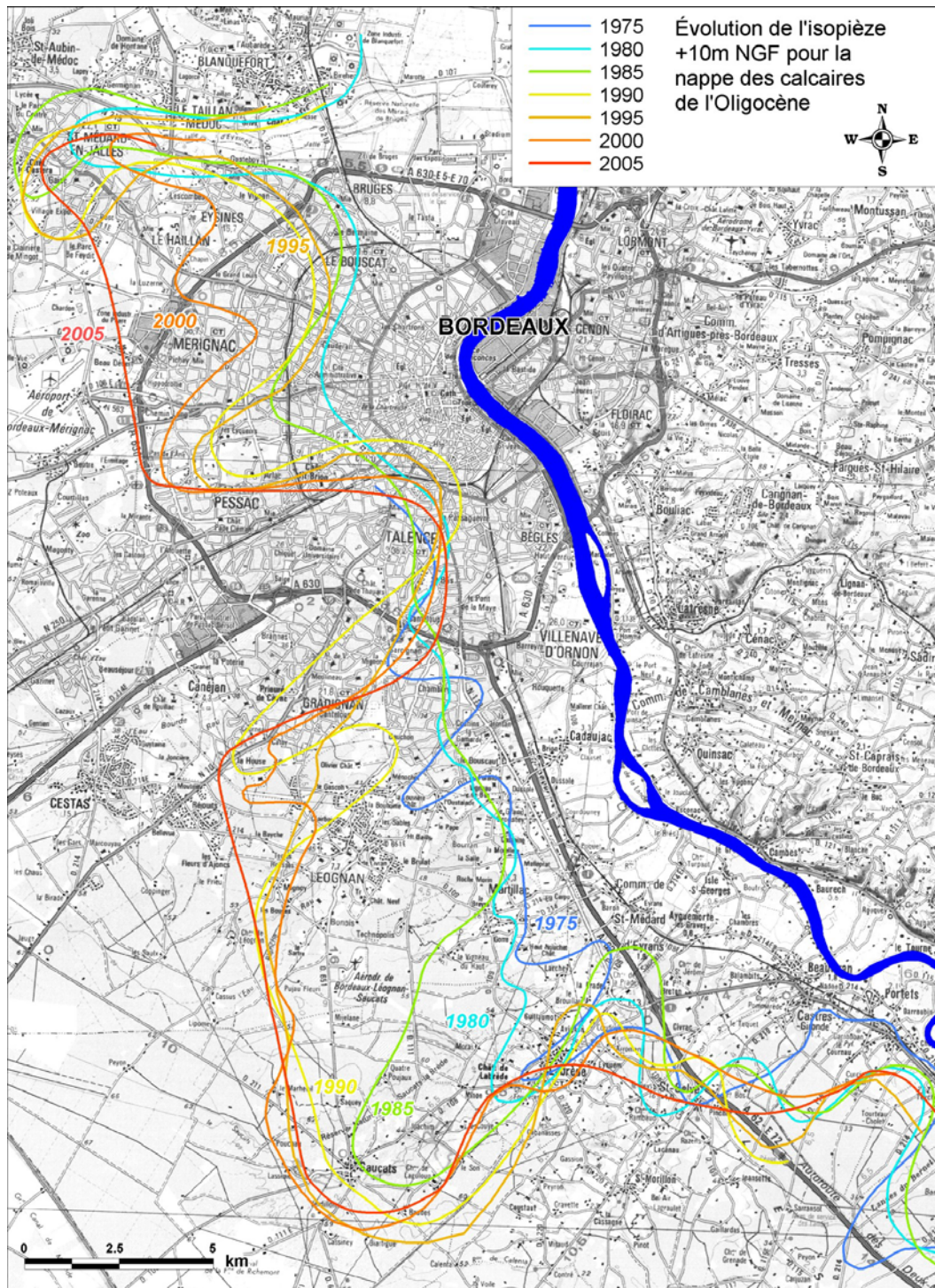


Figure 9 : Évolution de la piézométrie de la nappe de l'Oligocène dans la région Bordelaise entre 1975 et 2005 (source rapports BRGM « Contrôle qualité et gestion des nappes d'eau souterraines en Gironde » [Chamayou et Heng, 1975], [Bellegarde et al., 1980], [Bonnerly et Sourisseau, 1986], [Bonnerly et Sourisseau, 1991], [Bonnerly et Mauroux, 1996], [Schnebelen et al., 2001])

2.3.4. Exutoires

A l'ouest, la Garonne et ses affluents (Jalle, Saucats, Ciron) drainent la nappe oligocène qui émerge en de nombreuses aires d'exutoire le long de ces cours d'eau.

Par ailleurs, près de 116 sources ont été recensées en rive gauche de Garonne et de Gironde de Langon à Lesparre-Médoc [Schnebelen et al., 2002]. Présentant des débits variables, ces émergences constituent une forme majeure d'exutoire pour la nappe oligocène. Les sources les plus importantes sont celles de Budos, de Gamarde, de Thil, de Bussaguet et de Bellefond. Les débits naturels de ces sources restent difficilement quantifiables du fait des aménagements effectués pour l'alimentation en eau potable de l'agglomération bordelaise. Les débits mesurés aux sources non exploitées pour l'alimentation en eau potable sont particulièrement hétérogènes (Tableau 2).

Source	Lieu	Débit (m ³ /h)
Dame Houn	Saint-Selve	30
Nodoy&Virelade	Virelade	63
Lavoir	Podensac	Entre 300 à 600
Barthe	Cérons	40
Chateau Barthe	Cérons	20
Chateau Saint-Cricq	Cérons	Entre 150 et 200
Lavoir	Illats	16
Moulin	Budos	28

Tableau 2 : Débit naturel de quelques sources oligocènes non exploitées (Schnebelen, 2002)

Les sources de Budos, localisées au sud-est de Bordeaux en rive gauche du Ciron drainent l'aquifère des calcaires karstifiés de l'Oligocène affleurant au sud-est de la structure de Villagrains-Landiras à coeur crétacé. Un jaugeage effectué en période d'étiage en 1884 [Pélissier-Hermitte, 2006] avait mis en évidence un débit supérieur à 1 100 m³/h. En 2001, les sources de Budos ont fourni un débit moyen de 28 800 m³/jour. Le débit de ces sources, et notamment celles de Budos, est influencé par les fluctuations climatiques. Les jaugeages effectués en septembre et octobre 2000 par le BRGM sur la source de Fontbanne à Budos montrent que les débits sont de l'ordre de 1 200 m³/ h [Schnebelen et al., 2002]. L'impact des variations saisonnières est visible sur les chroniques d'évolution de la conductivité et du fer.

Les apports météoriques se répercutent également sur l'activité en tritium (3 UT) de l'eau issue de la source [Chery et Gadalia, 2001].

2.3.5. Géochimie

Les eaux de l'Oligocène sont caractérisées par un faciès bicarbonaté calcique à minéralisation modérée. Les eaux sont de bonne qualité, mais localement vulnérables aux pollutions.

En effet, dans les secteurs où les formations aquifères oligocènes sont affleurantes à sub-affleurantes, des concentrations en nitrates élevées peuvent être rencontrées. Ces zones correspondent à des aires d'alimentation dans lesquelles un mélange s'opère entre les eaux plus anciennes (ayant alimenté la nappe il y a plus de 50 ans) et les eaux actuelles.

Des traçages effectués sur les ruisseaux du Monastère, de la Jalle de Saint-Médard, et du Saucats, mettent en évidence une alimentation de la nappe par les rivières pouvant entraîner une dégradation de la qualité de l'eau de la nappe [Schnebelen et al., 2002].

La température des eaux de la nappe oligocène varie entre 13,5°C et 18°C selon les profondeurs de captage.

Les conductivités sont comprises entre 200 et 600 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ dans la zone captive alors que dans les secteurs où la nappe est sub-affleurante et à proximité du littoral, les valeurs mesurées peuvent être plus fortes.

2.4. APPROCHE QUALITATIVE

Dans la première phase de l'Atlas des Zones à Risques, un inventaire des effets potentiels du dénoyage sur la qualité de l'eau avait été dressé :

- la chute du débit d'un cours d'eau, liée à une diminution de l'alimentation par des eaux souterraines de bonne qualité, peut avoir pour conséquence directe une dégradation de la qualité de l'eau. C'est en particulier le cas quand le débit n'est plus suffisant pour assurer une bonne dilution de certains effluents (cas des rejets de station d'épuration par exemple).
- l'inversion des sens d'écoulement et les phénomènes de drainance associés peuvent conduire à la contamination de l'aquifère par des eaux de moins bonne qualité en provenance de la surface et/ou des réservoirs sus-jacents accroissant de ce fait la vulnérabilité de l'aquifère aux pollutions. De la même façon, l'augmentation des phénomènes de drainance peut entraîner le lessivage d'éléments minéraux naturels indésirables en provenance des épontes (chlorures, sulfates...).
- la désaturation partielle du réservoir accompagnant un dénoyage local (au droit d'un forage en pompage) ou plus généralisé, aura pour effet de modifier les équilibres physico-chimiques au sein de la nappe. Parmi les phénomènes susceptibles de se produire suite à un dénoyage, on citera les phénomènes d'oxydation (par exemple du fer présent dans l'aquifère oligocène), de développement bactérien ou l'arrêt de la dénitrification.

Afin de mettre en évidence l'influence éventuelle du dénoyage du réservoir Oligocène sur la qualité des eaux souterraines, une analyse des données chimiques disponibles a été menée sur les paramètres jugés les plus pertinents :

- **conductivité** : le passage de la nappe de l'état captif à l'état libre peut s'accompagner d'une infiltration d'eaux superficielles minéralisées et ainsi conduire à une augmentation de ce paramètre ;
- **nitrate** : d'une part, le dénoyage engendre une oxygénation du milieu qui inhibe l'activité des bactéries intervenant dans la dénitrification ; d'autre part, des eaux nitratées sont susceptibles de s'infiltrer vers la nappe devenue libre d'où un accroissement possible des teneurs ;
- **fer** : l'oxygénation du milieu engendre des réactions d'oxydo-réduction et la mise en solution des oxy-hydroxydes de fer.

Deux démarches ont été adoptées :

- la première a consisté à étudier la répartition spatiale des teneurs à une date t sur la soixantaine de qualitomètres implantés dans la zone d'étude (Figure 10),
- la seconde s'appuie sur l'évolution des teneurs observées dans les 2 forages situés au droit des zones dénoyées entre 1980 et 2005. Le premier se situe au nord de la zone étudiée sur la commune de Mérignac (« Parc », 08035X0337), le second, au sud, sur la commune de Saucats (« Moulin Laguès », 08276X0090) (Figure 10).

Il convient de noter que dans les 2 cas, la zone dénoyée présente une faible extension autour de l'ouvrage. Dans le cas du forage de Mérignac, l'échelle de représentation retenue ne permet même pas de la distinguer.

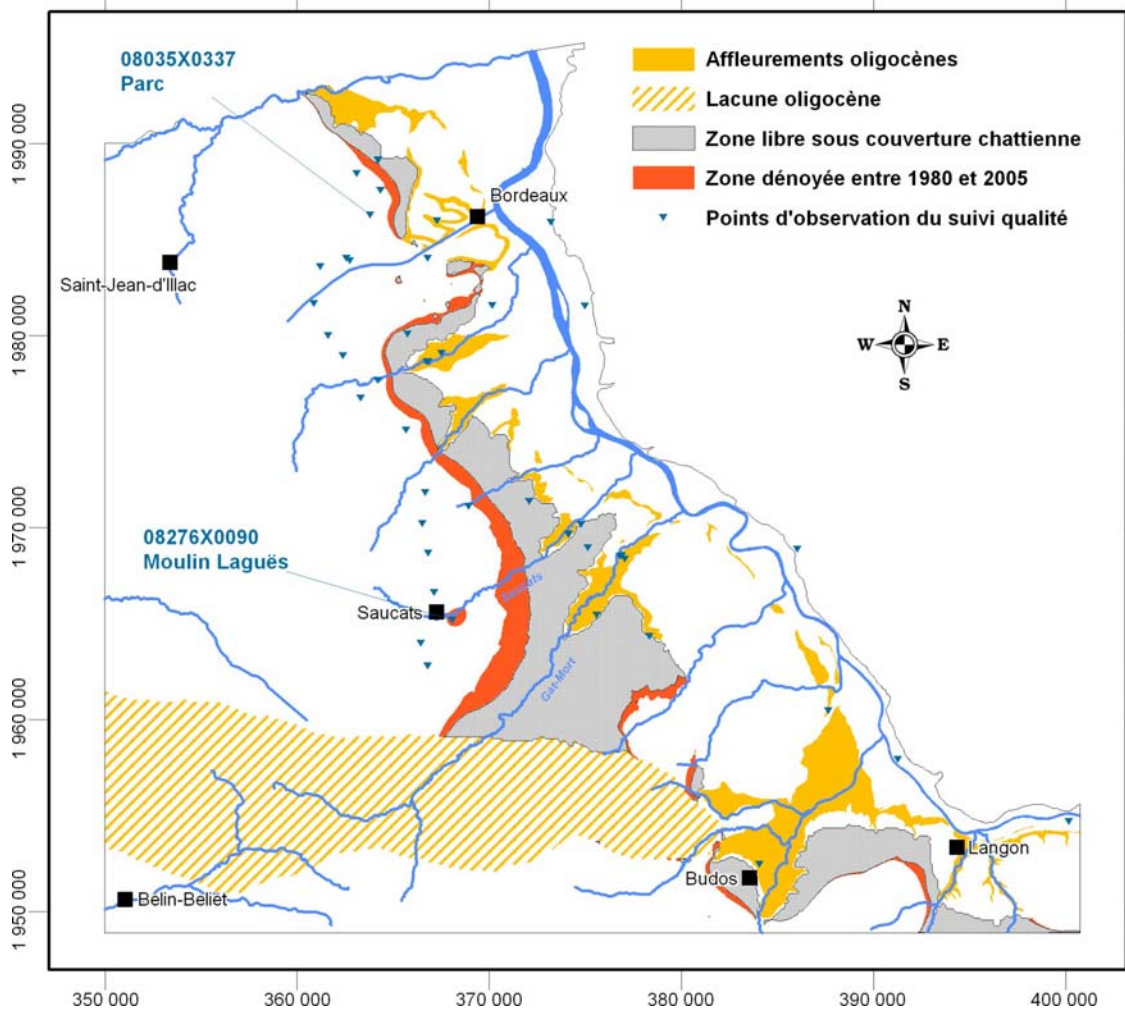


Figure 10 : Localisation des qualitomètres sur la zone d'étude.

2.4.1. Conductivité

Analyse spatiale des conductivités mesurées en 2006

L'analyse spatiale des conductivités mesurées au cours de l'année 2006 (Figure 11) montre que :

- la partie captive de la nappe se caractérise par des valeurs comprises entre 400 et 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au nord et entre 200 et 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au sud,
- la partie libre de la nappe se caractérise par des valeurs comprises entre 200 et 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ au droit de la zone sous couverture chattienne et des affleurements et par des valeurs encore plus élevées à proximité de la Garonne.

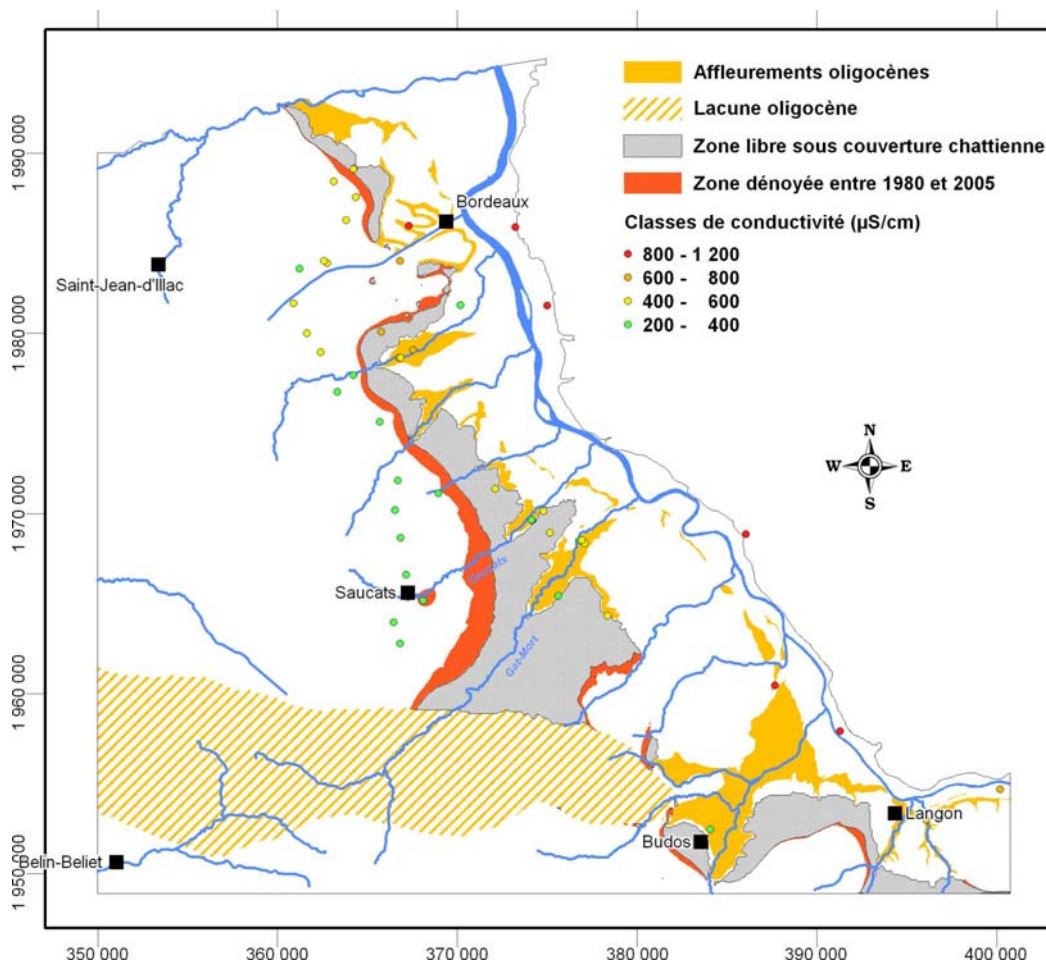


Figure 11 : Mesures de la conductivité en 2006.

Cette première analyse met donc en évidence des disparités au sein même de la zone captive.

Dans la partie sud, les différences observées entre la partie captive et la partie libre semblent montrer une plus grande vulnérabilité de la partie libre bien que des conductivités comprises entre 400 et 600 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ne soient pas forcément synonymes de contamination. Aux abords de la Garonne, la contamination de la nappe semble plus avérée.

Evolution des conductivités dans les zones dénoyées du réservoir Oligocène

Les chroniques de conductivité (Figure 12) permettent d'identifier une possible corrélation entre le dénoyage du réservoir et l'augmentation de ce paramètre.

On observe en effet une tendance à l'augmentation au cours du temps des valeurs pour les forages 08276X0090 et 08035X0337 (ouvrages ayant été identifiés comme ayant subi un dénoyage).

On notera que l'augmentation est un peu plus marquée pour l'ouvrage 08276X0090 (Moulin Laguës). Ceci pourrait s'expliquer par l'extension de la zone dénoyée autour du forage qui est plus grande que dans le cas du forage du Parc à Mérignac (08035X0337). Il faut néanmoins rester prudent quant à l'interprétation de ces graphiques car les hausses observées restent faibles et seraient encore plus atténuées si l'on excluait les points extrêmes

Bilan

Les conductivités observées mettent en évidence de fortes valeurs aux abords de la Garonne. Ailleurs, des différences sont observées mais elles peuvent exister au sein de la même partie de la nappe.

Les mesures effectuées lors des 20 dernières années sur les forages de Moulin Laguës et du Parc montrent une augmentation de la conductivité. Néanmoins, les hausses observées restent faibles et seraient encore plus atténuées si l'on excluait les points extrêmes.

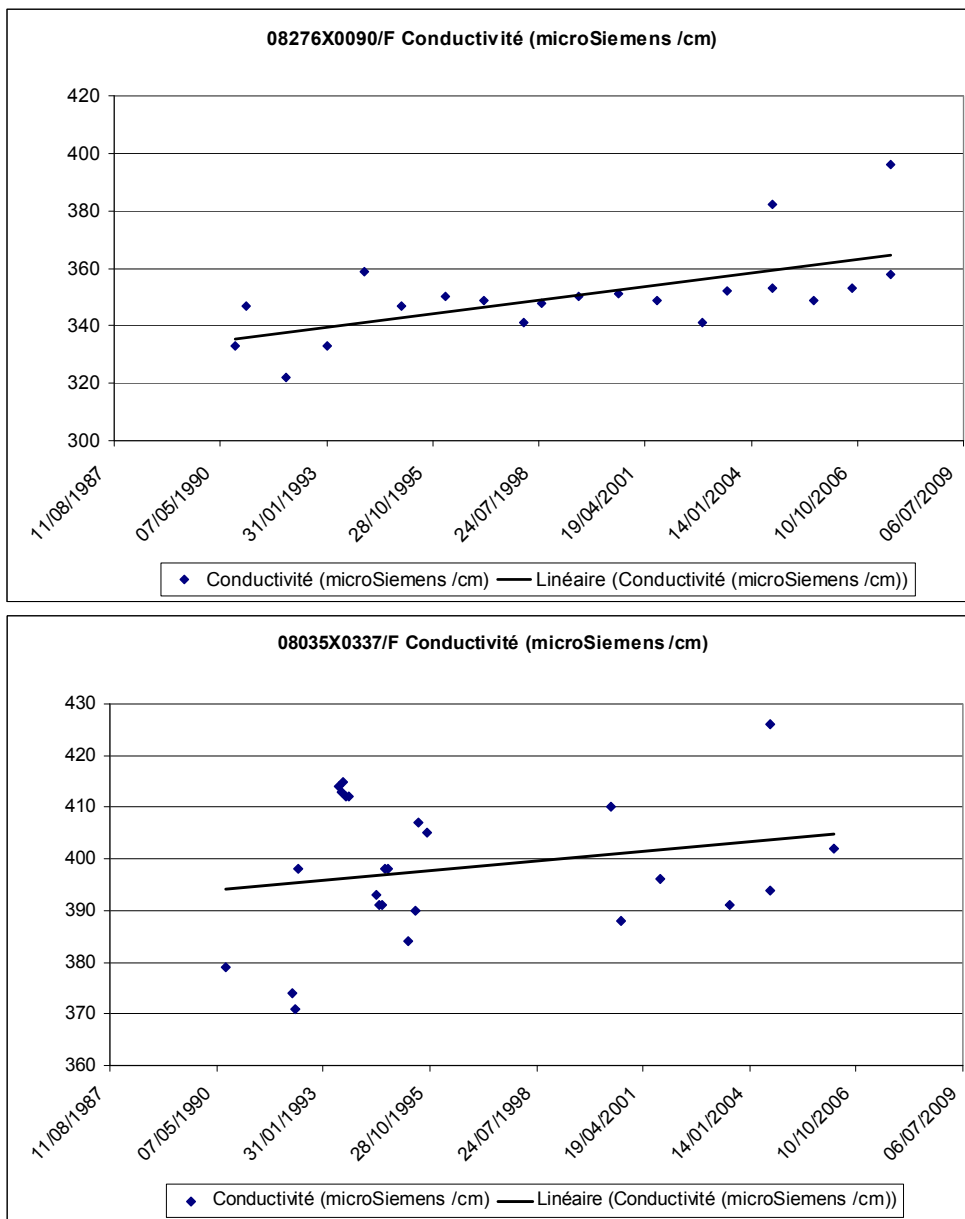


Figure 12 : Evolution de la conductivité sur les forages « Parc » (08035X0337) et « Moulin Lagues » (08276X0090)

2.4.2. Nitrates

Analyse spatiale des concentrations en nitrates mesurées en 2006

L'examen des teneurs en nitrates (Figure 13) montre que la partie captive se caractérise par des teneurs systématiquement inférieures à 1 mg/l à l'exception d'un point présentant une teneur comprise entre 5 et 10 mg/l et la partie libre, par des teneurs pouvant être supérieures à 25 mg/l. Sur cette dernière zone, les teneurs sont toutefois généralement inférieures à 10 mg/l.

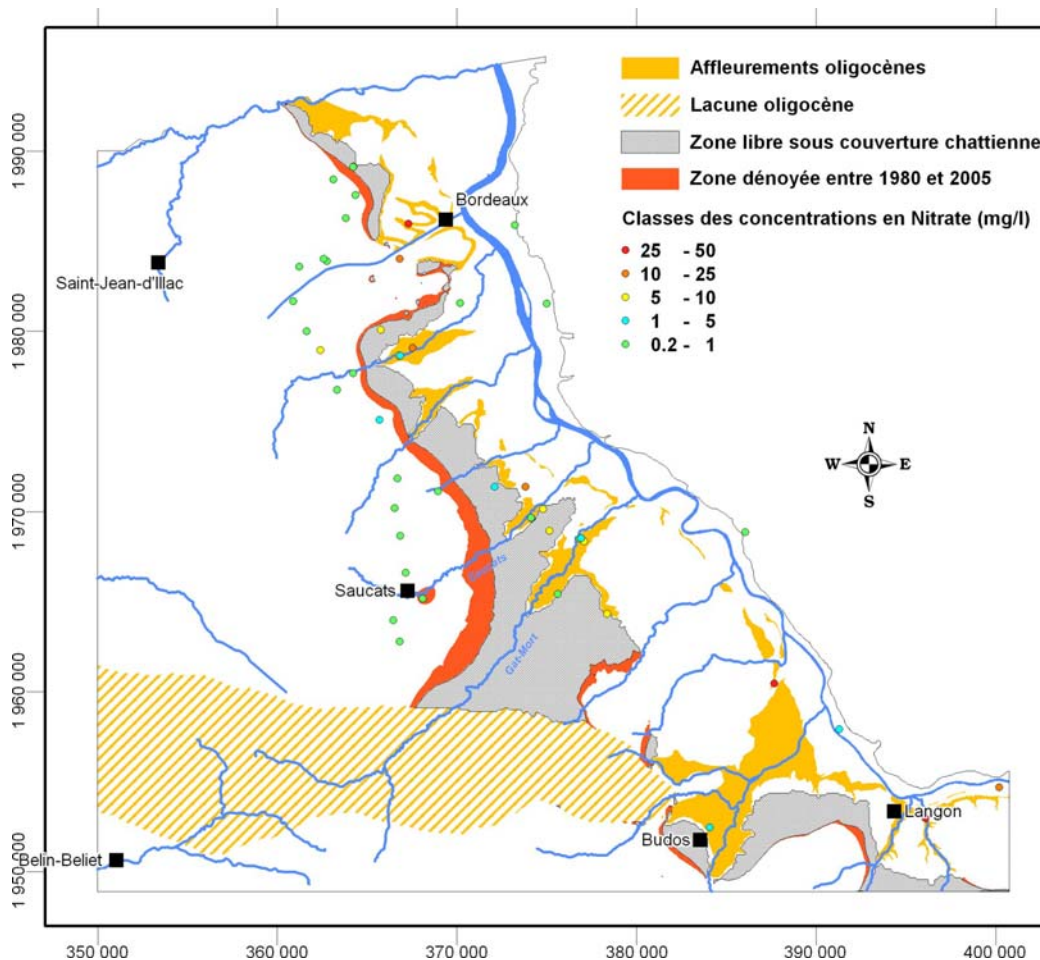


Figure 13 : Teneurs en nitrates mesurées en 2006.

Evolution des concentrations en nitrates dans les zones dénoyées du réservoir Oligocène

Les teneurs relatives aux 2 ouvrages ayant subi un phénomène de dénoyage sont très faibles (inférieures à 1 mg/l) et trop peu nombreuses pour que des tendances puissent être identifiées (Figure 14).

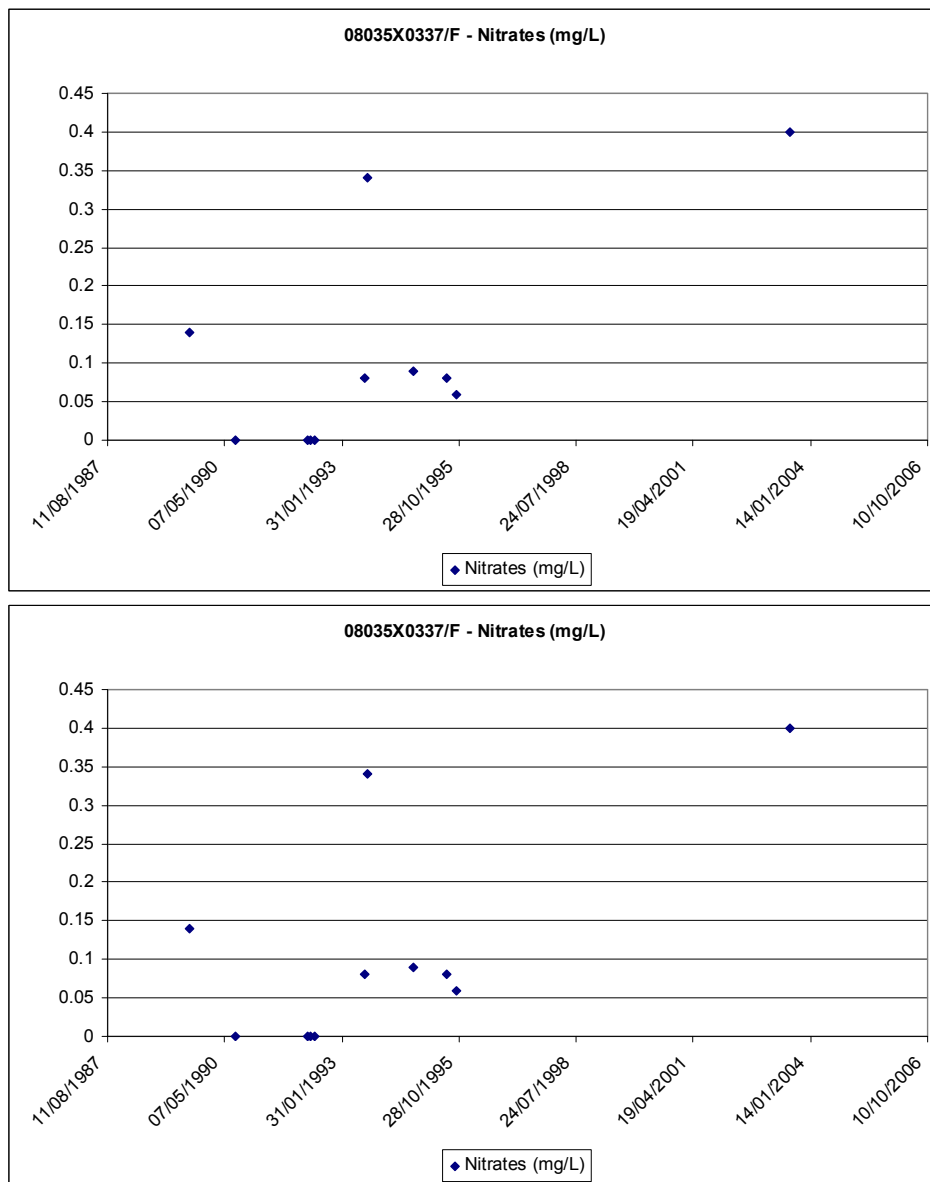


Figure 14 : Evolution des teneurs en nitrates sur les forages « Parc » (08035X0337) et « Moulin Lagues » (08276X0090)

Bilan

L'examen des teneurs en nitrates a permis de montrer que ces dernières étaient a priori plus élevées sur la partie libre que sur la partie captive mais aucune tendance n'a pu être mise en évidence sur les graphes d'évolution relatifs aux points ayant subi un phénomène de dénoyage.

2.4.3. Fer

Analyse spatiale des concentrations en fer mesurées en 2006

La Figure 15 permet de distinguer 2 zones :

- une première centrée sur une ligne Léognan/Saucats où les teneurs sont inférieures à 100 $\mu\text{g/l}$,
- une seconde située entre les communes de Pessac, Gradignan et Saint-Jean-d'Ilac où les teneurs sont supérieures à 100 $\mu\text{g/l}$. La bonne superposition de cette zone avec celle présentant des conductivités élevées au nord de la zone d'étude (Figure 15) laisse supposer que la minéralisation et le fer sont liés à la nature du réservoir dans ce secteur où la nappe est captive.

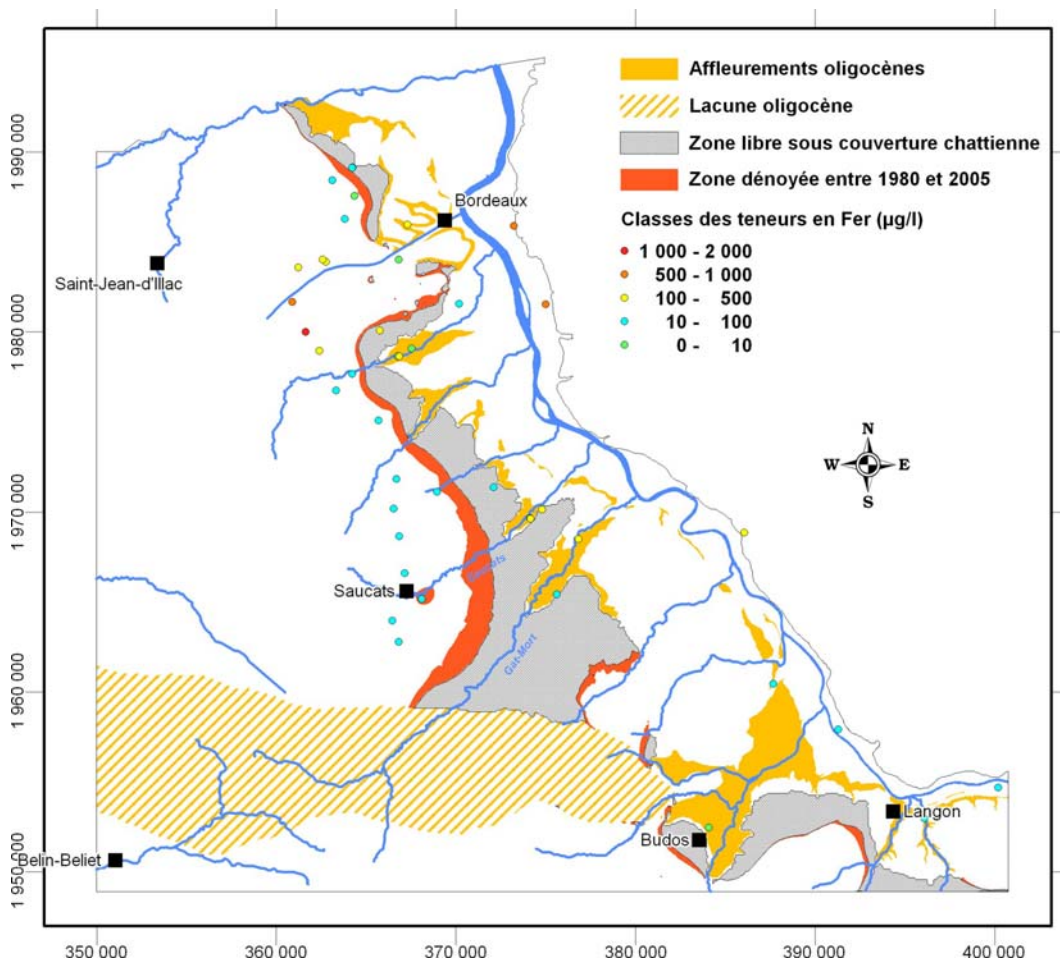


Figure 15 : Teneurs en fer mesurées en 2006.

Aux abords de la Garonne, les teneurs peuvent être très importantes, jusqu'à 1 500 $\mu\text{g/l}$ au forage 08271X0250 situé sur la commune de Pessac.

Evolution des teneurs en fer dissous dans les zones dénoyées du réservoir Oligocène

Aucune tendance d'évolution n'a pu être identifiée sur les forages considérés (Figure 16). On note toutefois qu'à l'exception d'une valeur, toutes les teneurs relatives aux 2 ouvrages concernés par le dénoyage sont inférieures à 100 µg/l.

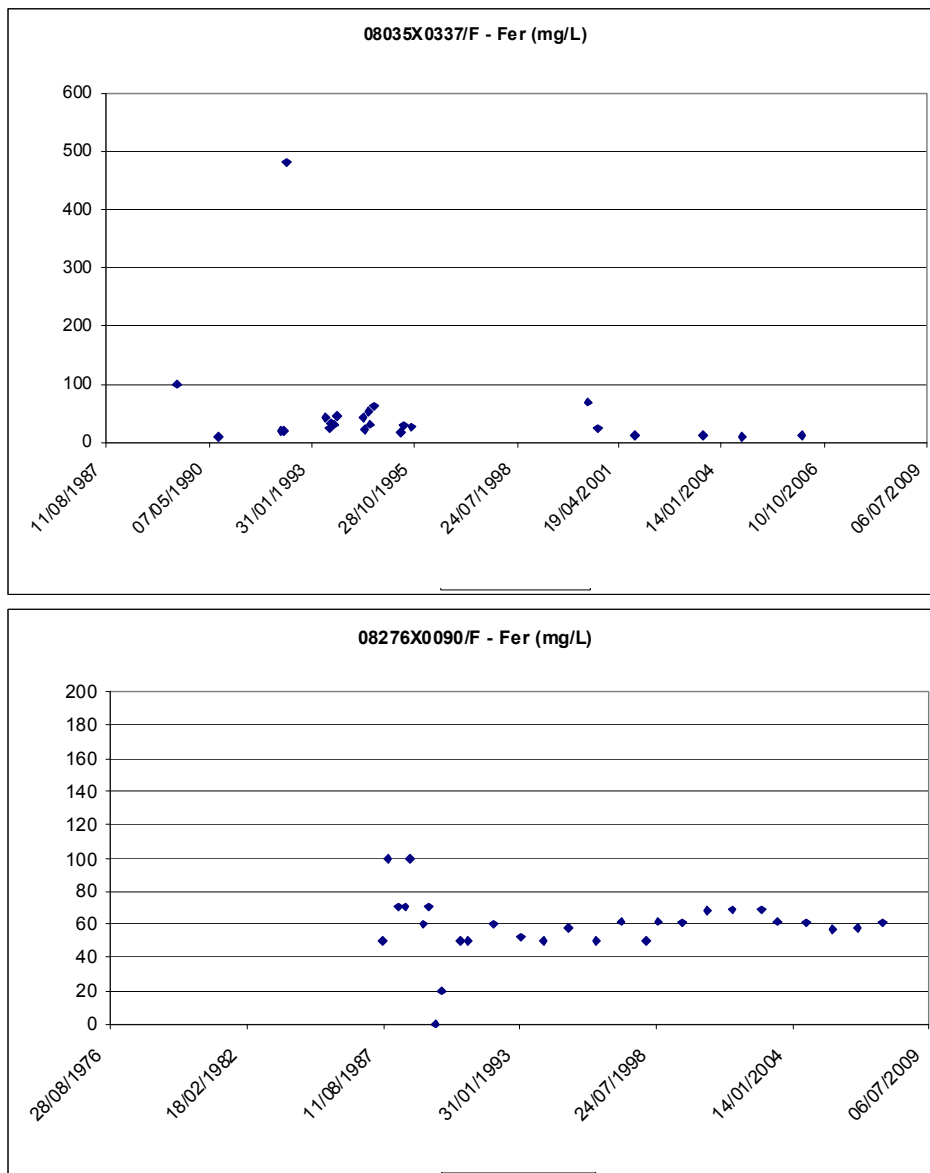


Figure 16 : Evolution des teneurs en fer dissous sur les forages « Parc » (08035X0337) et « Moulin Laques » (08276X0090)

Bilan

Sur la base des teneurs en fer dosées sur le secteur d'étude, 2 zones peuvent être distinguées au sein de la partie captive. Celle qui présente des concentrations supérieures à 100 µg/l correspond aussi à une zone où les conductivités sont plus importantes que dans le secteur de Saucats-Léognan. La nature du réservoir et/ou de plus longs temps de séjour dans la partie nord que dans la partie sud pourraient expliquer ces différences.

Les ouvrages ayant subi un phénomène de dénoyage se caractérisent, quant à eux, par des teneurs inférieures à 100 µg/l mais aucune tendance n'a pu être mise en évidence sur les graphes d'évolution.

2.4.4. Conclusion

L'étude des données chimiques disponibles sur le secteur d'étude a montré que l'aquifère de l'Oligocène présentait les conductivités les plus fortes aux abords de la Garonne (valeurs supérieures à 800 µS/cm). Ailleurs, la conductivité varie de 200 à 800 µS/cm mais la partie captive ne se caractérise pas systématiquement par les valeurs les plus faibles.

Les mesures effectuées lors des 20 dernières années sur les forages de Moulin Laguës et du Parc montrent une augmentation de la conductivité. Néanmoins, les hausses observées restent faibles et seraient encore plus atténuées si l'on excluait les points extrêmes (Figure 12).

L'examen des teneurs en nitrates a permis de montrer que ces dernières étaient a priori plus élevées sur la partie libre que sur la partie captive mais aucune tendance n'a pu être mise en évidence sur les graphes d'évolution relatifs aux points ayant subi un phénomène de dénoyage.

En ce qui concerne le fer, deux zones ont pu être distinguées au sein de la partie captive : une première au nord où les concentrations sont supérieures à 100 µg/l et une seconde, dans le secteur de Saucats-Léognan, où les teneurs sont plus faibles. Dans la mesure où la première zone correspond aussi à la partie de la zone captive où les conductivités sont les plus importantes, on peut penser que cette minéralisation est liée à la nature du réservoir et/ou à de plus longs temps de séjour.

Les ouvrages ayant subi un phénomène de dénoyage se caractérisent, quant à eux, par des teneurs inférieures à 100 µg/l mais aucune tendance n'a pu être mise en évidence sur les graphes d'évolution.

Au final, il apparaît donc que la partie libre de l'aquifère ne se distingue pas de manière significative par des caractéristiques très différentes de la partie captive. On note tout au plus la présence de quelques points présentant une forte minéralisation aux abords de la Garonne et de plus fortes teneurs en nitrates sur la partie libre du fait de l'absence de terrains sus-jacents assurant une protection de la nappe.

Mise à part une légère augmentation de la conductivité observée sur les 2 forages situés dans les zones ayant subi un phénomène de dénoyage, aucune autre tendance n'a pu être identifiée sur les graphes d'évolution des teneurs.

En substance, on retiendra que les données chimiques disponibles concernant les zones dénoyées sont très peu nombreuses et qu'elles présentent une variabilité qui n'apparaît pas structurée. Ceci tend à prouver que le passage de l'état captif à l'état libre ne s'est pas forcément fait de façon irréversible à un instant t ou qu'il ne s'est pas forcément accompagné d'une modification de l'équilibre physico-chimique.

3. Modélisation géologique

3.1. OUTILS ET PRINCIPES

Le modèle géologique a été réalisé en utilisant le logiciel **GDM (Geological Data Management)** et son composant **Multilayer** [Bourgine, 2006], développé tous deux par le BRGM. Ces outils permettent d'interpoler les toits et les murs des formations considérées et de combiner ces surfaces en contrôlant la cohérence par rapport aux données d'entrée (log de forages, contacts géologiques à l'affleurement,...).

3.1.1. Principe général de modélisation

- on part des données « exactes » où le toit et/ou le mur d'une formation ont été reconnus (forages, contacts géologiques) ;
- à partir de ces données exactes, une interpolation est réalisée au droit de chaque point pour vérifier si les contraintes d'inégalité sont respectées : par exemple pour un sondage se terminant dans la couche A, la surface calculée correspondant au mur de cette couche doit passer sous la fin du forage. Réciproquement pour un sondage débutant dans la couche A, la cote du toit interpolée en ce point doit passer au-dessus du début du forage (les surfaces interpolées au dessus de la topographie sont éliminées, la surface du sol étant considérée comme une variable érodante) ;
- lorsque ces inégalités ne sont pas respectées, il faut ajouter des points de contrainte de façon à respecter les structures géologiques et les variations connues des épaisseurs des formations. Ce travail se fait à partir de l'expertise du géologue et de visualisations en plan et en coupe sur lesquelles sont reportés les éléments connus : logs des forages, épaisseurs et cote des formations, coupes interpolées.
- le travail se fait ainsi pas à pas, interface par interface.
- Les paramètres d'interpolation de chaque surface sont ajustées en fonction du jeu de données correspondant.
- Une fois toutes les contraintes d'inégalités respectées, les différentes surfaces modélisées sont combinées automatiquement entre elles en fonction de leur caractère « érosif » ou « déposant » et avec la variable TOPO. Cette combinaison permet d'obtenir un modèle multicouche cohérent.
- l'ensemble du modèle est ensuite contrôlé par l'intermédiaire de cartes d'isohypses et d'isopaques et par le tracé de coupes sériées, ce qui permet de corriger les éventuelles anomalies résiduelles.

3.1.2. Constitution de la base de données

Sources de données utilisées

Les données géologiques utilisées pour l'élaboration du modèle géologique proviennent des sondages (637 coupes géologiques) extraits de la **BSS (Banque des données du Sous-Sol)**, des contacts géologiques des formations modélisées extraits des cartes géologiques vectorisées à l'échelle 1/50 000, les contours des entités hydrogéologiques extraits du Référentiel Hydrogéologique BDLISA de la région Aquitaine. Les principales failles jouant un rôle sur la structuration du réservoir de l'Oligocène ont été digitalisées et utilisées lors de l'interpolation du mur de la formation (Figure 18). Par ailleurs, la nappe de l'Oligocène a fait l'objet d'une étude sectorielle (Figure 17) dans le cadre de la Convention « Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine » (Rapport BRGM/RP-50468-FR [Platel et al., 2000] et BRGM/RP-51178-FR [Schnebelen et al., 2002]).

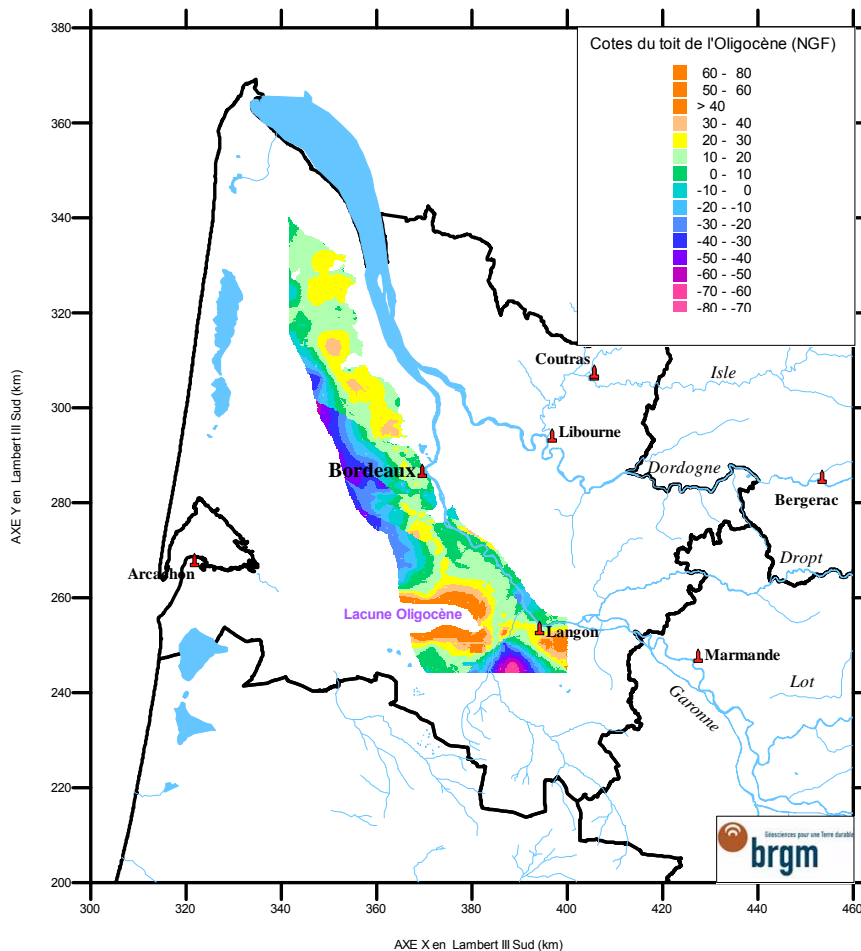


Figure 17 : Limites du modèle géologique de l'Oligocène au pas de 200 m (Rapport BRGM/RP-50468-FR)

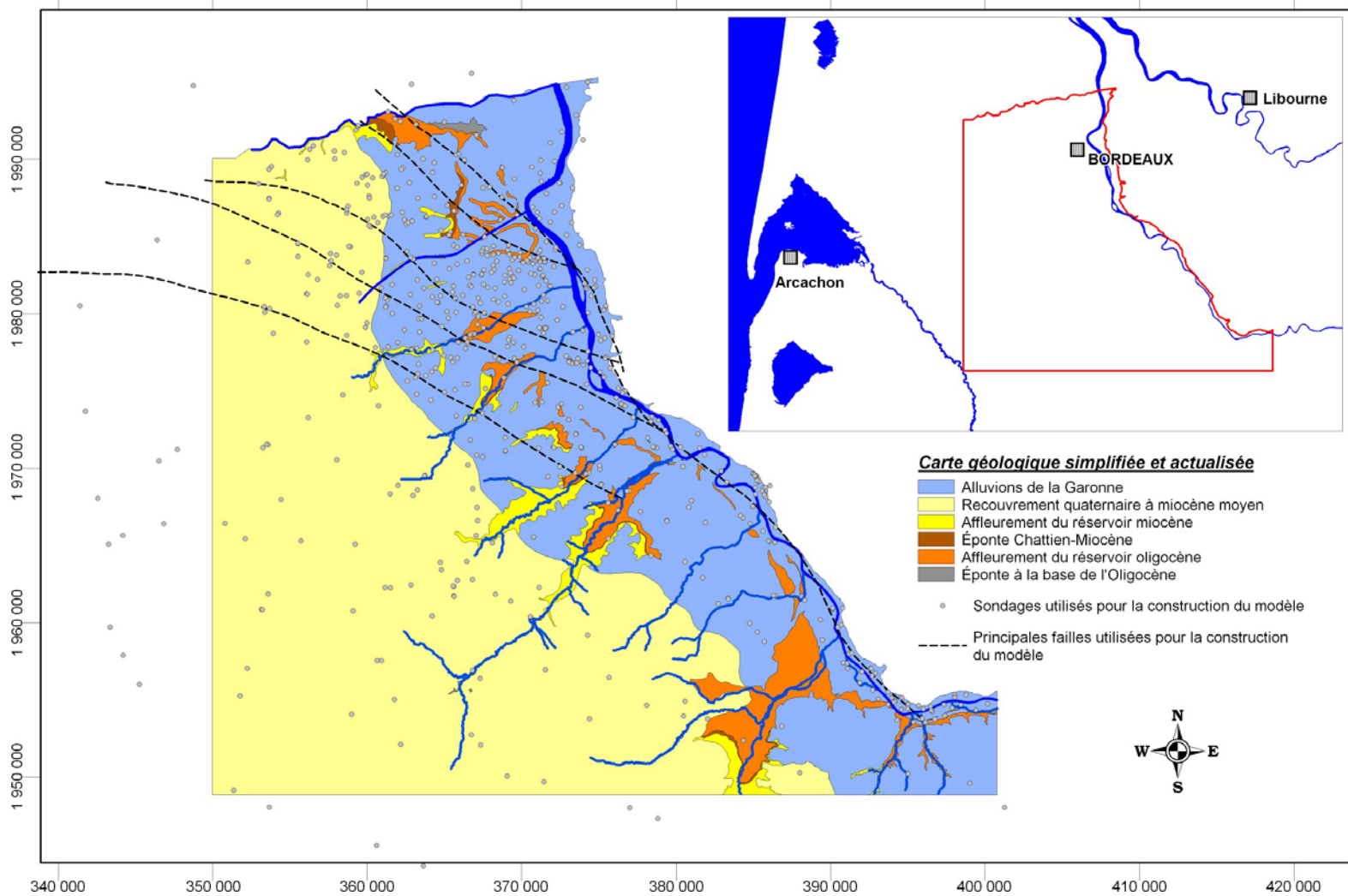
Au cours de ces travaux, réalisés en 2000 et 2001, une synthèse des données géologiques avait abouti à la construction d'un modèle géologique de l'aquifère de l'Oligocène sur un secteur s'étendant en rive gauche de la Gironde et de la Garonne de Lesparre au nord jusqu'au sud de Langon.

Le travail de synthèse et de conceptualisation déjà réalisé a servi de base pour actualiser et compléter les interprétations des coupes géologiques.

De plus, certaines descriptions de sondages ont pu être corrélées à des données diagraphiques. La Lyonnaise de Eaux (gestionnaire du réseau AEP de la CUB) nous ayant fournie près de 40 jeux de diagraphies (Gamma-Ray, résistivités, log de production).

Le MNT de l'IGN (2005) au pas de 50 m a été utilisé pour contrôler l'altitude de tous les forages et assigner la cote des contacts des formations affleurantes issues des cartes géologiques vectorisées.

Après ré-échantillonnage au pas de 100 m pour correspondre à la maille du modèle géologique réalisé, le MNT a permis de représenter la variable « TOPO » du modèle.



Codage des données

Toutes les données ont fait l'objet d'un codage spécifique, d'une analyse de cohérence et ont été intégrées dans une base Access dédiée.

Le modèle géologique prend en compte 6 couches au total dont le détail est présenté dans le Tableau 3. L'ensemble modélisé regroupe 4 formations aquifères (ALUV, REMI, MIOC et OLNP) et 2 épontes (EPCM et EPOL)

Formation	Surf. type	Description	Surf. name	n°FORM
ALUV	EROD	Alluvions de la Garonne	M06	F06
REMI		Recouvrement quaternaire à miocène moyen		F05
MIOC	EROD	Réservoir miocène	M05	F04
EPCM		Eponte Chattien-Miocène	T03	F03
OLNP		Réservoir oligocène	T02	F02
EPOL		Formations imperméable au mur du réservoir oligocène	T01	F01

Tableau 3 : Pile stratigraphique du modèle géologique

Les alluvions de la Garonne (ALUV) étant directement en contact avec le réservoir oligocène, il était tout à fait indispensable de modéliser cet horizon afin de rendre compte des échanges entre la Garonne et la nappe de l'Oligocène. A noter que cette couche regroupe l'ensemble des terrasses des alluvions de la Garonne de manière à assurer la continuité hydraulique de ces formations dans le modèle hydrodynamique.

Les formations quaternaires situées plus à l'ouest ont été intégrées dans un ensemble multicouche hétérogène correspondant à l'ensemble du recouvrement des terrains miocènes aquifères (REMI). A noter que les formations des alluvions de la Garonne et du recouvrement sont considérées comme érodantes vis-à-vis des formations sous-jacentes.

Le réservoir miocène ne correspondant pas à l'objet principal de cette étude, aucune distinction n'a été faite entre les formations de l'Hélvétien, du Burdigalien et de l'Aquitaniens.

L'éponte supérieure de l'aquifère de l'Oligocène est formée par les assises imperméables du Chattien et de la base du Miocène (EPCM). Toutefois, ce code a également été attribué pour représenter de façon plus générale les formations imperméables surmontant l'aquifère de l'Oligocène. En effet, en bordure de Garonne,

des argiles de décalcification présentes au toit du réservoir oligocène constituent un imperméable dans des zones où les formations du Miocène et du Chattien ont été érodées.

L'aquifère de l'Oligocène (OLNP) a été considéré comme une seule et même entité bien que deux niveaux puissent être ponctuellement identifiés au sein des calcaires à Astéries. Cette simplification tient à deux raisons :

- l'objectif principal est de localiser précisément les zones dénoyées du réservoir. Pour cela, c'est le toit de l'aquifère oligocène, correspondant à la base des marnes du Chattien qu'il est nécessaire de modéliser. La subdivision des calcaires n'apparaît pas comme un élément prépondérant du fonctionnement hydraulique général de la nappe,
- les forages bien décrits géologiquement et/ou ayant fait l'objet de diagraphies ne sont pas suffisamment nombreux pour individualiser en tout lieu et de façon pertinente deux horizons au sein de l'ensemble étudié.

L'éponte à la base du réservoir (EPOL) correspond à l'imperméable séparant l'aquifère de l'Oligocène de celui de l'Éocène. Toutefois, ce code a également été utilisé pour identifier les formations plus anciennes, notamment celles du Secondaire au droit de la structure de Villagrains-Landiras.

Gestion des données sous SIG

Toutes les données nécessaires à la modélisation ont été intégrées dans un Système d'Information Géographique (MapInfo®) en prise avec la base de données Access pour la projection cartographique des forages et le logiciel GDM du BRGM pour la réalisation de coupes et de logs géologiques interactifs (Figure 19).

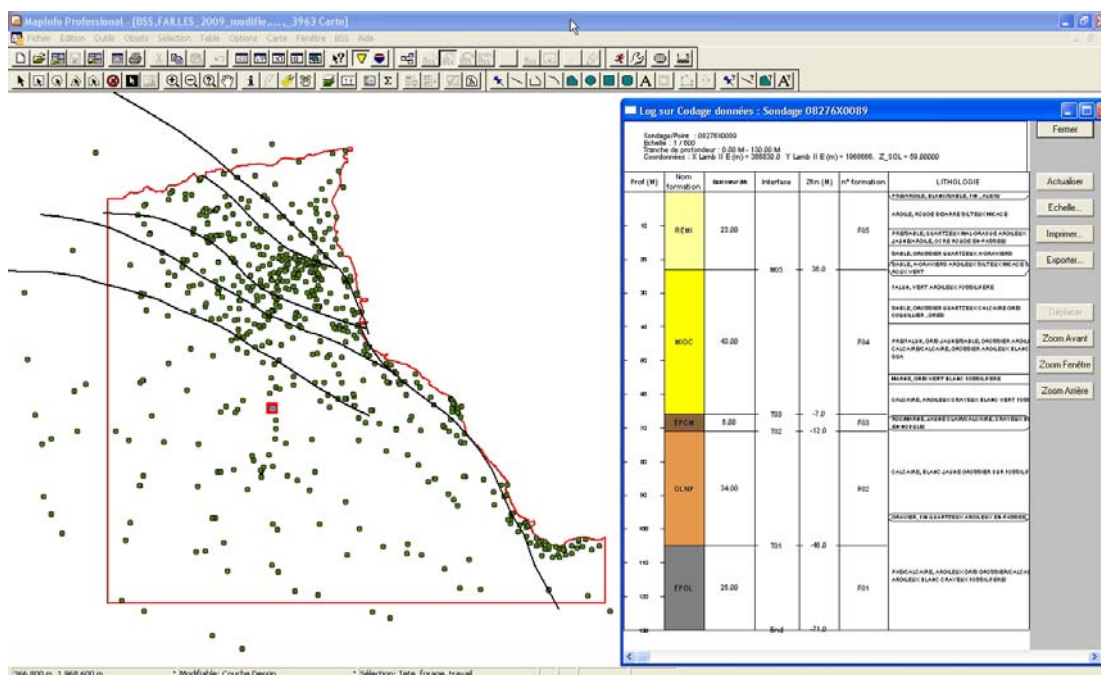


Figure 19 : Illustration du SIG "Modèle OLIOGCENE" sous MapInfo

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...).

3.2. ÉLABORATION DU MODELE

3.2.1. Contrôle préalable des données

Les sondages utilisés proviennent d'extractions de la BSS gérée par le BRGM. Cette base s'appuie principalement sur les déclarations qui sont faites au titre du Code Minier et accessoirement sur les recensements réalisés dans le cadre d'études ponctuelles menées par le BRGM. Une telle base, du fait du grand nombre d'informations qu'elle contient et de leur caractère déclaratif, peut parfois comporter des erreurs, c'est pourquoi il convient d'effectuer un certain nombre de vérifications.

Pour construire un modèle géologique fidèle à la réalité, il importe que les coordonnées et la cote altimétrique des ouvrages soient correctes.

Le MNT de l'IGN (2005) au pas de 50 m a été utilisé pour contrôler l'altitude de tous les forages. Seuls 6 ouvrages présentaient un écart entre la valeur du MNT et l'altitude du

point considéré. Les vérifications réalisées pour déterminer la cause des écarts observés ont montré :

- 3 erreurs issues d'un problème de positionnement,
- 3 points dont l'altitude avaient été mal interprétée par rapport à la carte IGN.

La cohérence entre la première formation codée dans les forages et les formations affleurantes indiquées par la carte géologique a également été vérifiée. Les cartes géologiques représentant de nombreux ensembles indiqués comme colluvions, cette vérification a été l'occasion de valider les contours de la carte géologique.

Un contrôle de cohérence sur les coupes de forages provenant de différentes sources a été réalisé en complément. Cette opération est nécessaire car elle permet, en mettant en adéquation les interprétations des différentes coupes de forages, de repérer d'éventuelles anomalies avant l'exploitation des données par le logiciel de modélisation géologique.

Le contrôle a porté sur la comparaison des forages distants de moins de 100 m (taille de la maille). Le but était de détecter des variations anormales d'épaisseurs ou de cotes du toit et/ou du mur des formations et de les vérifier.

3.2.2. Construction

Le mur des alluvions (M06) (Figure 20) et celui du recouvrement miocène (M05) ont été interpolés en premier lieu car ils correspondent à des surfaces d'érosion. Sachant que les couches REMI et ALUV ne se superposent pas du fait de leurs extensions, les alluvions ne viennent pas éroder les formations du recouvrement miocène. Les autres surfaces ont été interpolées depuis les formations les plus anciennes vers les formations les plus récentes. Seule l'interpolation de T01, correspondant au toit de l'éponte inférieure du réservoir oligocène, a été contrainte par le jeu de faille. En effet, le rejet de ces accidents tend à s'amoinrir dans les formations sus-jacentes. Le toit du réservoir oligocène (T02) montre l'existence de plusieurs lacunes : une centrée sur l'axe de la structure de Villagrains-Landiras, l'autre située en rive gauche de la Garonne. En raison de l'épaisseur réduite de l'éponte supérieure du réservoir oligocène (E03), le toit de cette formation (T03) n'a pu être interpolé directement. C'est donc son épaisseur qui a été calculée. L'altitude de la variable (T03) est déduite maille à maille en additionnant la cote de la surface correspondant à (T02) et l'épaisseur de la couche EPCM.

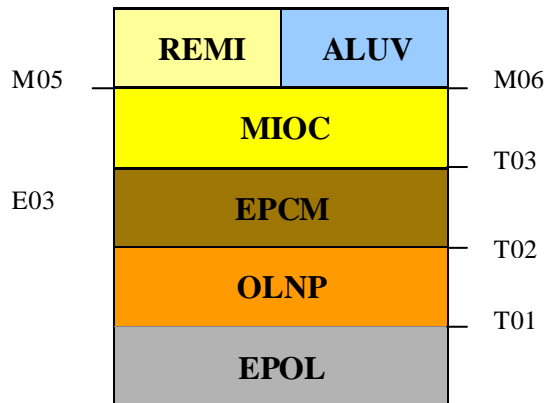


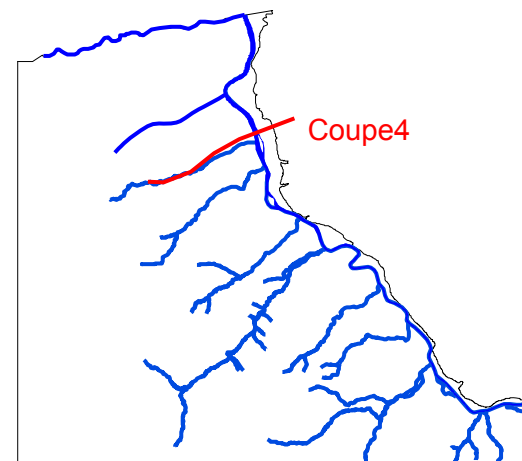
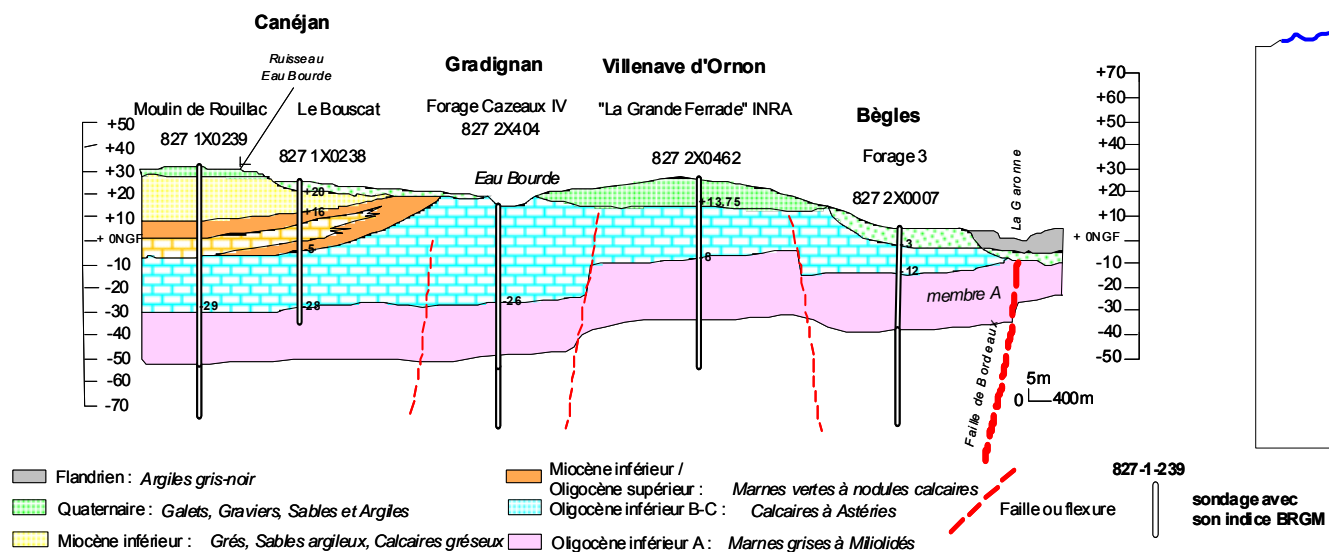
Figure 20 : Schéma des horizons modélisés

Des points de contraintes ont été rajoutés afin de respecter les contraintes d'inégalités, notamment au droit de zones complexes telles que la structure de Villagrains-Landiras. Ce travail a été réalisé avec l'appui de l'expertise du géologue et des visualisations en plan et en coupe du modèle généré. Ainsi, des comparaisons ont pu être réalisées entre les coupes géologiques réalisées dans le cadre de la synthèse des connaissances géologiques effectuée en 2000 (Rapport BRGM/RP-50468- FR [Platel et al., 2000]). La confrontation de ces coupes montre une bonne cohérence entre la vision géologique initiale et le résultat de la modélisation (Figure 21 et Figure 22). Les coupes représentées en Figure 21 sont orientées selon un axe SW-NE, elles montrent toutes deux la réduction progressive de l'épaisseur des réservoirs miocènes et oligocènes, liée à l'érosion des formations aux abords de la Garonne. Les coupes en Figure 22, axées selon une direction SN, sont caractérisées au sud par l'influence de l'anticlinal de Villagrains-Landiras ; l'aquifère du Miocène, globalement moins épais au Nord-Ouest voit sa puissance augmenter nettement vers le sud pour atteindre près de 40 m aux abords du Saucats.

SW

COUPE GEOLOGIQUE 4

NE



Rapport BRGM/RP-50468-FR (2000)

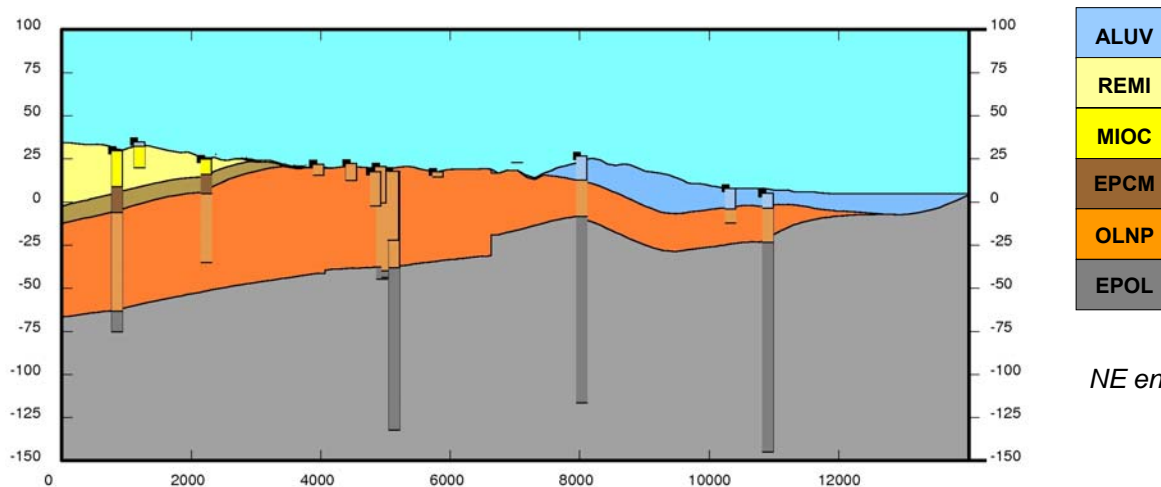


Figure 21 : Comparaison selon un axe SW-NE entre géométrie du modèle et coupe géologique



SSE

COUPE GEOLOGIQUE 7

NNW

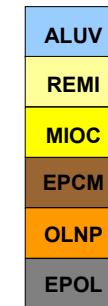
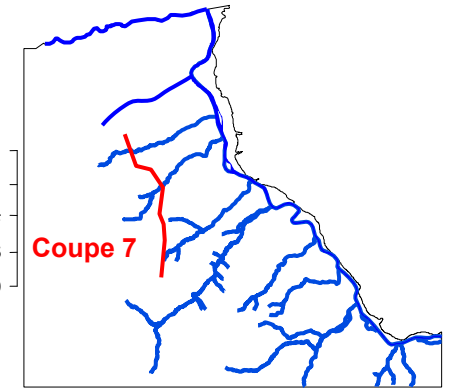
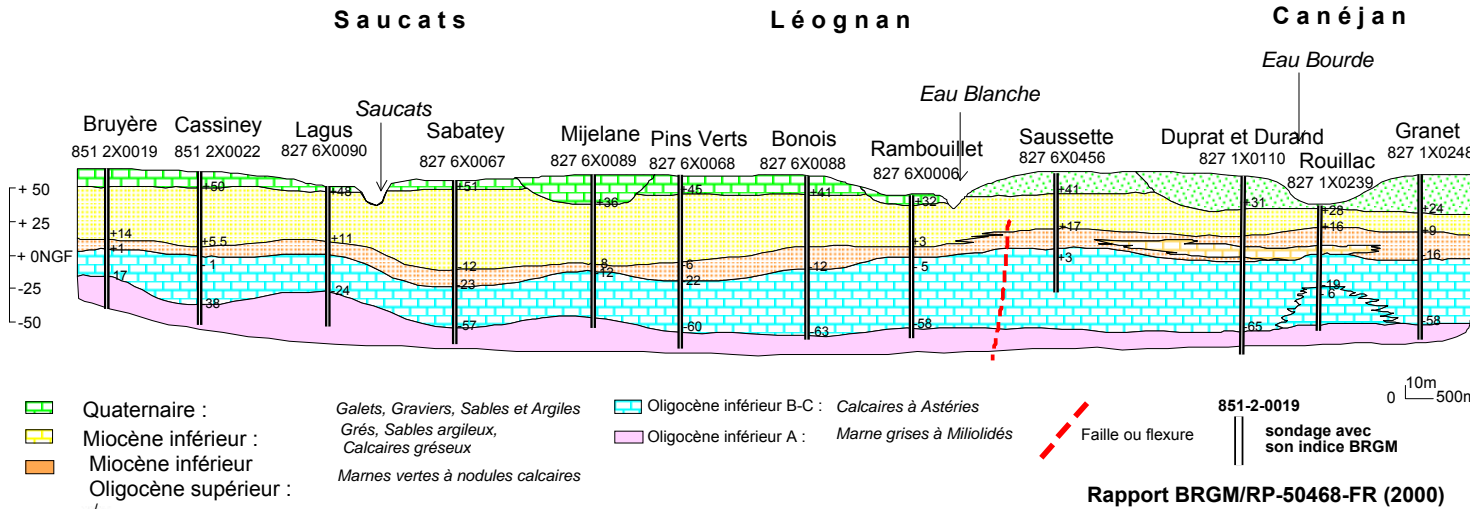
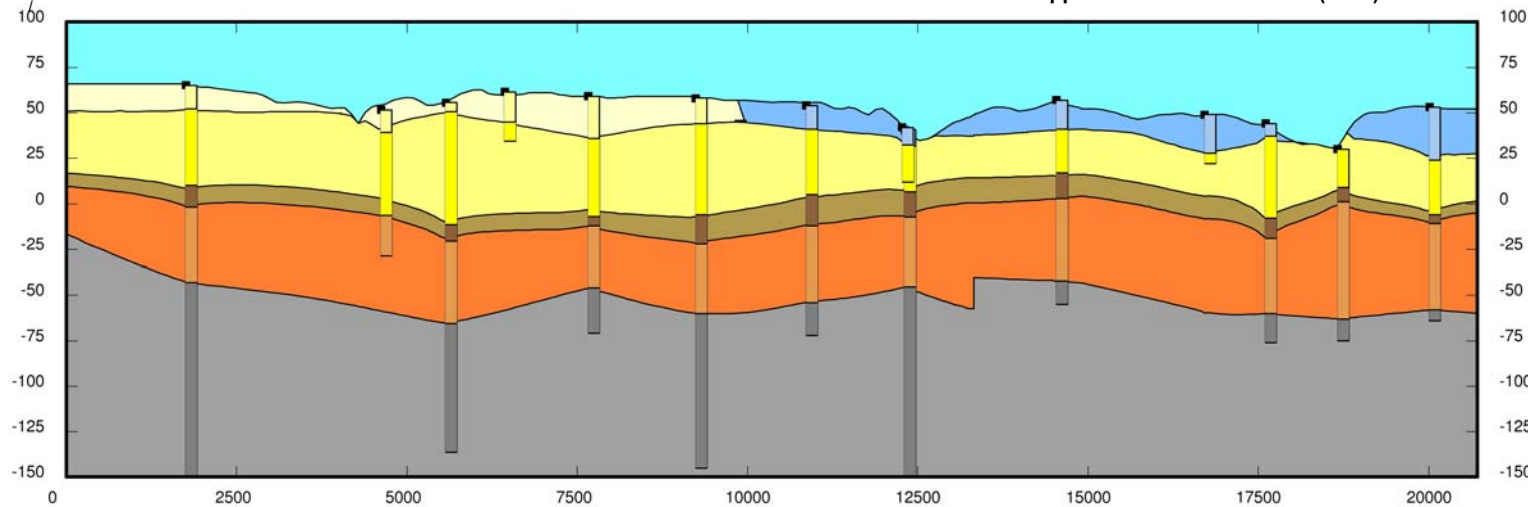
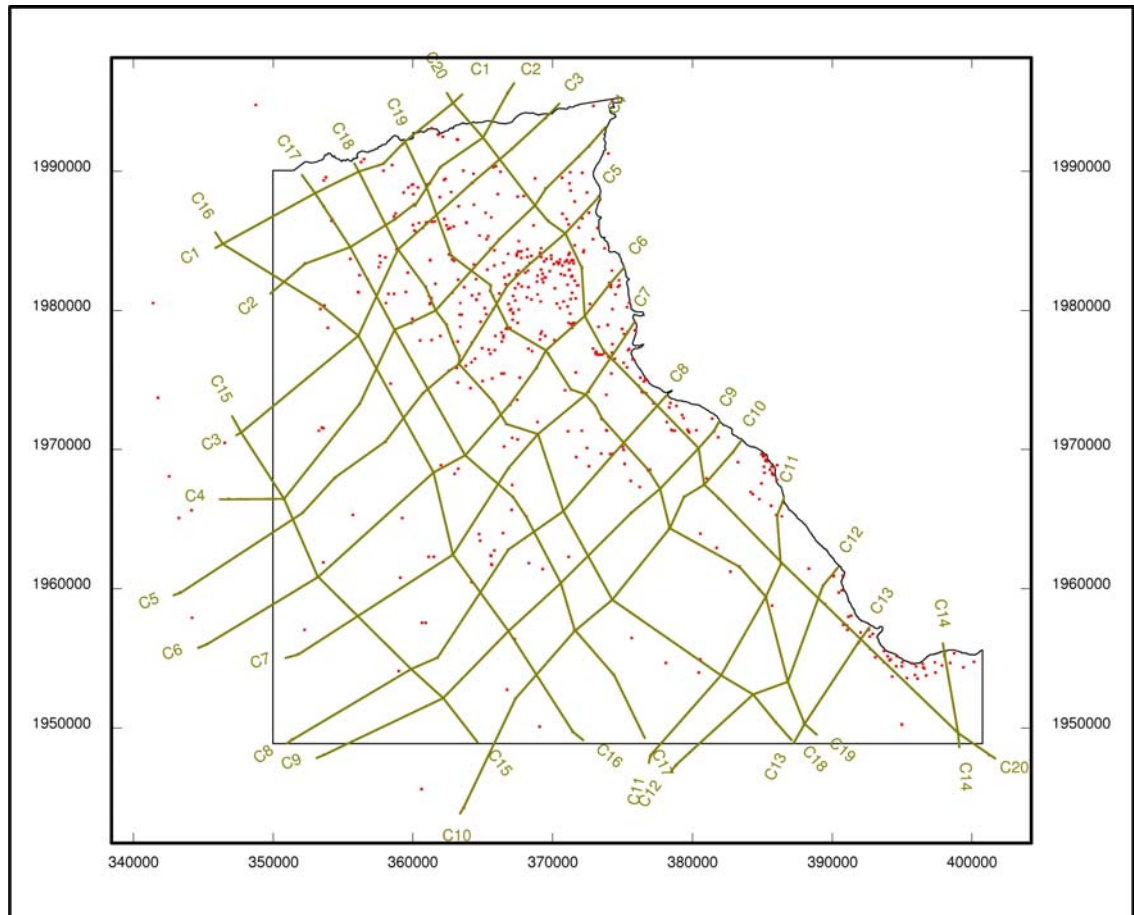


Figure 22 : Comparaison selon un axe S-N entre géométrie du modèle et coupe géologique



Outre la comparaison avec des coupes réalisées au préalable, l'ensemble du modèle a fait l'objet d'un contrôle par l'intermédiaire d'une série de coupes (Annexe 1) dont la position est présentée en Figure 23.



C1 ——— Coupes réalisées dans le modèle
• Ouvrages (utilisés pour la construction du modèle)

Figure 23 : Contrôle de cohérence à l'aide de coupes

Par ailleurs, des cartes d'isobathes et d'isopaques ont été tracées afin de mettre en évidence et corriger les éventuelles anomalies.

La visualisation 3D du modèle géologique complète l'analyse de cohérence. Elle permet d'avoir une vision globale et de détecter des singularités qui pourraient s'avérer incohérentes (Figure 24). Des illustrations 3D supplémentaires du modèle géologique final sont présentées en annexe 2.

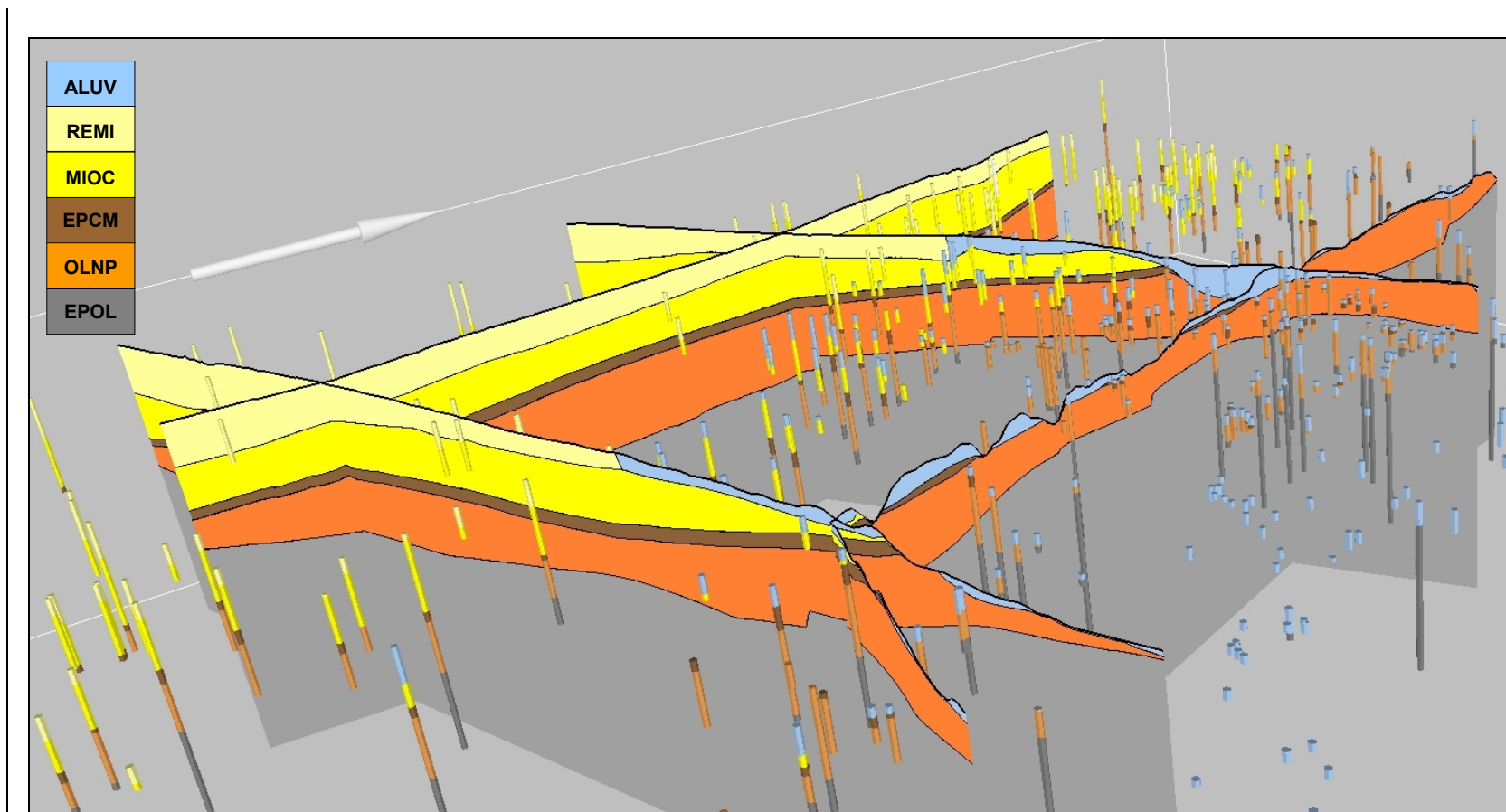


Figure 24 : Exemple de visualisation 3D du modèle géologique

3.2.3. Structuration des réservoirs modélisés

Les alluvions sont caractérisées par de faibles épaisseurs, les valeurs les plus fortes étant constatées au sein des interfluviaux et dans la partie la plus aval de la Garonne sur notre secteur d'étude (Figure 25).

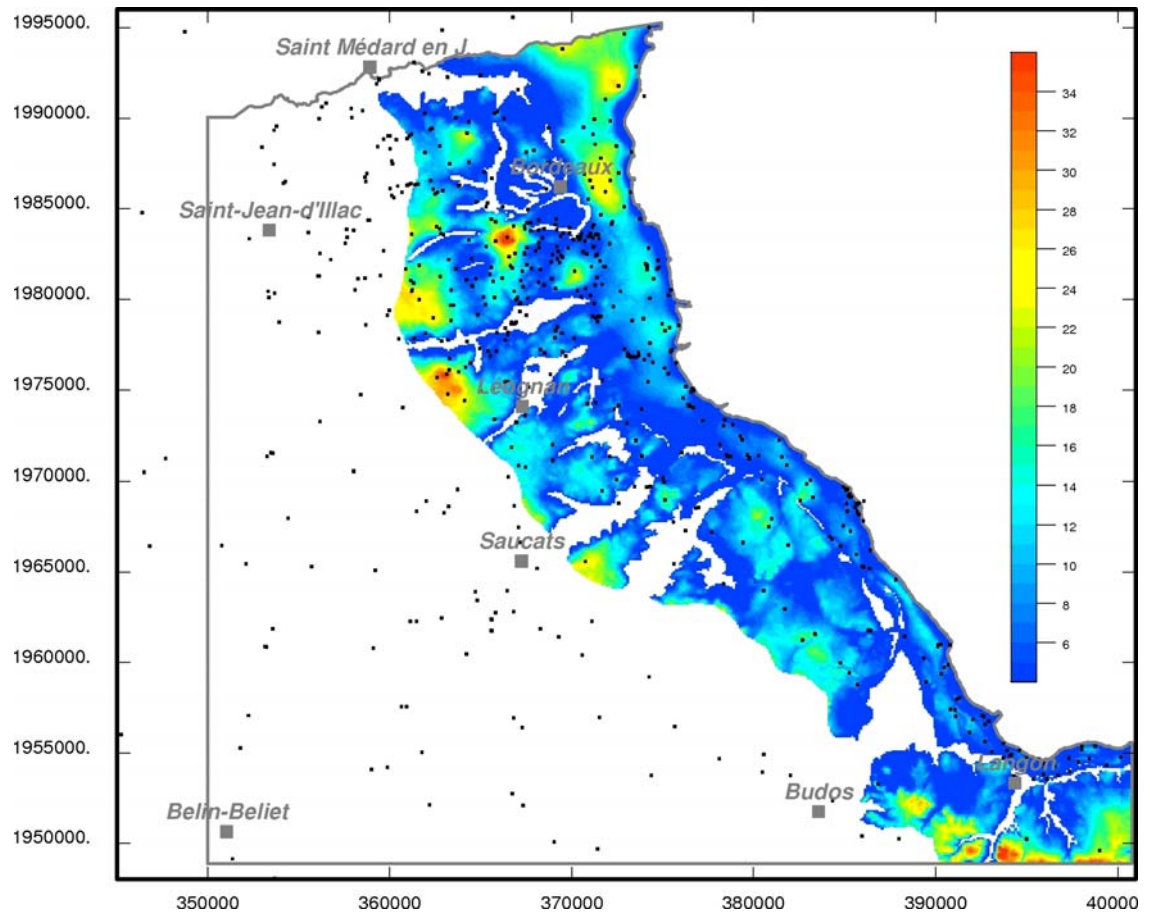


Figure 25 : Épaisseur des alluvions

Les épaisseurs du recouvrement quaternaire à miocène moyen atteignent au maximum 70 mètres de puissance. Les valeurs les plus importantes étant observées au centre ouest de notre secteur d'étude. Le réseau hydrographique participant à l'érosion des formations de surface, est particulièrement visible sur cette carte (Figure 26).

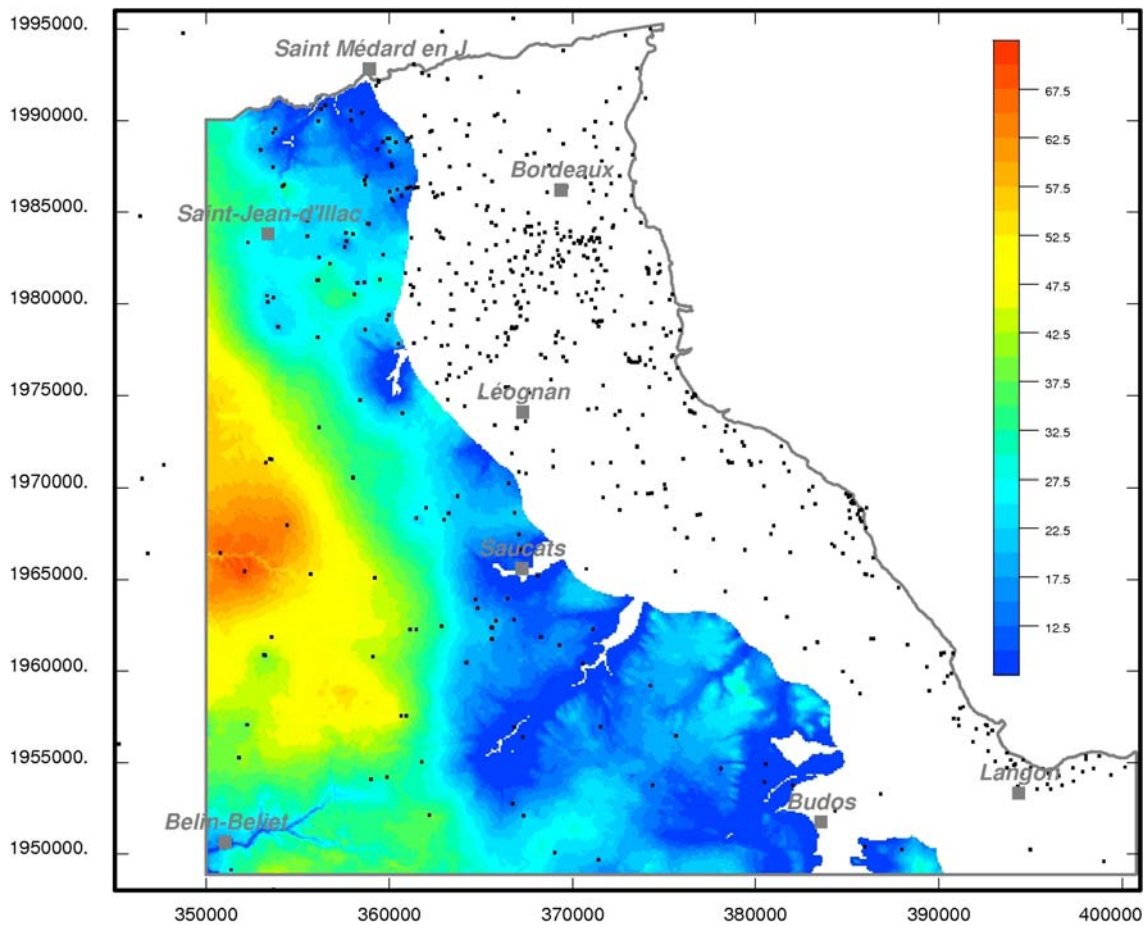


Figure 26 : Épaisseur des recouvrements quaternaires à miocène moyen

La puissance du réservoir miocène varie de 0 à 90 m (Figure 27). Ce dernier est très peu épais sur l'axe de la structure de Villagrains-Landiras, la formation est même absente sur la partie périclinale orientale de l'anticlinal. L'aquifère s'épaissit par ailleurs vers l'ouest et le sud-ouest.

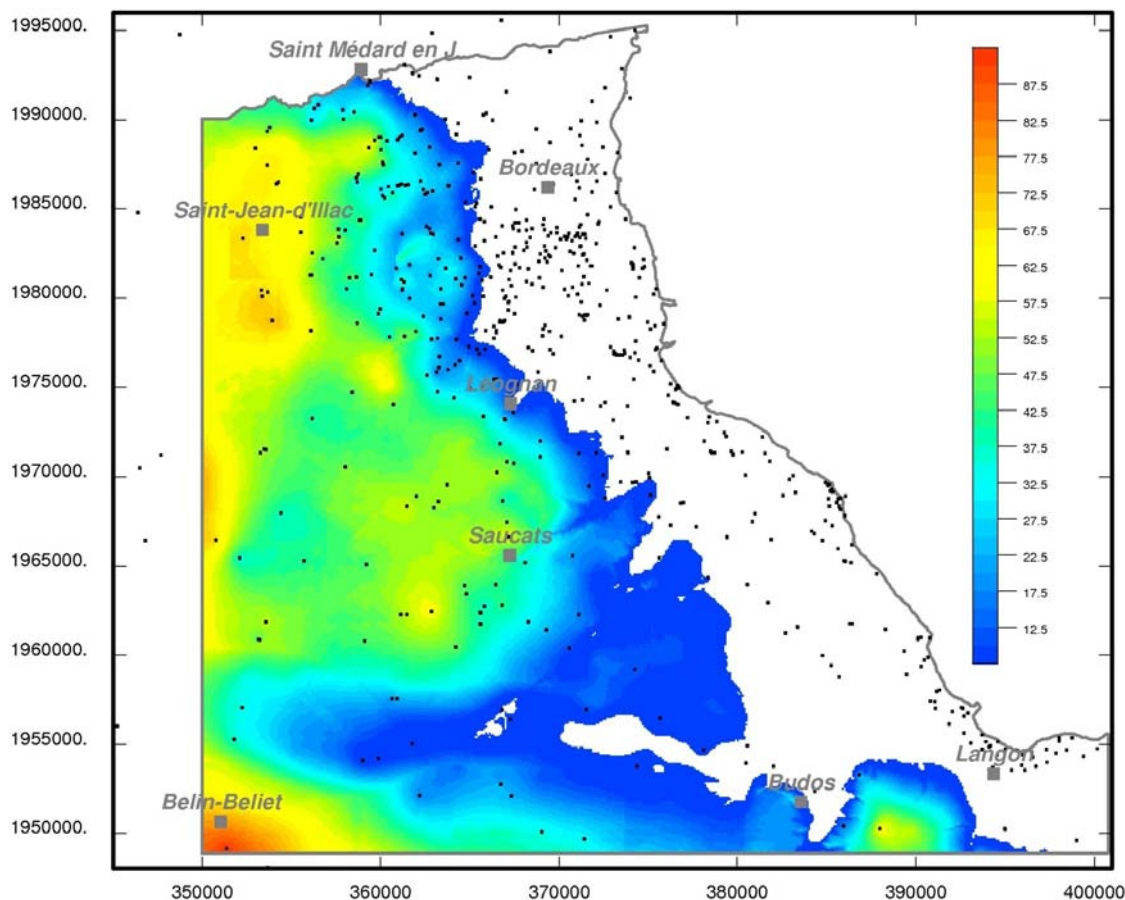


Figure 27 : Épaisseur du réservoir miocène

L'éponte supérieure de l'aquifère de l'Oligocène, est globalement de très faible épaisseur, de 2 à 18 m. Cet horizon correspond à l'ensemble des formations imperméables surmontant l'aquifère de l'Oligocène.

Il comprend les assises imperméables du Chattien, la base du Miocène et les argiles de décalcification présentes au toit du réservoir en bordure de Garonne. C'est pourquoi cette couche forme des ensembles isolés à l'est où les formations du Miocène et de l'Oligocène sont érodées (Figure 28).

A noter également que cette éponte n'est pas présente sur l'axe de la structure de Villagrains-Landiras.

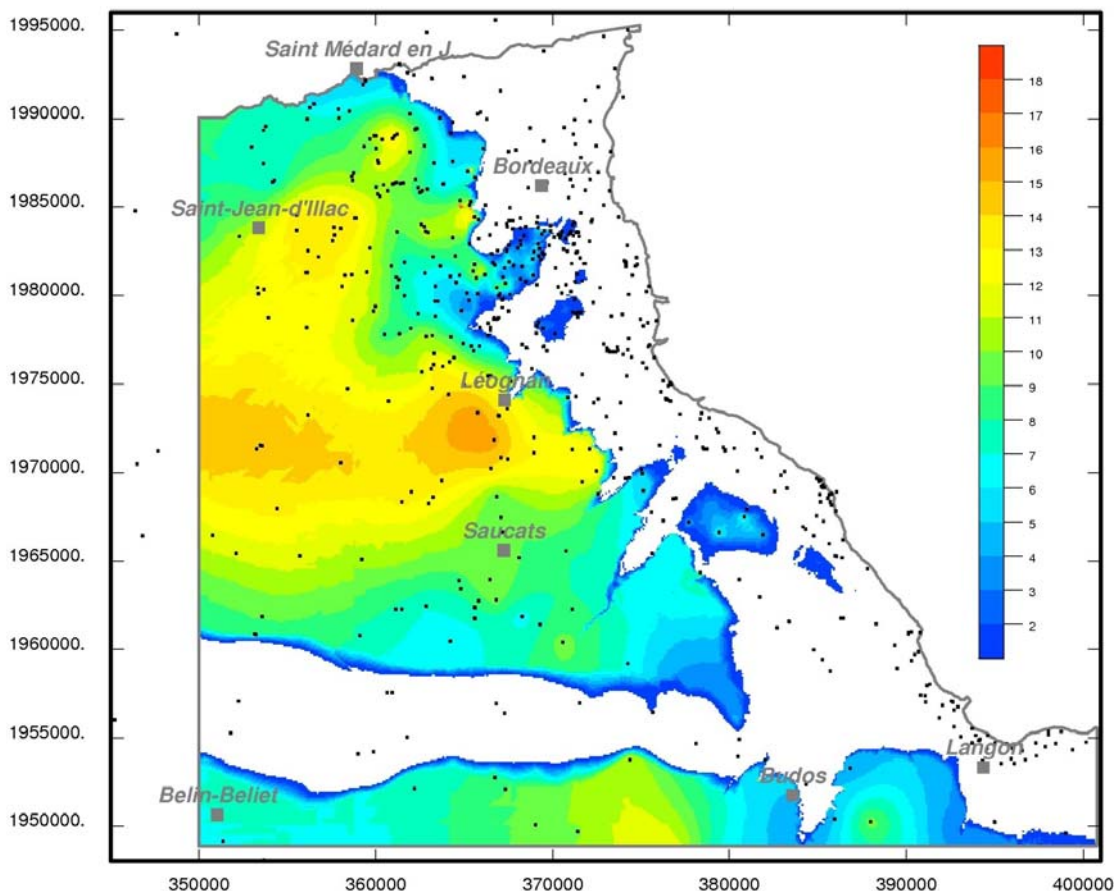


Figure 28 : Épaisseur de l'éponte au toit de l'Oligocène

L'aquifère de l'Oligocène, objet principal de cette étude est affecté à sa base par une série de failles, qui jouent un rôle sur la structuration du réservoir oligocène. Ces accidents ont été utilisés pour l'interpolation du mur de l'aquifère. C'est la raison pour laquelle la carte des épaisseurs est ainsi structurée (Figure 29).

Par ailleurs, l'aquifère est érodé sur une vaste superficie au droit de l'axe de la structure de Villagrains-Landiras par rapport aux horizons sus-jacents. Le réservoir est également absent sur une large bande localisée aux abords de la Garonne et sur un axe est-ouest à proximité de Langon.

C'est autour des zones lacunaires que le réservoir est le moins épais. Les épaisseurs les plus importantes sont localisées au centre ouest du secteur d'étude où elles atteignent près de 110 m.

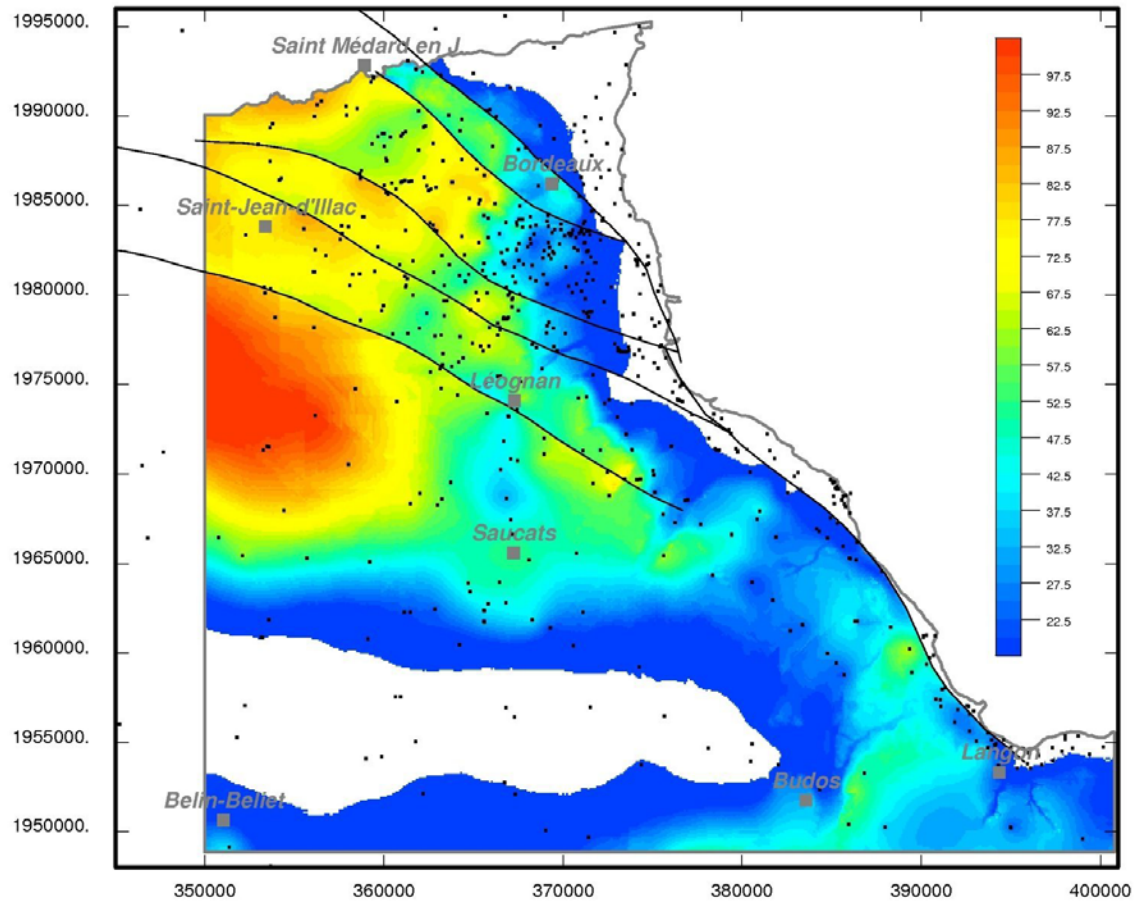


Figure 29 : Épaisseur du réservoir oligocène

Les cartes finales des toits et murs des formations aquifères modélisées par Multilayer sont reportées en annexe 3. Une sélection de coupes réalisées dans la géométrie du modèle est présentée en annexe 2.

4. Modélisation hydrodynamique

Dans le but de cerner plus précisément l'extension des zones dénoyées de la nappe de l'Oligocène et de quantifier les conséquences du dénoyage (conditions d'exploitation de la nappe, drainances verticales depuis les réservoirs encadrants et impacts sur le débit des sources et des cours d'eau), un modèle hydrodynamique a été construit. A partir des éléments quantifiés mentionnés ci-dessus, ce modèle pourra aider à la mise en place de règles pour la gestion équilibrée de la ressource oligocène sur la zone concernée.

Le modèle construit utilise le code de calcul **MARTHE** (Modélisation d'Aquifères par maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Ecoulements) développé par le BRGM (actuellement version 4.3) via l'interface **WinMarthe** version 7 ([Thiéry, 1990] ; [Thiéry, 2006]). Le schéma de résolution utilise les différences finies avec un maillage parallélépipédique (ou rectangulaire) irrégulier.

4.1. CONSTRUCTION DU MODELE

4.1.1. Géométrie du modèle

La géométrie du modèle est issue du modèle géologique réalisé sous GDM. Toutefois, des ajustements ont été nécessaires pour s'adapter au fonctionnement de MARTHE et pour répondre au mieux aux enjeux de la simulation. Ainsi, les couches REMI et ALUV ont du être rassemblées car Marthe ne peut gérer les échanges entre deux couches adjacentes. Par ailleurs, une couche supplémentaire d'épaisseur constante, correspondant au réservoir éocène a été rajoutée à la base du modèle. Les charges sont totalement imposées dans cette nappe, de manière à rendre compte des échanges entre les aquifères de l'Oligocène et de l'Éocène (Les valeurs utilisées proviennent des charges simulées pour l'aquifère de l'Éocène moyen dans le Modèle Nord Aquitain). Le modèle hydrodynamique est donc composé d'un total de 6 couches (Figure 30) avec un maillage au pas de 100 m. C'est un modèle multicouche 3D (toutes les formations sont des couches de calcul prises en compte de manière explicite).

C1	Réservoir Plio-Quaternaire (REMI + ALUV)
C2	Réservoir miocène (MIOC)
C3	Éponte Chattien miocène (EPCM)
C4	Réservoir oligocène (OLNP)
C5	Éponte à la base de l'Oligocène (EPOL)
C6	Réservoir éocène (épaisseur fictive, charges imposées)

Figure 30 : Agencement schématique des différentes couches du modèle hydrodynamique

Les toits et murs de ces formations ont été intégrés dans le modèle hydrodynamique via WinMarthe qui réalise également un contrôle des épaisseurs des différentes couches, ce qui permet de mettre en évidence les éventuelles anomalies et de les corriger. La visualisation 3D permet alors, en première approche, de mesurer la cohérence globale du modèle (Figure 31).

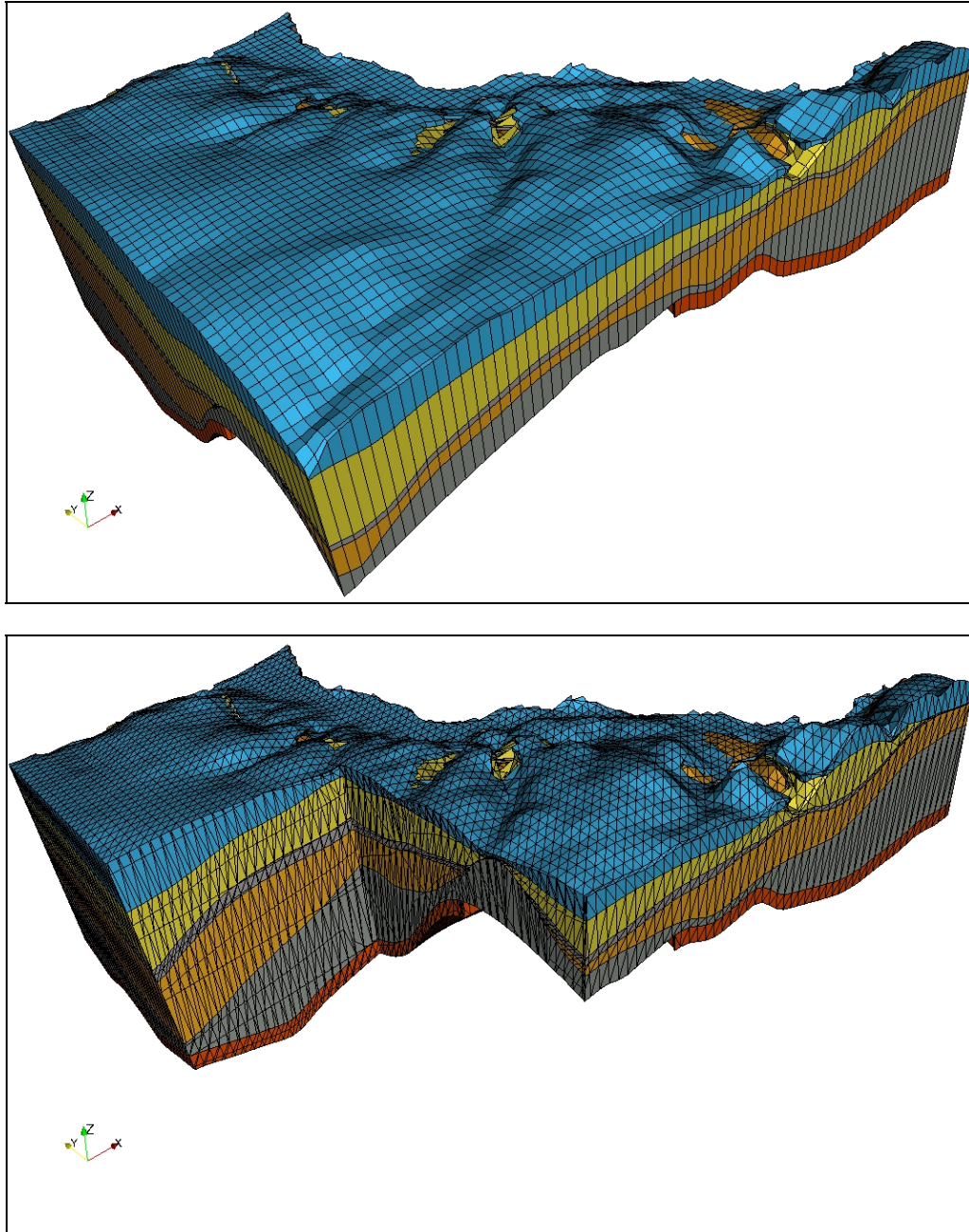


Figure 31 : Visualisation 3D du modèle hydrodynamique

Par ailleurs, l'interface graphique de WinMarthe permet également une vérification finale de la cohérence géométrique par l'observation en coupe (Figure 32).

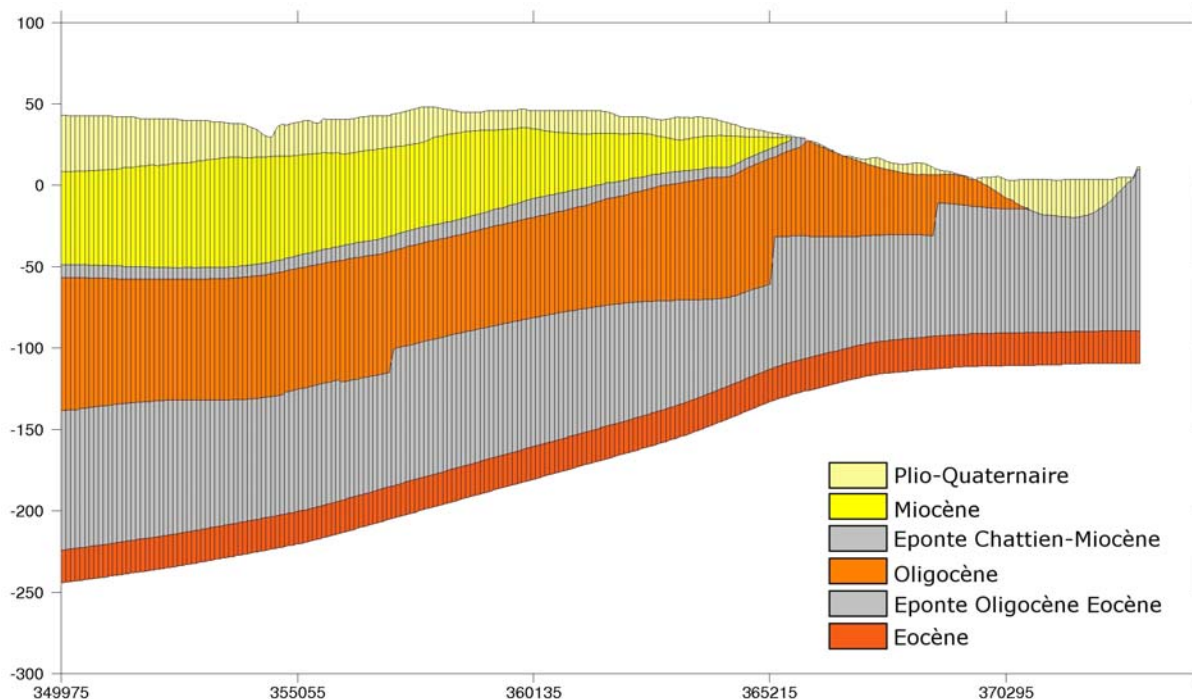


Figure 32 : Exemple de coupe verticale de contrôle réalisée à l'aide du logiciel Marthe

4.1.2. Discrétisation temporelle

En régime transitoire, le temps est découpé en un ensemble de périodes. D'un pas de temps au suivant, certains paramètres vont varier : recharge, prélèvements, charges des potentiels imposés, cote des rivières.

Le modèle sera calé en régime transitoire sur une période totale de 36 ans, de 1972 à 2007 de manière à partir d'un état initial le moins influencé possible. Par ailleurs, un découpage de la durée de simulation selon les variations saisonnières, représentant les périodes de hautes eaux et de basses eaux, a été effectué sur une période de 10 ans (1998–2007) afin de mieux cerner le champ des coefficients d'emmagasinements. Cette période a été choisie car c'est la plus complète en données. L'étude des différentes chroniques a permis de déterminer le pas de temps le plus adéquat (Figure 33).

Le modèle fonctionnera donc au pas de temps annuel de 1972 à 1997 et au pas de temps trimestriel de 1998 à 2007. Ce découpage permettra en outre de répartir plus finement les prélèvements selon les usages (Irrigation en été) et de tenir compte des pics de consommation observés, notamment pour la consommation en eau potable.

Il en va de même en ce qui concerne la recharge qui s'effectue principalement entre octobre et mars.

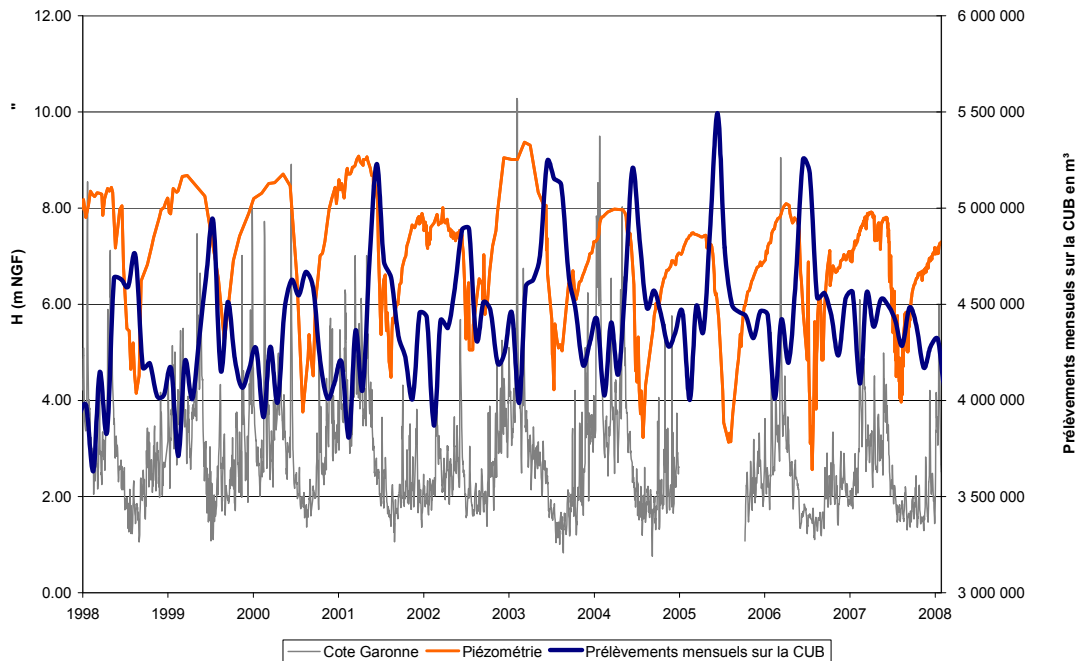


Figure 33 : Évolutions comparées de la cote de la Garonne, de la piézométrie et des prélèvements sur le secteur d'étude

4.1.3. Conditions imposées

Elles correspondent à toutes conditions hydrodynamiques, de flux ou de potentiel, permanentes ou variables, imposées aux limites ou à l'intérieur d'une couche du modèle. Elles sont matérialisées par des mailles à charge imposée, à flux nul, à cote de débordement (pour les sources en particulier et plus généralement pour toute zone où la nappe est susceptible d'émerger) et par des conditions d'échange nappes-rivières.

Potentiel imposé

Des charges ont été imposées aux limites sud et ouest des couches aquifères du Miocène et de l'Oligocène. Elles sont issues du **MO**dèle **Nord Aquitain (MONA)**, développé par le BRGM [Pédron et al., 2008]. Ceci permet de retranscrire l'évolution des charges aux bornes de notre système. Par ailleurs la couche représentant le réservoir éocène est entièrement à charge imposée. Elle a uniquement pour fonction de rendre compte de l'évolution des charges dans la nappe de l'Éocène pour pouvoir retranscrire les échanges avec la nappe de l'Oligocène.

Réseau hydrographique

La restitution du réseau hydrographique a fait l'objet d'une attention particulière. En effet, les principaux cours d'eau du secteur d'étude ont été intégrés dans le modèle (Figure 34). La limite orientale du modèle correspond à la Garonne pour laquelle la charge est imposée par l'intermédiaire du réseau hydrographique. Au nord, c'est le ruisseau de la Jalle-Saint-Médard qui sert de limite.

Concernant la Garonne, il n'existe pas de chroniques du débit sur la période d'intérêt. En revanche, le Service de Prévention de Crue de la Rochelle a pu nous fournir les chroniques de la cote du fleuve aux stations de Bordeaux, Cadillac et Langon. Le traitement de ces chroniques pour obtenir des valeurs journalières a permis d'avoir un premier aperçu du comportement de la Garonne. Ainsi, la différence d'amplitude observée entre l'amont et l'aval s'explique par l'élargissement progressif du fleuve et par l'influence grandissante de la marée dans la partie aval de la zone d'étude qui limite la propagation des ondes de crues dans cette direction [Loiseau et al., 2009].

Au sein du modèle, les variations de cote de la Garonne ont été intégrées et interpolées pour retranscrire les périodes de hautes eaux et de basses eaux au pas de temps trimestriel de 1998 à 2007. Au pas de temps annuel, de 1972 à 1997, les valeurs moyennes ont été utilisées pour recalculer la cote du plan d'eau du fleuve.

Pour les affluents de la Garonne, les informations disponibles sont peu nombreuses. Seules des données ponctuelles et quelques chroniques sont recensées. Ainsi, le Ciron, affluent majeur de la Garonne a été suivi de 1924 à 1942 au pont de la Madeleine près de Budos. De même, le débit du Saucats a été mesuré à sa source de 1967 à 1997.

Afin de compléter les données disparates existantes, le BRGM a sollicité la DIREN Aquitaine durant l'été 2008 pour que des campagnes de jaugeages soient organisées [DIREN, 2009]. Les jaugeages ont été réalisés durant les automnes 2008 et 2009 à l'amont et à l'aval des zones d'affleurements du réservoir oligocène afin d'évaluer les échanges éventuels entre la nappe et le réseau hydrographique superficiel (Tableau 4). Les résultats de toutes mesures ponctuelles doivent être considérés avec circonspection ; toutefois, différents éléments témoignent de la bonne représentativité de ces jaugeages. Ces derniers ont été réalisés sur une période restreinte, accompagné de faibles précipitations impactant peu les écoulements. Les sections retenues respectent autant que faire se peut les limites des affleurements oligocènes.

Ces mesures ponctuelles donnent des informations sur le comportement des cours d'eau. Ainsi, des augmentations de débit ont pu être observées entre l'amont et l'aval sur les ruisseaux de l'Eau Blanche et du Gat-Mort pour les deux campagnes de mesure. Les points de jaugeage encadrant bien les affleurements de l'Oligocène dans ces secteurs, il est probable que la nappe alimente localement ces cours d'eau.

En ce qui concerne l'Eau Bourde, il apparaît que les valeurs de débit spécifique restent sensiblement similaires entre l'amont et l'aval ce qui semble indiquer qu'il n'y aurait pas ici d'alimentation nette de la rivière depuis la nappe de l'Oligocène

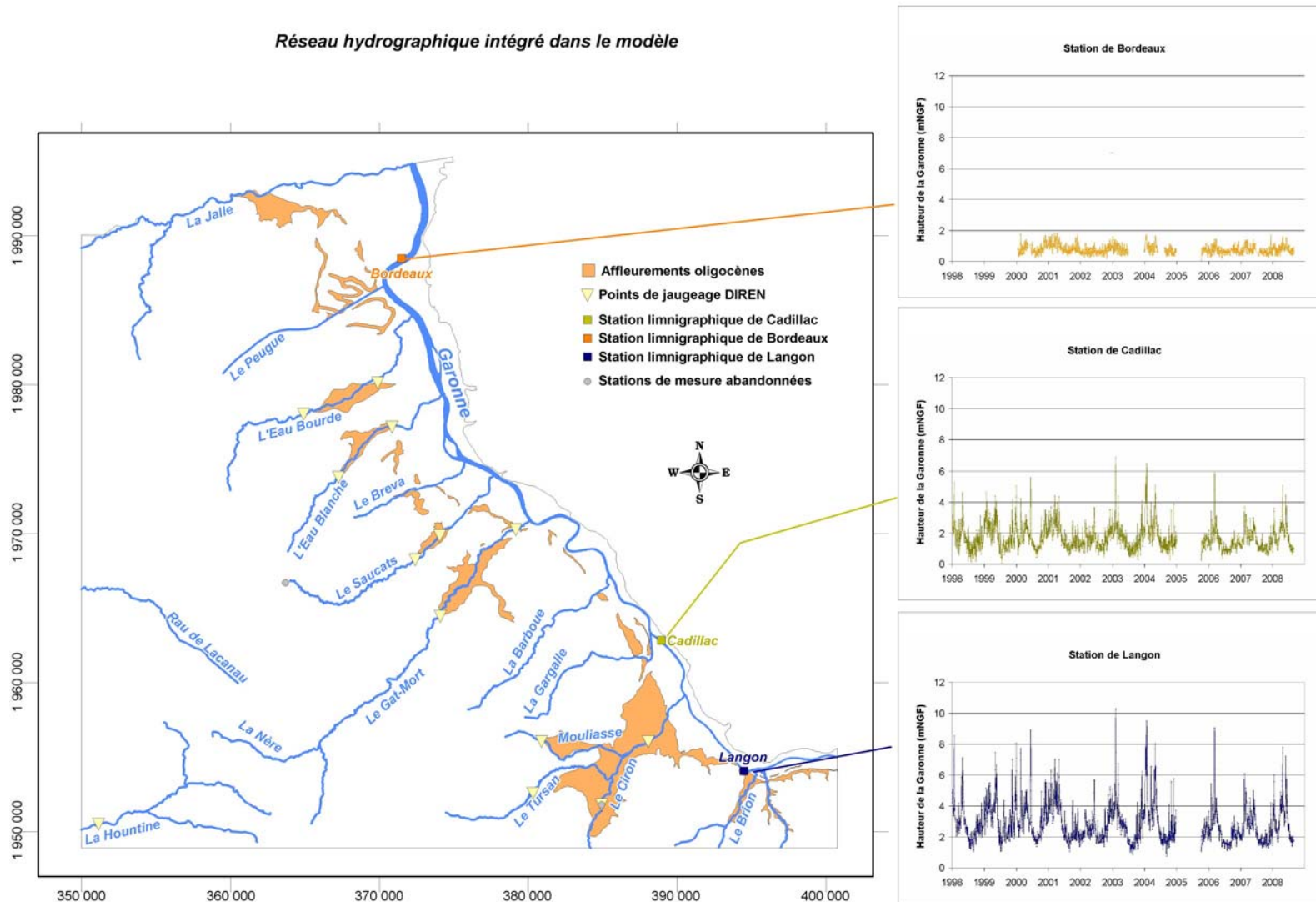


Figure 34 : Réseau hydrographique intégré dans le modèle

Cours d'eau	Section	Campagne 2008			Campagne 2009		
		Date	Débit en m ³ /s	Débit en l/s.km ²	Date	Débit en m ³ /s	Débit en l/s.km ²
Eau Bourde	amont	08/10/2008	0.263	2.93	08/10/2009	0.107	1.19
	aval	08/10/2008	0.334	3.1	08/10/2009	0.124	1.15
Eau Blanche	amont	08/10/2008	0.046	0.84	08/10/2009	0.04	0.73
	aval	08/10/2008	0.13	1.85	08/10/2009	0.091	1.29
Saucats	amont	24/09/2008	0.101	1.07	07/10/2009	0.093	0.99
	aval	24/09/2008	0.067	0.68	07/10/2009	0.057	0.58
Gât Mort	amont	24/09/2008	0.087	0.47	07/10/2009	0.101	0.55
	aval	24/09/2008	0.133	0.64	07/10/2009	0.143	0.68
Mouliasse	amont	18/09/2008	à sec	à sec	07/10/2009	0	0
Tursan	amont	18/09/2008	0.008	0.19	06/10/2009	0.004	0.1
Ciron	amont	18/09/2008	3.21	2.66	06/10/2009	2.88	2.39
	aval	18/09/2008	3.16	2.44	07/10/2009	2.79	2.15

Tableau 4 : Résultats des jaugeages réalisés par la DIREN sur les affluents de la Garonne durant les périodes d'étiages 2008 et 2009 [DIREN, 2009].

A l'inverse, des pertes sont observées sur les ruisseaux du Saucats et du Ciron. Le phénomène est relativement marqué sur le Saucats où le débit diminue d'un tiers entre les points de jaugeage amont et aval. Ces résultats sont cohérents avec les études antérieures qui indiquent l'existence d'une communication étroite entre le ruisseau du Saucats et la nappe de l'Oligocène [LARAG et SAFEGE, 1994]. Les différentes mesures de débit entreprises alors le long du cours d'eau montraient déjà l'existence d'une zone de perte à l'aval de La Brède. L'alimentation locale de la nappe par la rivière a d'ailleurs été confirmée par des traçages.

Dans une moindre mesure, la relative constance du débit entre les points amont et aval sur le ruisseau du Ciron semble également suggérer que la rivière est susceptible d'alimenter la nappe de l'Oligocène en période de basses eaux. Les ruisseaux du Tursan et de la Mouliasse, affluents de rive gauche du Ciron, n'ont fait l'objet que d'une seule mesure. Néanmoins, des études récentes [Saltel et al., 2006] ont pu montrer la complexité des relations entre ces rivières et les eaux souterraines (zones de pertes et de résurgences). Ces différents éléments permettent donc d'appréhender la complexité des échanges nappes rivières sur le secteur d'étude. Toutefois, les données sur les hauteurs d'eau ou le débit des ruisseaux restent peu nombreuses et le manque de chronique de longue durée ne permettra pas d'aboutir à une restitution fine des échanges nappes-rivières dans le modèle. Néanmoins, les valeurs ponctuelles de débit, obtenues par jaugeage serviront de paramètre de contrôle des échanges nappes/rivières et permettront notamment de vérifier l'ordre de grandeur des débordements de la nappe au droit des affleurements oligocènes.

Cotes de débordement

Pour tous les aquifères, les mailles situées au droit d'affleurements ont été considérées comme "débordantes". Il s'agit de secteurs où la nappe est libre et donc susceptible de déborder.

Il y a débordement si la charge calculée par le modèle est supérieure à la cote de débordement (surface du sol). Les dimensions du maillage (pas de 100 m) permettent ainsi une bonne restitution de la topographie et donc des grands axes de drainage.

Flux nuls

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

1. soit à la disparition des aquifères par biseautage à proximité des zones d'affleurement ou à la faveur de lacunes au niveau de grandes structures anticlinales (ex : Villagrains-Landiras),
2. soit à une limite fixée arbitrairement (cas de la limite sud-est du modèle à l'est de Langon)

4.1.4. Prélèvements

L'affectation et la validation hydrogéologique des prélèvements effectués dans les forages de Gironde réalisée dans le cadre de la construction du **MO**dèle **N**ord **A**quitain, a fait l'objet de plusieurs études intégrant les données collectées auprès de différents organismes (AEAG, DDAF 33, chambre d'agriculture). C'est donc cette base, la plus fiable et la plus complète à l'heure actuelle, que nous avons utilisé pour intégrer les prélèvements dans le modèle de l'Oligocène. La répartition des prélèvements par trimestre à partir de 1998 permet un ajustement en fonction des usages. Pour l'eau potable, le partage a été réalisé en se basant sur les données de prélèvements mensuels globaux réalisés sur la CUB (Figure 33 ; données Lyonnaise transmises par le SMEGREG). Cette approche bien qu'approximative permet de tenir compte des pics de consommation observés chaque année.

Analyse des données de prélèvements

Seuls les prélèvements des aquifères de l'Oligocène et du Miocène ont été intégrés au modèle. En effet, les prélèvements dans les alluvions, relativement faibles, peuvent être considérés comme négligeables vis-à-vis des volumes transitant dans les nappes du Tertiaire. Par ailleurs, il n'existe pas de recensement fiable et suffisamment exhaustif pour les débits soutirés dans la nappe du Plio-Quaternaire qui ne sont pas non plus considérés. Cette nappe fonctionnera donc en équivalence de flux : *la recharge y sera donc sous estimée et/ou les débordements surestimés*. La carte synthétique ci-après (Figure 35) localise les prélèvements réalisés en 2007 sur le secteur d'étude.

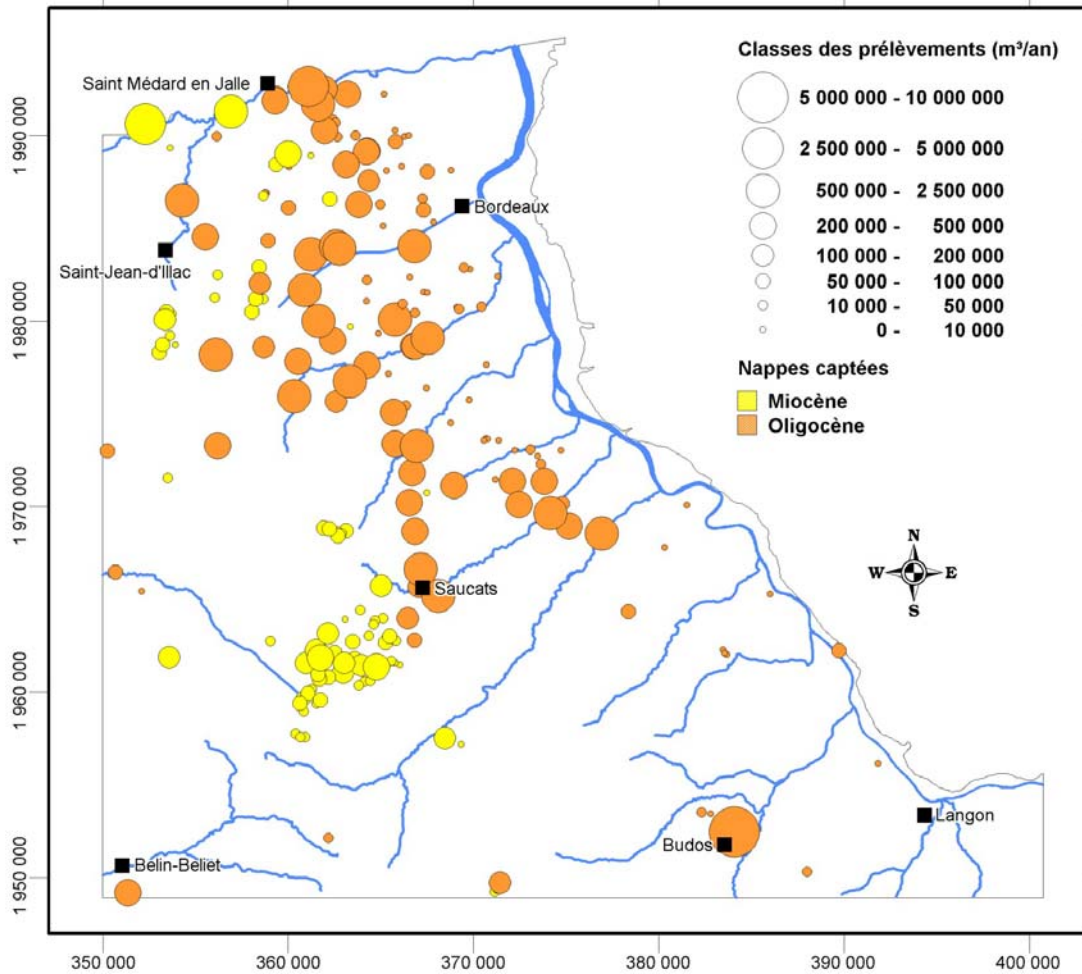


Figure 35 : Localisation des prélèvements sur le secteur d'étude pour l'année 2007.

En première approche, cette carte montre que les volumes les plus importants sont prélevés dans la nappe de l'Oligocène et que c'est dans cette nappe que le nombre d'ouvrages est le plus important. Les volumes que l'on y prélève sont largement prédominants par rapport à ceux soutirés à la nappe du Miocène. En 2007, un peu plus de 41 millions de m³ étaient prélevés dans l'Oligocène (135 forages sollicités) contre seulement 8 millions de m³ pour le Miocène (89 ouvrages sollicités).

Prélèvements dans la nappe du Miocène

La nappe du Miocène est principalement sollicitée pour l'agriculture et l'alimentation en eau potable dont les prélèvements représentent respectivement 51% et 42% des volumes prélevés en 2007 (Tableau 5). Pourtant, le nombre de forages servant à l'irrigation est beaucoup plus important que pour l'alimentation en eau potable (78 contre 6).

Usage	Volume prélevé en 2007 (m ³)	Répartition des prélèvements (2007)	Nombre de forages
AEP	3 472 354	41.8%	6
EAU-AGRICOLE	4 207 769	50.6%	78
EAU-COLLECTIVE	65 703	0.8%	6
EAU-INDIVIDUELLE	460	0.0%	2
EAU-INDUSTRIELLE	541 310	6.5%	9
EAU-SERVICE-PUBLIC	22 032	0.3%	4

Tableau 5 : Volumes prélevés par usage dans la nappe du Miocène en 2007

Les autres usages, essentiellement représentés par l'eau industrielle sont nettement minoritaires. Ils mobilisent ainsi au total moins de 8% des volumes prélevés dans la nappe du Miocène, soit 630 000 m³, pour 21 forages. L'usage agricole de la nappe est concentré dans les deux pôles majeurs de prélèvements identifiés précédemment (Figure 35), à savoir la zone située au sud-est de Saint-Jean-d'Ilac et la partie ouest de la commune de Saucats, au nord de l'anticlinal de Villagrains-Landiras. L'usage AEP, second usage prédominant, est assuré principalement par **la source de Cap de Bos** (N°BSS : 08028X0006, commune de Saint-Médard-en-Jalles, 2 570 000 m³ prélevés en 2007) et le **forage de Caupian** (N°BSS : 08028X0005, commune de Saint-Médard-en-Jalles, 600 000 m³ prélevés en 2007) localisés au nord-ouest de notre secteur d'étude.

Les volumes annuels prélevés ont augmenté de manière importante de 1976 à 2002 principalement en raison de la progression de l'irrigation (Figure 36).

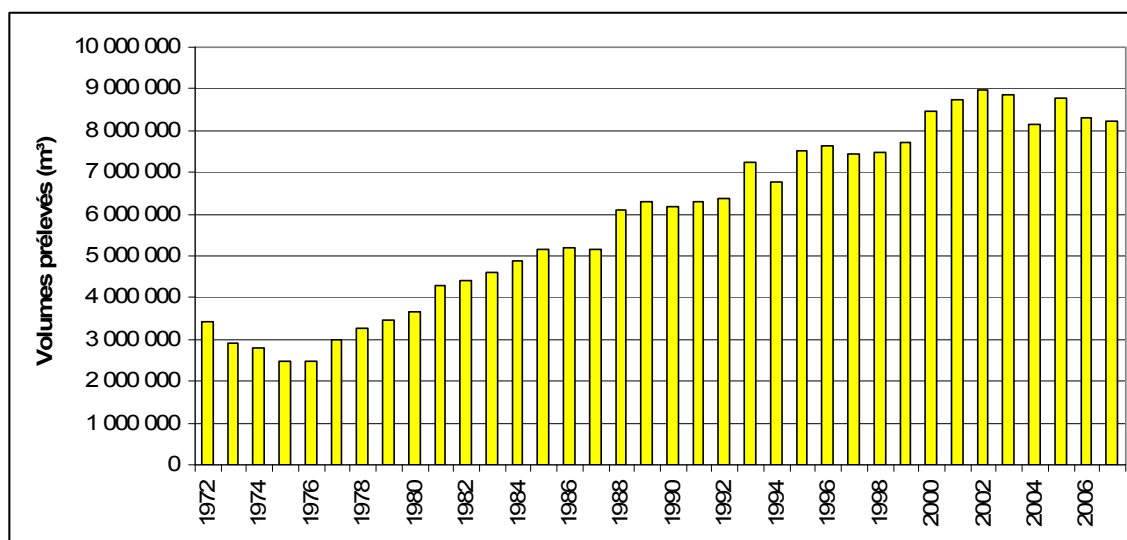


Figure 36 : Évolution des prélèvements dans la nappe du Miocène de 1972 à 2007

En effet, en 1972 l'alimentation en eau potable correspondait à l'utilisation principale de la ressource avec près de 2 670 000 m³ soit 75 % de l'ensemble des volumes prélevés cette année.

L'usage agricole ne représentait alors que 16 % des prélèvements. Néanmoins, depuis 2001, une légère baisse des volumes prélevés est observée.

Prélèvements dans la nappe de l'Oligocène

La nappe de l'Oligocène est essentiellement exploitée pour l'alimentation en eau potable. L'AEP représente en effet près de 97 % des prélèvements avec un volume de 40 millions de m³ en 2007 et mobilise 42 % des ouvrages (Tableau 6).

Les autres usages, essentiellement représentés par les eaux agricoles, collectives, industrielles et de service public apparaissent comme marginaux. Ils mobilisent seulement 3% des volumes prélevés dans l'Oligocène (à savoir environ 1,3 million de m³) pour 56 % des forages (soit 127 ouvrages).

Usage	Volume prélevé en 2007 (m ³)	Répartition des prélèvements (2007)	Nombre de forages
AEP	40 005 677	96.8%	99
CHAUFFAGE	0	0.0%	1
EAU-AGRICOLE	156 737	0.4%	24
EAU-COLLECTIVE	443 373	1.1%	25
EAU-INDIVIDUELLE	10 560	0.0%	16
EAU-INDUSTRIELLE	447 785	1.1%	26
EAU-SERVICE-PUBLIC	273 277	0.7%	27
PIEZOMETRE	0	0.0%	8

Tableau 6 : Volumes prélevés par usage dans la nappe de l'Oligocène en 2007

La majeure partie des ouvrages exploitant la nappe de l'Oligocène est localisée au nord du secteur d'étude au droit de l'agglomération bordelaise. Toutefois, les pôles majeurs de prélèvements sont relativement dispersés (Figure 37).

Les sources ont un rôle très important dans l'alimentation en eau potable. Ainsi, la source de **Budos**, localisée au sud-est du secteur d'étude fournit à elle seule près de 23 % du volume prélevé dans la nappe de l'Oligocène soit 9,5 millions de m³ en 2007. De même, la source de **Gamarde**, autre pôle très important, fournit 10 % du volume total prélevé dans la zone étudiée. Les sources de **Bellefond**, légèrement moins productives, fournissent tout de même près de 1,5 millions de m³/an.

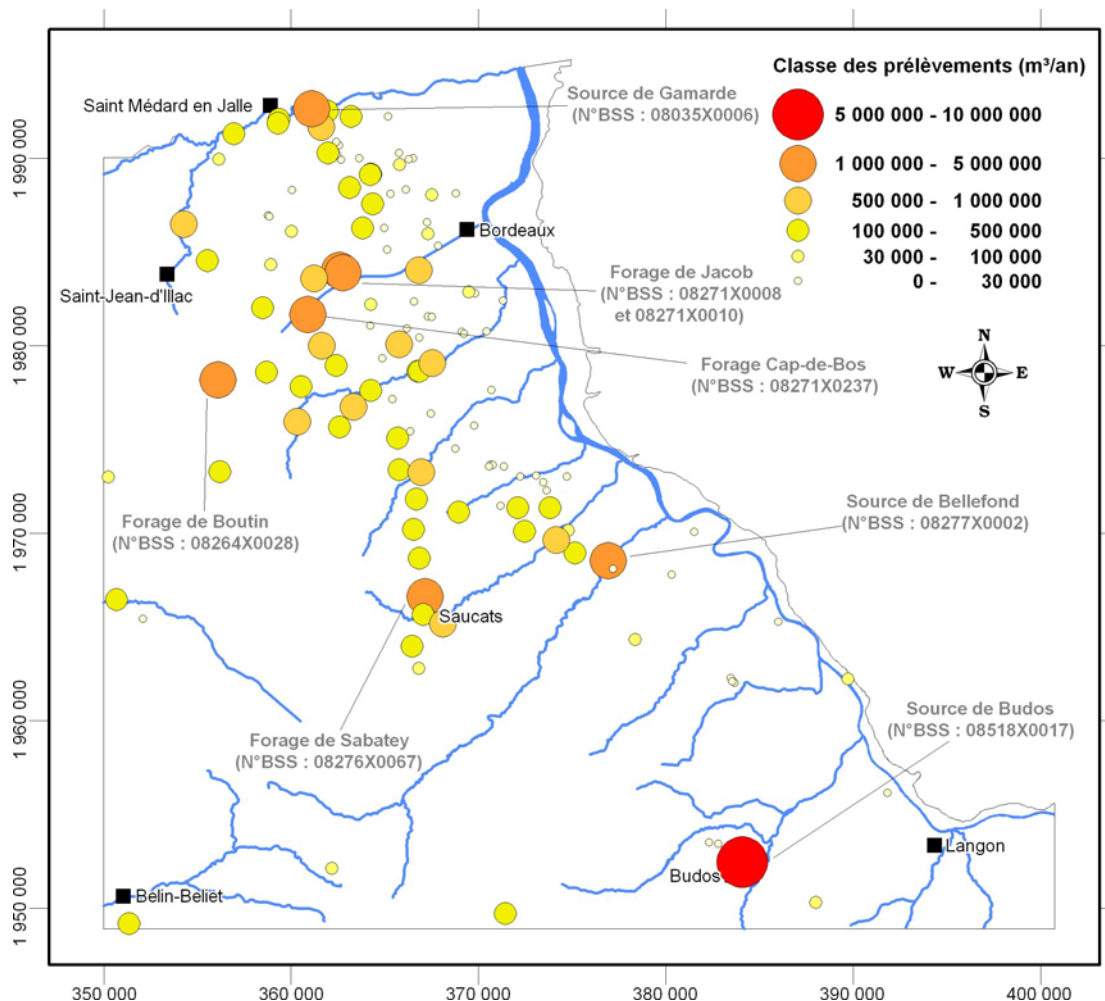


Figure 37 : Répartition des prélèvements dans la nappe de l'Oligocène en 2007

Par ailleurs, l'ensemble de forage de la ligne des « 100 000 m³ par jour », orienté selon un axe nord-sud participe également de manière importante à l'alimentation en eau potable en fournissant près de 4,9 million de m³/an soit 12 % du volume prélevé dans la nappe. Plus proche de l'agglomération bordelaise, les forages de Jacob, de Boutin et de Cap-de-Bos ont fourni en 2007 un total de 4,5 millions de m³.

Les prélèvements annuels dans la nappe de l'Oligocène de 1972 à 2007 ont augmenté de près de 40% pour passer de 29 millions de m³/an à 41 millions de m³/an (Figure 38). A noter que le pic des prélèvements a été observé en 2004.

L'intensification progressive des prélèvements au fil des ans s'explique principalement par l'augmentation des besoins en eau de l'agglomération bordelaise et le transfert d'une partie des prélèvements depuis la nappe de l'Eocène, qui s'est opéré à partir de 1996, pour soulager cette dernière.

Ce report n'a néanmoins pas été effectué sur les forages de la ligne des « 100 000 m³/j », puisque les prélèvements dans ce secteur ont atteint un maximum en 1995 (6,2 millions de m³/an) et diminuent progressivement depuis pour passer en 2007 sous la barre des 5 millions de m³ /an.

Le débit des principales sources étant globalement relativement constant l'augmentation des prélèvements a principalement été reportée sur les forages de la zone bordelaise notamment sur le secteur de Mérignac.

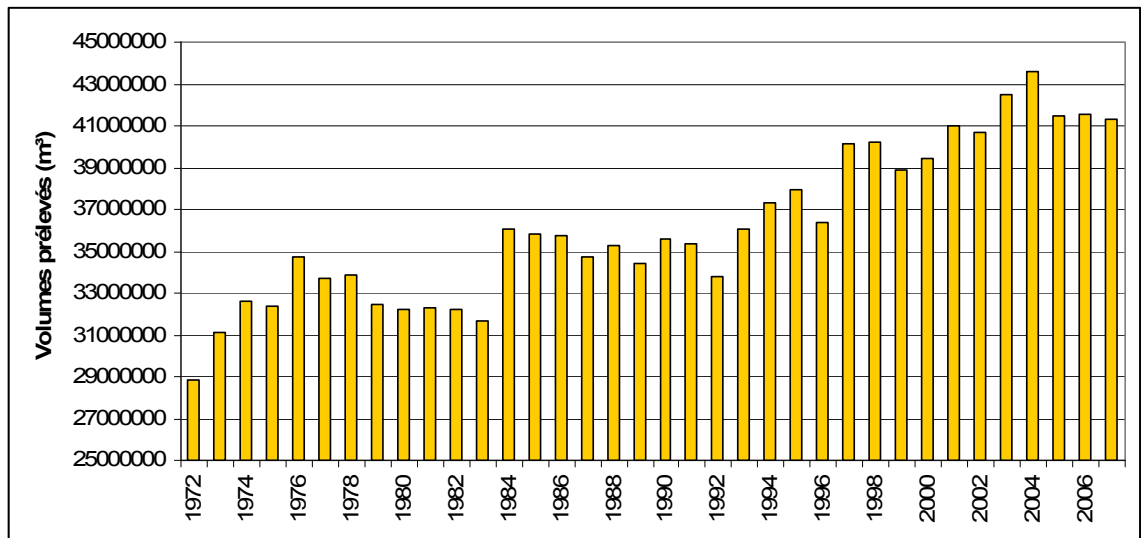


Figure 38 : Évolution des prélèvements dans la nappe de l'Oligocène de 1972 à 2007

4.1.5. Recharge

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

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

- où
- P = Précipitations
 - ETP = Evapotranspiration potentielle
 - R = Ruissellement
 - Ip = Infiltration en profondeur
 - ΔS = Variation de stock d'eau dans le sol sur une épaisseur Δz de sol et durant le pas de temps

Les données météorologiques (P et ETP) sont collectées régulièrement auprès de la *Division Climatologique Interrégionale Sud-Ouest* de Météo France pour la station de Mérignac en Gironde.

Pour réaliser ces bilans, le sol est assimilé à un réservoir d'une capacité maximale en eau donnée (classiquement appelée « réserve utile »). Des valeurs de réserve utile (RU) de 100 et de 150 mm ont été retenues pour les calculs de pluies efficaces. La première correspond à un compromis territorial à l'échelle de la zone d'étude tandis que la seconde (150 mm) constitue une fourchette haute de la réserve utile du sol permettant de borner le travail de modélisation. Le bilan est réalisé au pas de temps décennal. Les valeurs sont ensuite agrégées au pas de temps annuel sur la période 1972-1997 et au pas de temps trimestriel de 1998 à 2007. Les résultats obtenus à la station de Mérignac pour des RU de 100 mm et de 150 mm sont présentés en Figure 39.

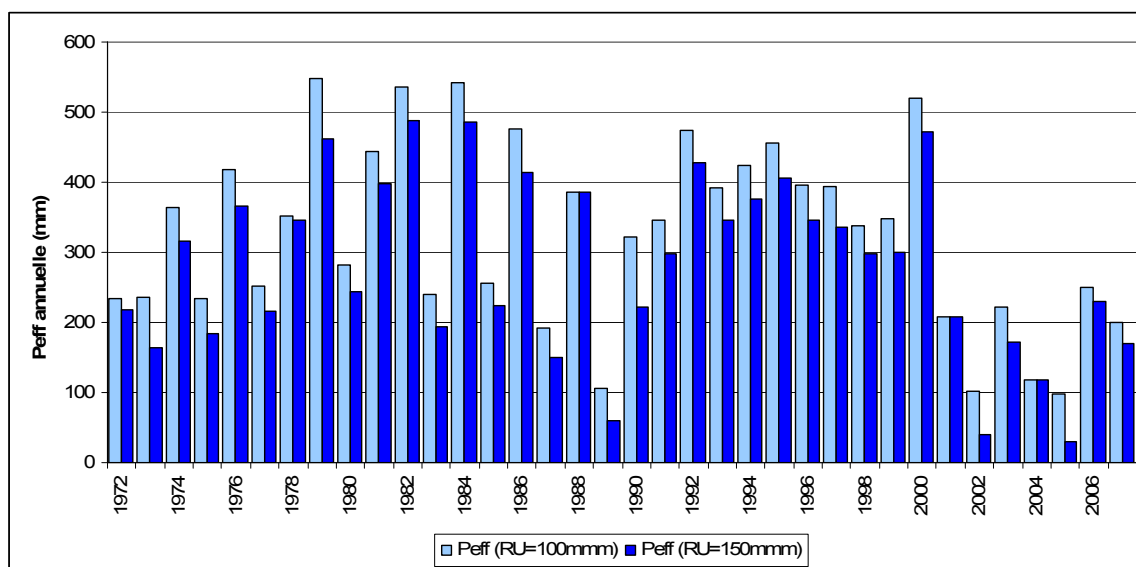


Figure 39 : Évolution des précipitations efficaces annuelles à la station de Mérignac (33)

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

Les données de pluies efficaces de la station de Mérignac, avec une RU de 150 mm, ont donc servi de base pour le calcul de la recharge du modèle. Ce paramètre a dans un premier temps été calé en régime permanent (année 2006) en modulant les valeurs par zone (Figure 40). Ces différents ensembles ont été définis en fonction de l'occupation des sols (végétation, urbanisation,...) et de la nature des sols (calcaire, sable,...). Ainsi, les zones 1, 2 et 3 correspondent respectivement aux faciès des Sables des Landes, aux alluvions de la Garonne et aux affleurements calcaires. La zone 4, quand à elle, représente l'extension de la zone urbaine de la CUB au sein de laquelle l'infiltration peut être considérée comme plus faible.

Pour le régime transitoire, les valeurs de chaque pas de temps ont été obtenues, pour chaque zone météorologique (ZMTO), en faisant une pondération par rapport à la valeur de l'année de référence :

$$R_{z,k} = \frac{P_{eff}(k)}{P_{eff,perm}} R_{Z,perm}$$

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

$R_{Z,perm}$: valeur de recharge du régime permanent pour la zone météorologique z,

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

$P_{eff,perm}$: pluie efficace du régime permanent pour la station météo considérée.

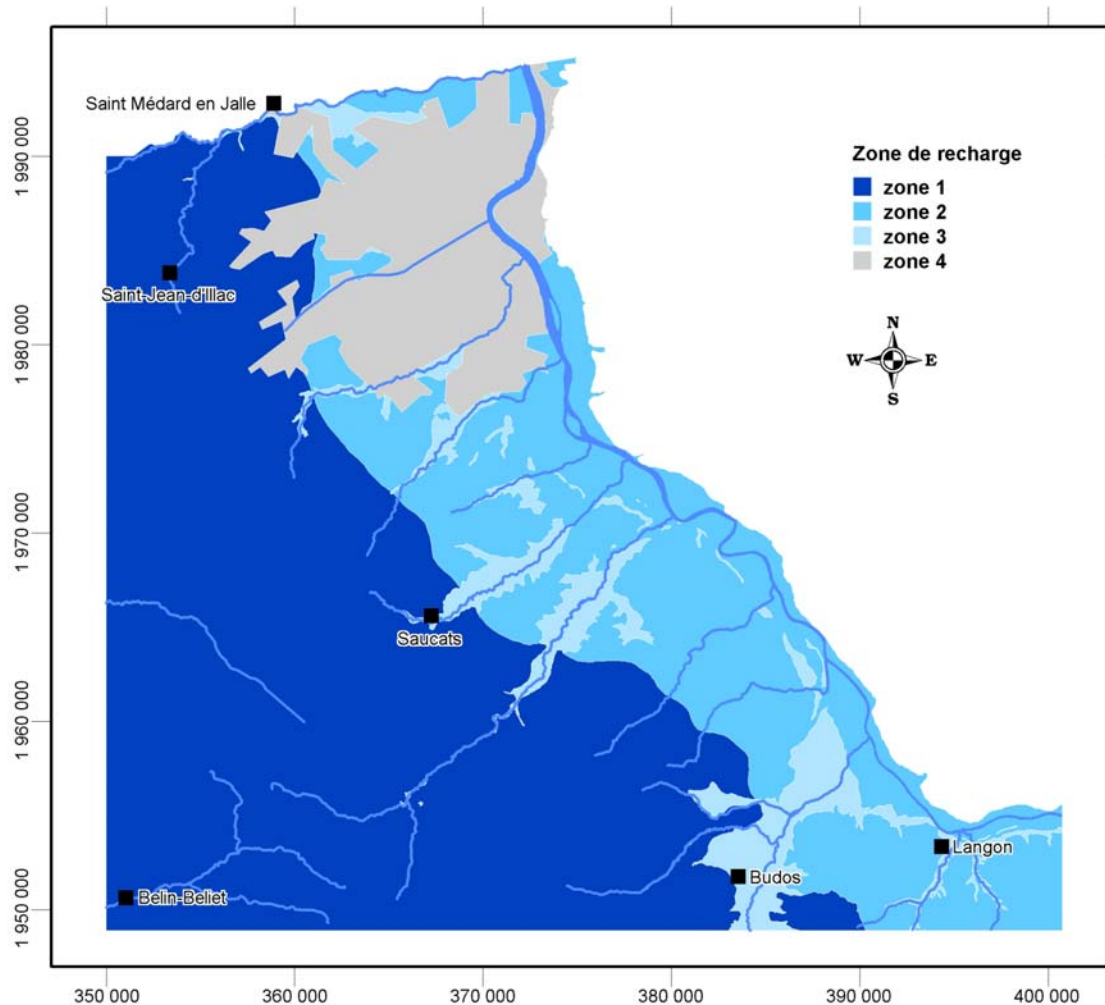


Figure 40 : Localisation des différentes zones de recharge

4.1.6. Paramètres hydrodynamiques

Il n'est pas aisé d'extrapoler les valeurs de transmissivité issues de l'interprétation de pompages d'essai, qui explorent un volume de terrain limité (extension latérale et épaisseur), et de transposer les valeurs de perméabilités correspondantes dans le modèle.

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

Ainsi, les données issues des dossiers de forages de la BSS captant la nappe de l'Oligocène ont été collectées. Au total, 82 valeurs de transmissivité ont ainsi pu être utilisées dans cette première approche.

Les perméabilités mesurées sur la zone d'étude varient dans une large gamme allant de $3 \cdot 10^{-6} \text{ m.s}^{-1}$ à $2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m.s}^{-1}$. Les valeurs de perméabilité peuvent être regroupées en deux ensembles, centrés autour de $2 \cdot 10^{-5} \text{ m.s}^{-1}$ et $2 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$, toutefois, la répartition spatiale de ces valeurs ne montre pas d'organisation nette.

On note simplement que les valeurs les plus fortes sont observées au droit des affleurements oligocènes près des ruisseaux du Saucats et du Gat-Mort du fait de l'importance locale de la karstification.

Dans chaque maille du modèle deux coefficients d'emmagasinement sont introduits :

- le coefficient d'emmagasinement à surface libre : c'est en quelque sorte une porosité efficace ; il est utilisé quand une maille (quelle que soit la couche) n'est pas entièrement saturée (ce coefficient est celui qui serait déduit d'un pompage d'essai dans une région où la nappe est libre) ;
- le coefficient d'emmagasinement captif pour lequel il est possible d'introduire soit le coefficient d'emmagasinement spécifique soit le coefficient d'emmagasinement captif des hydrogéologues [Thiéry, 2004].

Cette approche est particulièrement intéressante dans le cadre de la problématique qui nous intéresse. En effet, elle permet de pouvoir appréhender sans problème le dénoyage de l'aquifère de l'Oligocène.

Néanmoins, les mesures de coefficient d'emmagasinement sont très peu nombreuses et ce paramètre fera l'objet d'un calage en régime transitoire.

A noter cependant que les quelques valeurs à disposition indiquent que le coefficient d'emmagasinement captif est de l'ordre de $1 \cdot 10^{-4}$.

4.1.7. Points d'observation

Les points d'observation sont utilisés pour le calage et la validation du modèle. Les chroniques piézométriques qui servent de base à l'élaboration du fichier de points d'observation intégrés dans le modèle permettent la comparaison des valeurs observées aux valeurs restituées. Le BRGM est opérateur des réseaux de suivi piézométrique sur le département de la Gironde pour le compte du Conseil Général (maître d'ouvrage). Les données piézométriques sont bancarisées dans la **BDES** (**B**ase de **D**onnées sur les **E**aux **S**outerraines) et dans **ADES** (banque nationale d'**A**ccès aux **D**onnées sur les **E**aux **S**outerraines). Un recensement exhaustif des piézomètres assurant le suivi du niveau des nappes des alluvions de la Garonne, du Plio-Quaternaire, du Miocène et de l'Oligocène a été réalisé. Au total, 167 piézomètres de contrôle ont pu être implémentés dans le modèle (Tableau 7).

Nappe considéré	Couche du modèle	Nombre de points d'observation
Nappe alluviale de la Garonne	C1 Réservoir Plio-Quaternaire (REMI + ALUV)	5
Nappe du Plio-Quaternaire	C1 Réservoir Plio-Quaternaire (REMI + ALUV)	7
Nappe de l'Helvétien et de l'Aquitainien	C2 Réservoir miocène (MIOC)	41
Nappe de l'Oligocène	C4 Réservoir oligocène (OLNP)	114

Tableau 7 : Points d'observation

Les chroniques piézométriques correspondent soit à des mesures manuelles, soit à des enregistrements continus. Le pas d'échantillonnage des mesures est variable d'un point à un autre. Les chroniques les plus complètes, couvrant la période la plus longue, seront utilisées pour le calage du modèle en régime transitoire. Par ailleurs les autres mesures serviront de référence pour le calcul des écarts entre les mesures observées et les valeurs restituées par le modèle.

La distribution des points d'observation n'est pas homogène à l'échelle considérée, notamment à l'ouest de Saucats. Plus au sud, la disparition des réservoirs au droit de l'axe de la structure de Villagrains-Landiras explique pour partie la faible densité des piézomètres de contrôle (Figure 41).

La nappe du Plio-Quaternaire est relativement peu suivie (12 piézomètres). Le calage du modèle hydrodynamique pour cette nappe se fera donc pour partie par comparaison des charges restituées par rapport à la carte piézométrique de référence issue de la bibliographie [Bichot et al., 2001].

La piézométrie de la nappe du Miocène est mieux connue, 41 points d'observation au total, sur lesquels 13 ouvrages ont des chroniques suffisamment longues pour permettre une comparaison fiable avec les valeurs ponctuelles restituées.

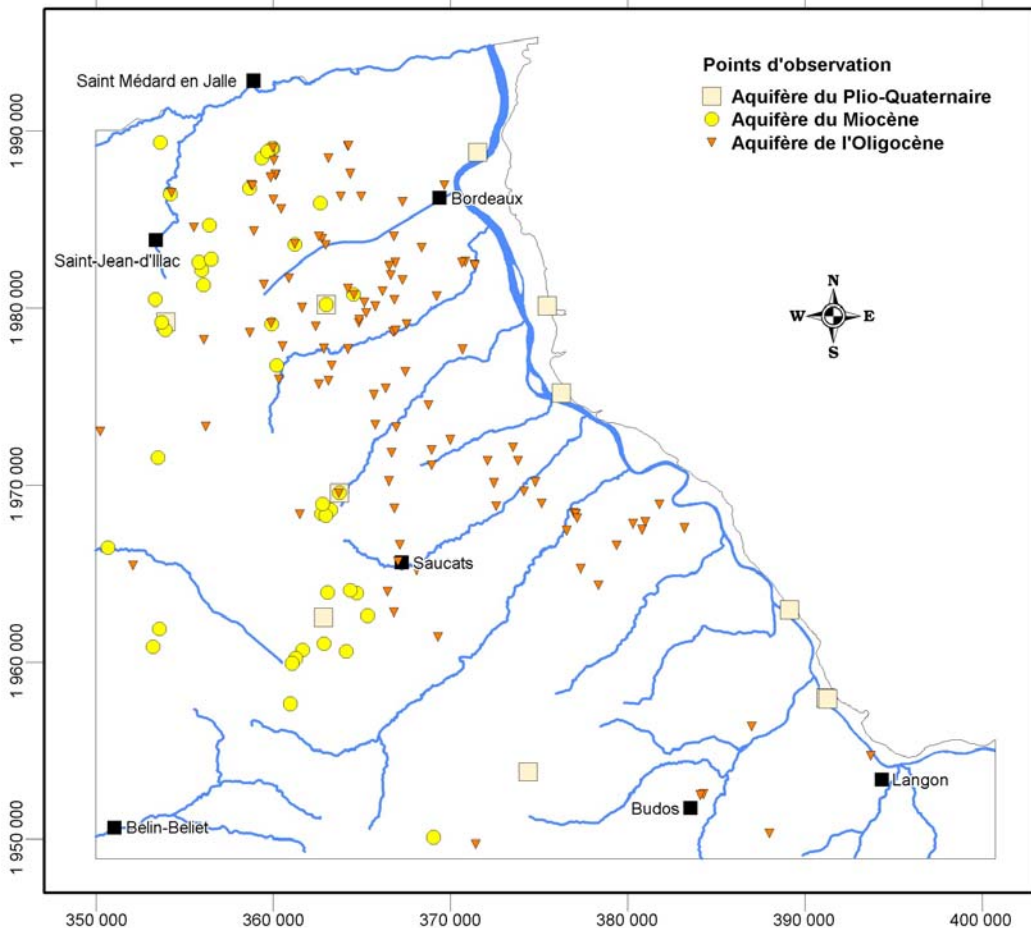


Figure 41 : Localisation des points d'observation

L'évolution de la piézométrie de la nappe de l'Oligocène est la mieux connue avec un total de 114 ouvrages. Sur cet ensemble, une quarantaine d'ouvrages présentent des chroniques assez complètes pour servir au calage du modèle en régime transitoire. Ces points sont relativement bien répartis sur le secteur d'étude. Les chroniques piézométriques de l'Oligocène permettent d'identifier ponctuellement des zones où le réservoir a subi un dénoyage, notamment sur les communes de Mérignac et de Saucats (Figure 42). Ces zones dénoyées, mises en évidence en phase 1 (cf. rapport BRGM RP-53756-FR) correspondent à des secteurs clés pour la modélisation et devront faire l'objet d'une attention toute particulière.

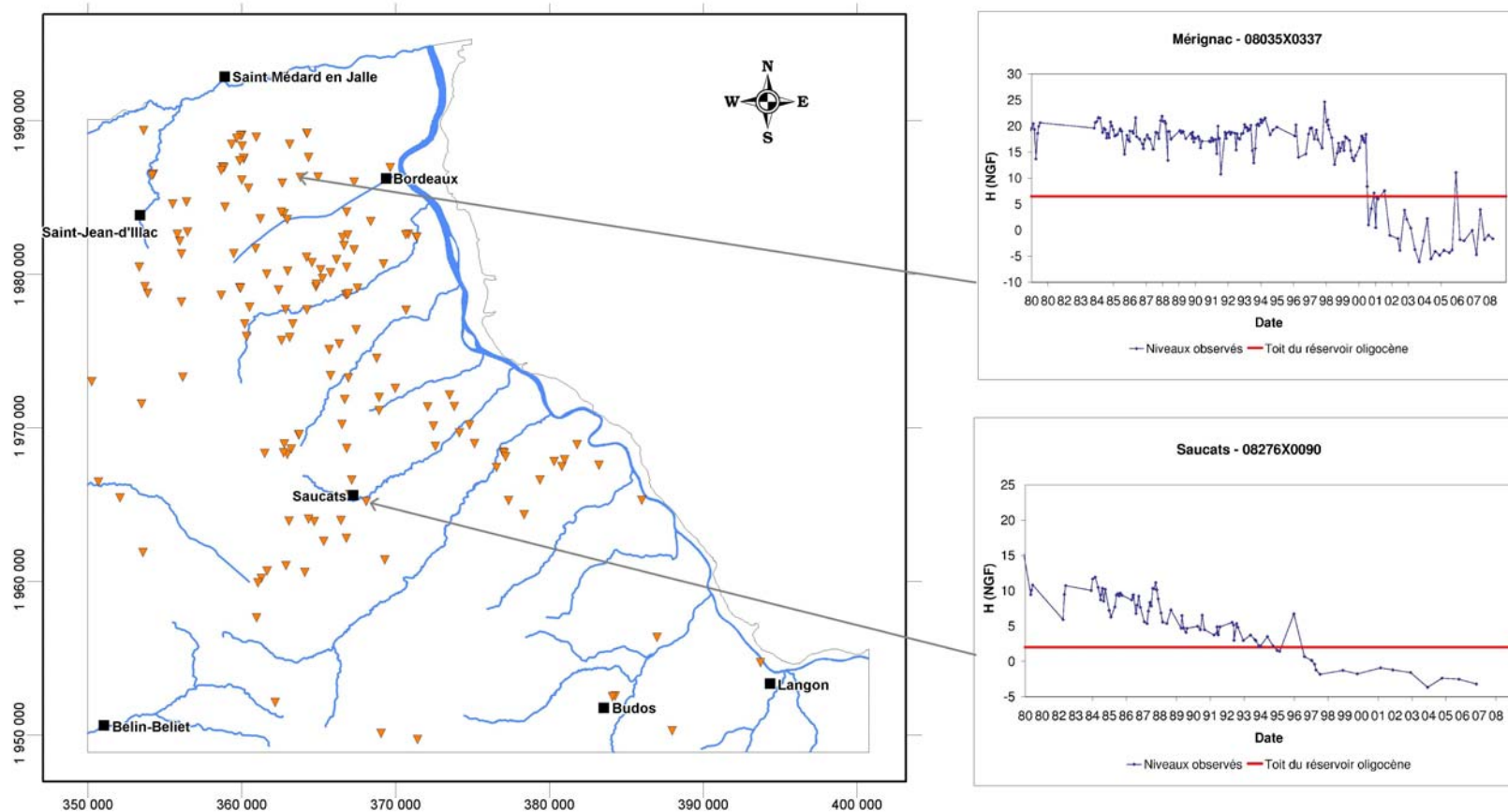


Figure 42 : Chroniques piézométriques illustrant le dénoyage de l'aquifère

4.2. CALAGE DU MODELE

4.2.1. Démarche de calage

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

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

La première phase a été réalisée à partir des données (prélèvements, recharge, conditions aux limites,...) de l'année 2006, période pour laquelle le plus grand nombre d'informations était disponible.

La période de calage retenue pour la deuxième phase s'étend de 1972 à 1997 (26 ans) au pas de temps annuel et de 1998 à 2007 (10 ans) au pas de temps trimestriel.

Le calage des 3 couches aquifères considérées (Plio-Quaternaire, Miocène et Oligocène) a été effectué en privilégiant la comparaison par points de mesures plutôt que la comparaison par cartes.

En effet, les cartes piézométriques représentent une interprétation parmi d'autres et plusieurs tracés alternatifs sont possibles. De plus, elles sont réalisées à partir de mesures non synchrones.

Elles ne constituent donc pas des références absolues et il serait illusoire de rechercher une adéquation parfaite entre les isovaleurs calculées et les isovaleurs des cartes.

Une troisième phase peut être réalisée à posteriori pour valider le modèle sur une période donnée dans le but de tester la réaction du modèle sans intervention de l'opérateur.

La procédure de calage suivie est illustrée par le schéma ci-dessous (Figure 43) :

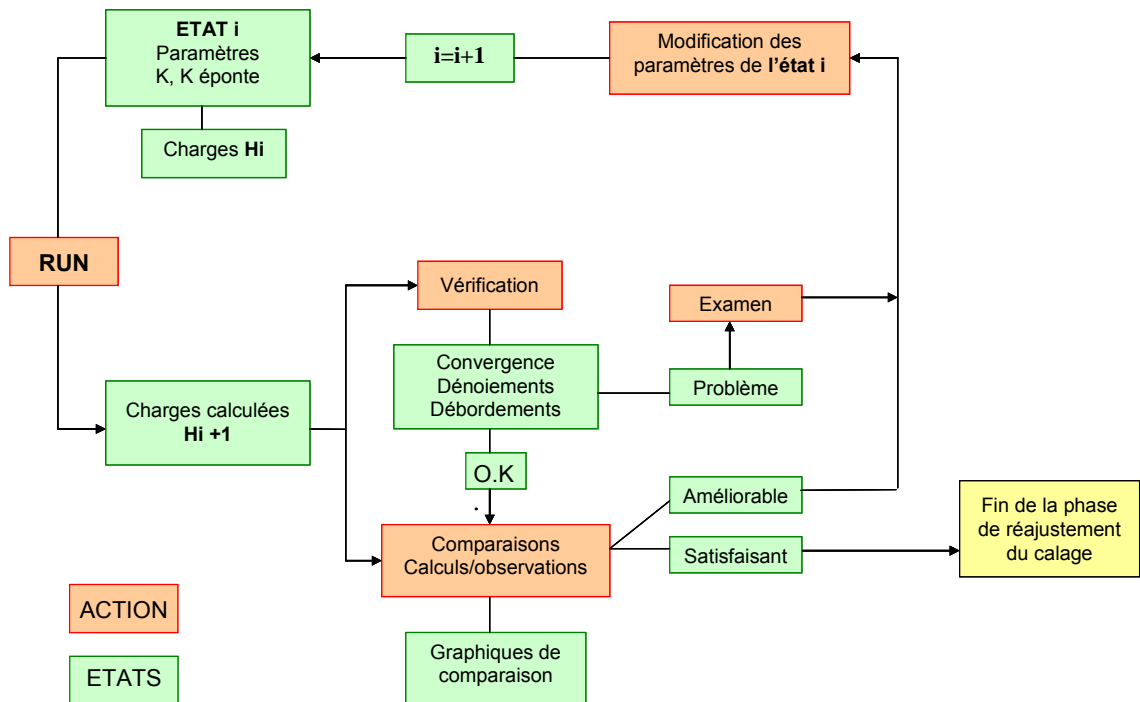


Figure 43 : Procédure de calage

4.2.2. Calage du modèle en régime permanent

Cette première étape de modélisation a plusieurs objectifs :

- valider les choix de construction du modèle (nombre de couches, conditions aux limites,...),
- s'assurer du bon fonctionnement du modèle et de tous ces composants (ex : réseau hydrographique),
- réaliser une première appréciation du champ des perméabilités pour retranscrire au mieux la piézométrie.

L'exploitation importante de la nappe de l'Oligocène ne permet pas de considérer l'existence d'un régime permanent au sein de cette nappe. Le régime permanent correspondrait à l'état initial du système avant tout soutirage pour lequel les données sont trop fragmentaires.

La modélisation en régime permanent a été réalisée en s'appuyant sur les données de l'année 2006. L'objectif est de satisfaire aux objectifs préliminaires exposés ci-dessus avant le passage en régime transitoire réel objectif de cette étude.

Restitution piézométrique

Dans une première approche, la comparaison de la distribution des valeurs de charge modélisées aux cartes piézométriques construites à partir des mesures permet d'évaluer qualitativement la cohérence des écoulements restitués.

• Nappe du Plio-Quaternaire

Les cartes piézométriques de la nappe du Plio-Quaternaire sont peu nombreuses, néanmoins, les hauteurs piézométriques restituées sont cohérentes avec les cartes existantes [Bichot et al., 2001].

Cette nappe étant libre, elle constitue une entrée fondamentale du système dépendant de la recharge qui lui est affectée. Par ailleurs, cette unité est drainée par de nombreux cours d'eau. La finesse du maillage permet une bonne restitution de l'influence des principaux cours d'eau (Figure 44).

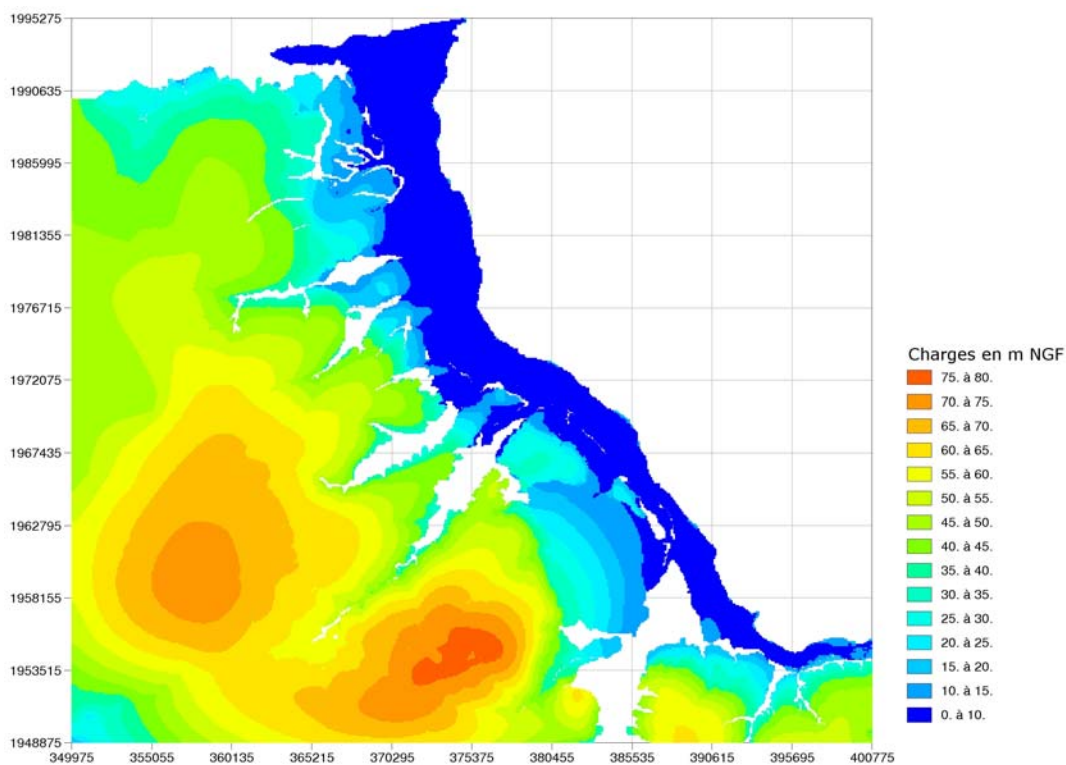


Figure 44 : Hauteurs piézométriques restituées – nappe du Plio-Quaternaire, année 2006

• Nappe du Miocène

Les hauteurs piézométriques pour la nappe du Miocène peuvent être considérées comme bien restituées (Figure 45).

La ligne de partage des eaux des deux représentations (calculées et mesurées) coïncide dans leur ensemble. Les gammes observées sont globalement similaires et les principaux axes de drainage sont pour la plupart bien restitués.

A noter que les piézométries de la nappe du Plio-Quaternaire et du Miocène sont relativement similaires. Elles sont toutes deux très marquées par le réseau hydrographique, principalement les affluents de rive gauche de la Garonne qui viennent drainer ces nappes.

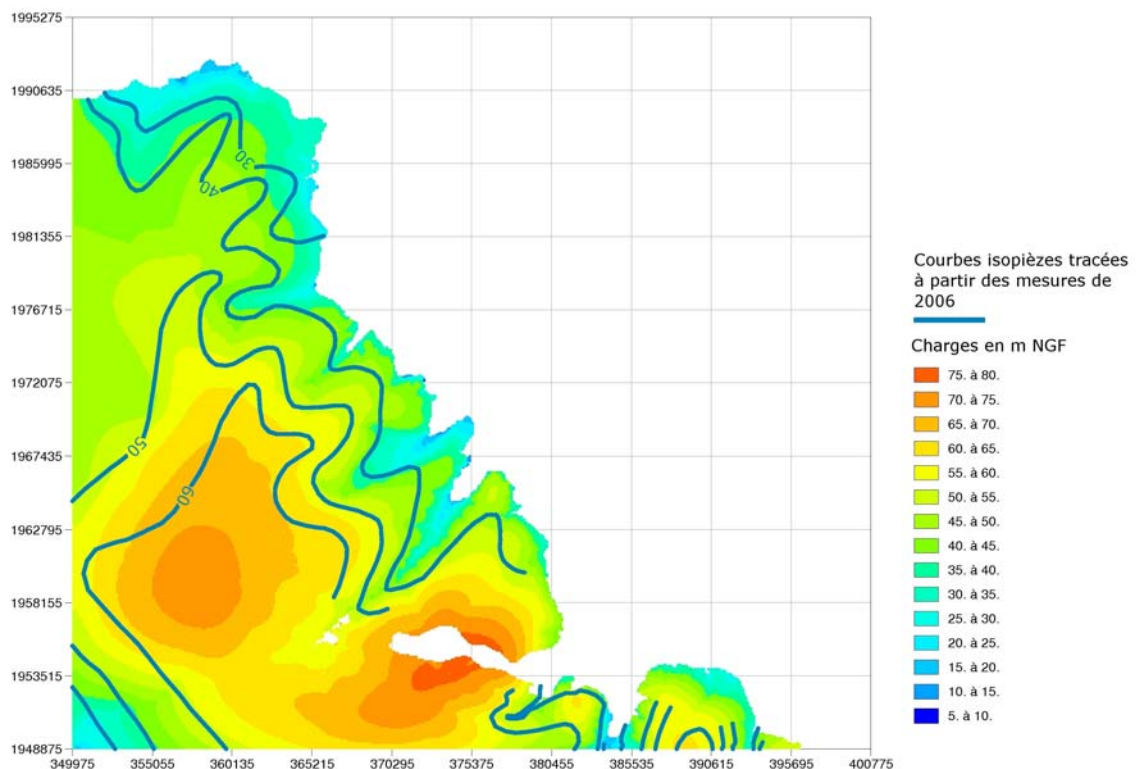


Figure 45 : Hauteurs piézométriques restituées – nappe du Miocène, année 2006

• Nappe de l'Oligocène

La piézométrie simulée pour la nappe de l'Oligocène est comparable à celle dressée à partir des points de mesure (Figure 46). La ligne de partage des eaux, située à l'est de notre domaine, séparant les écoulements vers la Garonne à l'est et vers l'océan à l'ouest, est restituée convenablement. La dépression générée par les prélèvements sur la ligne des « 100 000 m³/jour » est elle aussi bien reproduite.

Des divergences apparaissent toutefois entre la piézométrie construite à partir des mesures de 2006 et les charges restituées par le modèle. C'est notamment le cas au sud-est du secteur d'étude dans la vallée du Ciron où le drainage de la nappe n'est pas représentée dans l'interprétation de 2006.

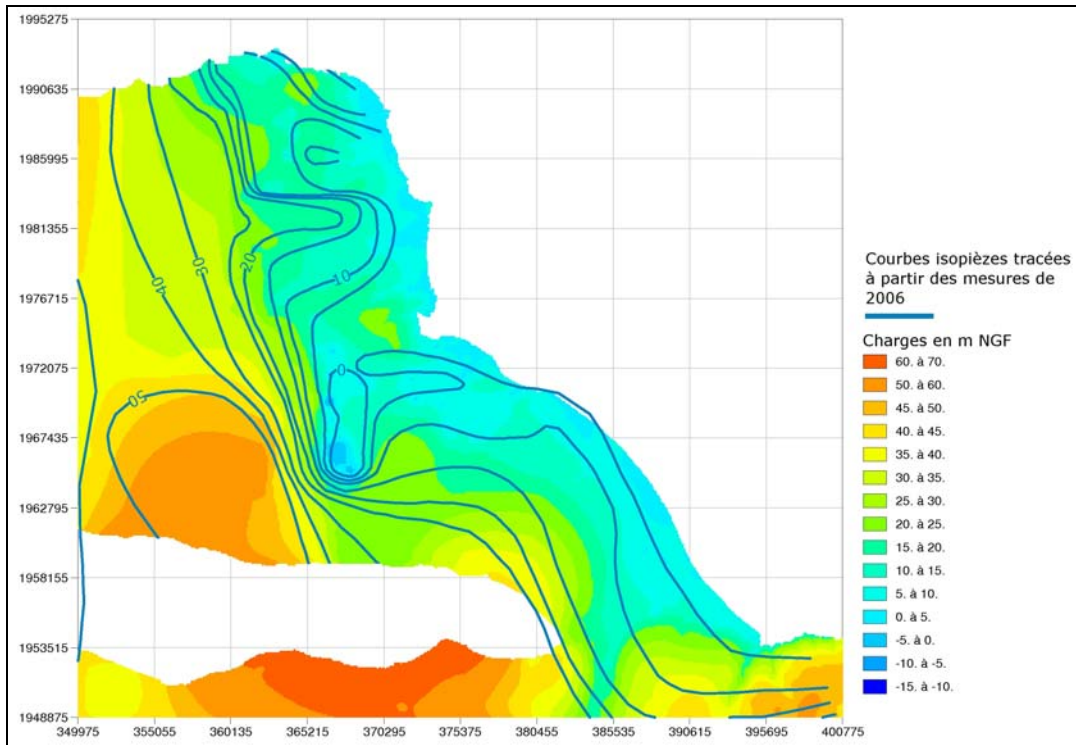


Figure 46 : Hauteurs piézométriques restituées – nappe de l'Oligocène, année 2006

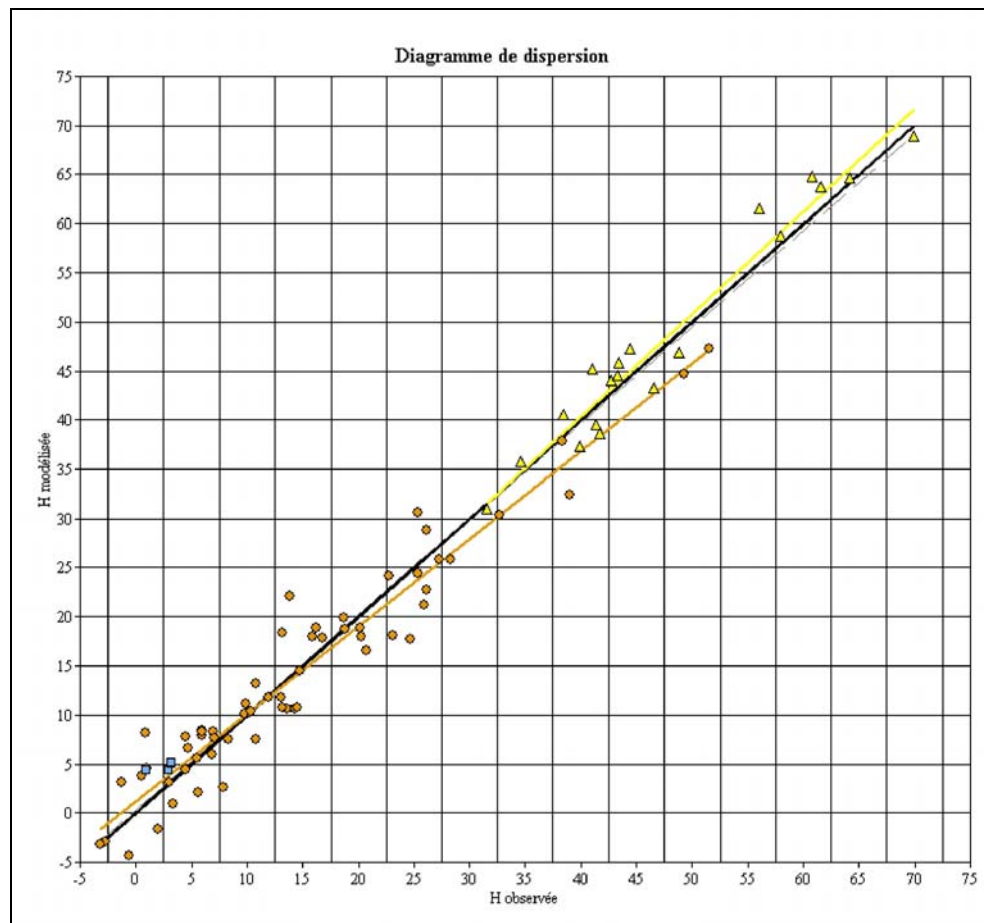
Diagramme de dispersion

Au total, 86 points ont été utilisés en régime permanent pour appréhender la corrélation entre les charges mesurées et simulées, 4 pour les alluvions de la Garonne, 19 pour la nappe du Miocène et 61 pour la nappe de l'Oligocène. D'une manière générale, les hauteurs piézométriques restituées présentent une corrélation satisfaisante avec les valeurs observées (Figure 47).

Une erreur moyenne proche de 0 ($5 \cdot 10^{-3}$ m) constitue un bon résultat et traduit une simulation satisfaisante. Toutefois, les mesures surestimées et sous-estimées ont tendance à se compenser, c'est pourquoi, il est intéressant de comparer ce résultat au résidu moyen absolu $|\overline{R}|$ s'exprimant comme suit :

$$|\overline{R}| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |H_{calc} - H_{obs}|$$

- H_{calc} : valeur simulée,
 H_{obs} : valeur mesurée sur le terrain,
 n : nombre de points d'observation,



- Droite d'écart zéro entre valeurs simulées et observées
- Droite de régression des valeurs simulées et observées pour le Miocène
- Droite de régression des valeurs simulées et observées pour l'Oligocène

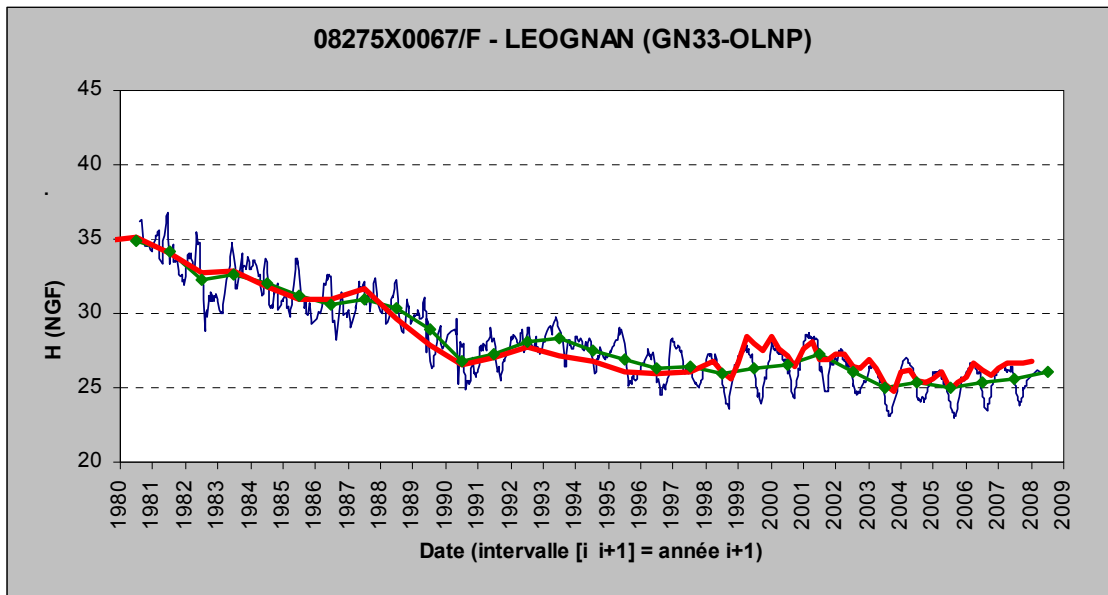
Figure 47 : Diagramme de dispersion des hauteurs piézométriques calculées et observées pour l'année 2006

Une valeur moyenne de 2,5 m reste acceptable sachant que la simulation en régime permanent n'est pas une fin en soit mais un prélude au passage en régime transitoire.

4.2.3. Calage du modèle en régime transitoire

a) Restitution piézométrique

Les graphiques de comparaison entre les courbes d'évolution tracées à partir des mesures et des charges calculées par le modèle pour les nappes du Plio-Quaternaire, du Miocène et de l'Oligocène sont présentés en annexe 4. L'exemple présenté en Figure 48 illustre le format de restitution des données avec en bleu les mesures brutes observées, en vert la moyenne annuelle des valeurs observées et en rouge les charges calculées par le modèle au droit du piézomètre.



- Niveaux piézométriques observés
- ◆ Moyennes annuelles des niveaux piézométriques observés
- Niveaux piézométriques annuels simulés sur la période 1972-2007

Figure 48 : Comparaison entre les niveaux observés et simulés

L'ajustement apparaît visuellement satisfaisant sur la grande majorité des chroniques de calage pour les 3 nappes considérées (Annexe 4). La plupart des points sont bien reproduits en niveaux, en phase, en pente et en amplitude de variations.

Pour l'aquifère de l'Oligocène, qui nous intéresse plus particulièrement, nous avons individualisé trois secteurs : l'agglomération bordelaise, la zone des « 100 000 m³/jour », et les abords de la Garonne.

Au droit de l'agglomération bordelaise et dans ses environs, les chroniques peuvent être classées en trois catégories :

- des chroniques caractérisées par une certaine stabilité de la charge au cours du temps (Figure 49 : pt 08264X0012)
- des chroniques qui traduisent une modification du régime d'exploitation de la nappe. Ce phénomène est matérialisé par une chute brutale des charges mesurées, atteignant près de 20 m dans certains secteurs alors que la piézométrie était stable au préalable (Figure 49 : pt 08035X0337).
- des chroniques montrant une baisse progressive du niveau piézométrique au cours du temps (Figure 49 : pt 08271X0106)

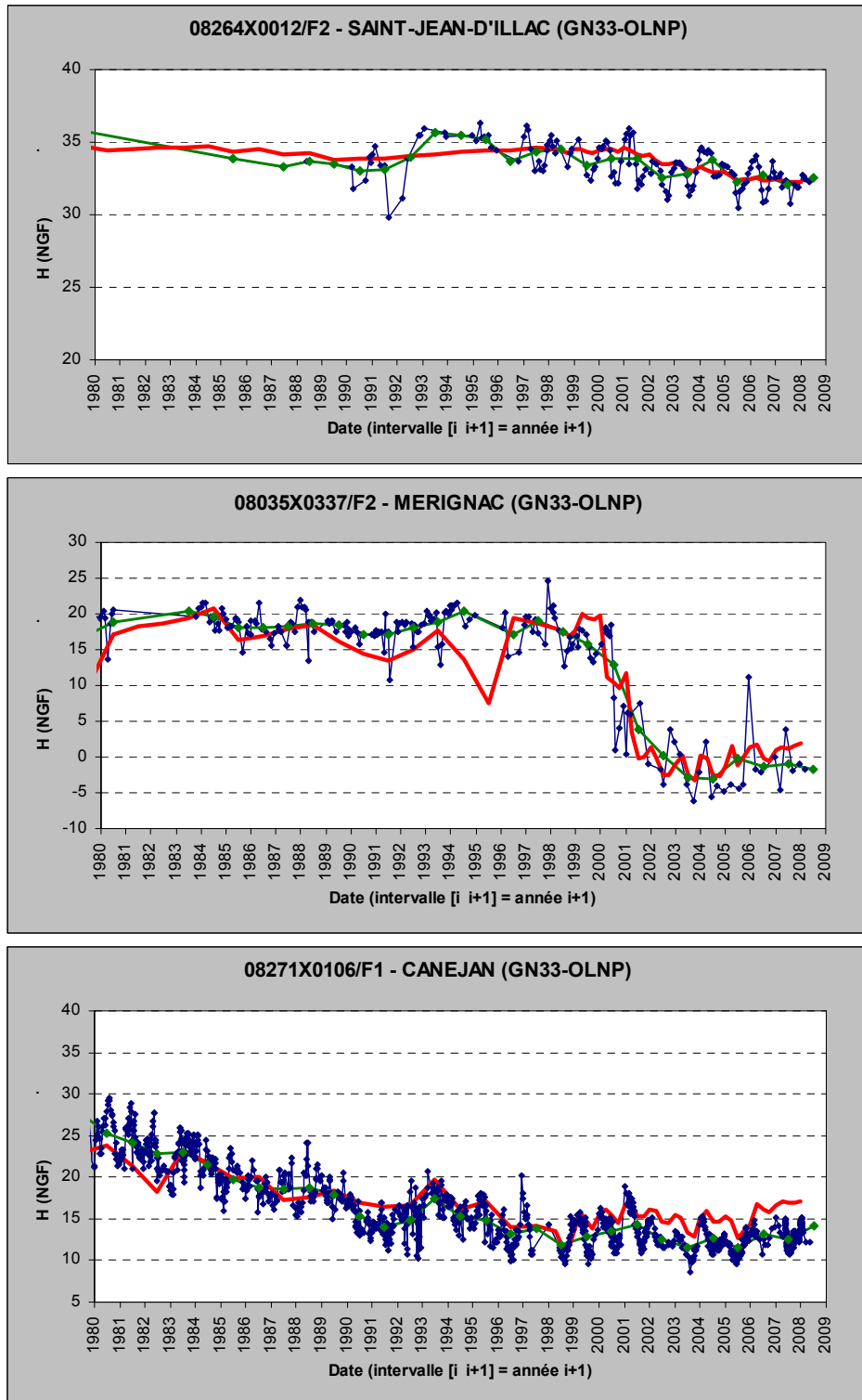


Figure 49 : Chroniques piézométriques dans la zone bordelaise

Sur le secteur de la ligne des « 100 000 m³/jour », la quasi-totalité des chroniques sont caractérisées par des tendances à la baisse. Néanmoins, certaines d'entre elles semblent se stabiliser à partir des années 2000 (Figure 50).

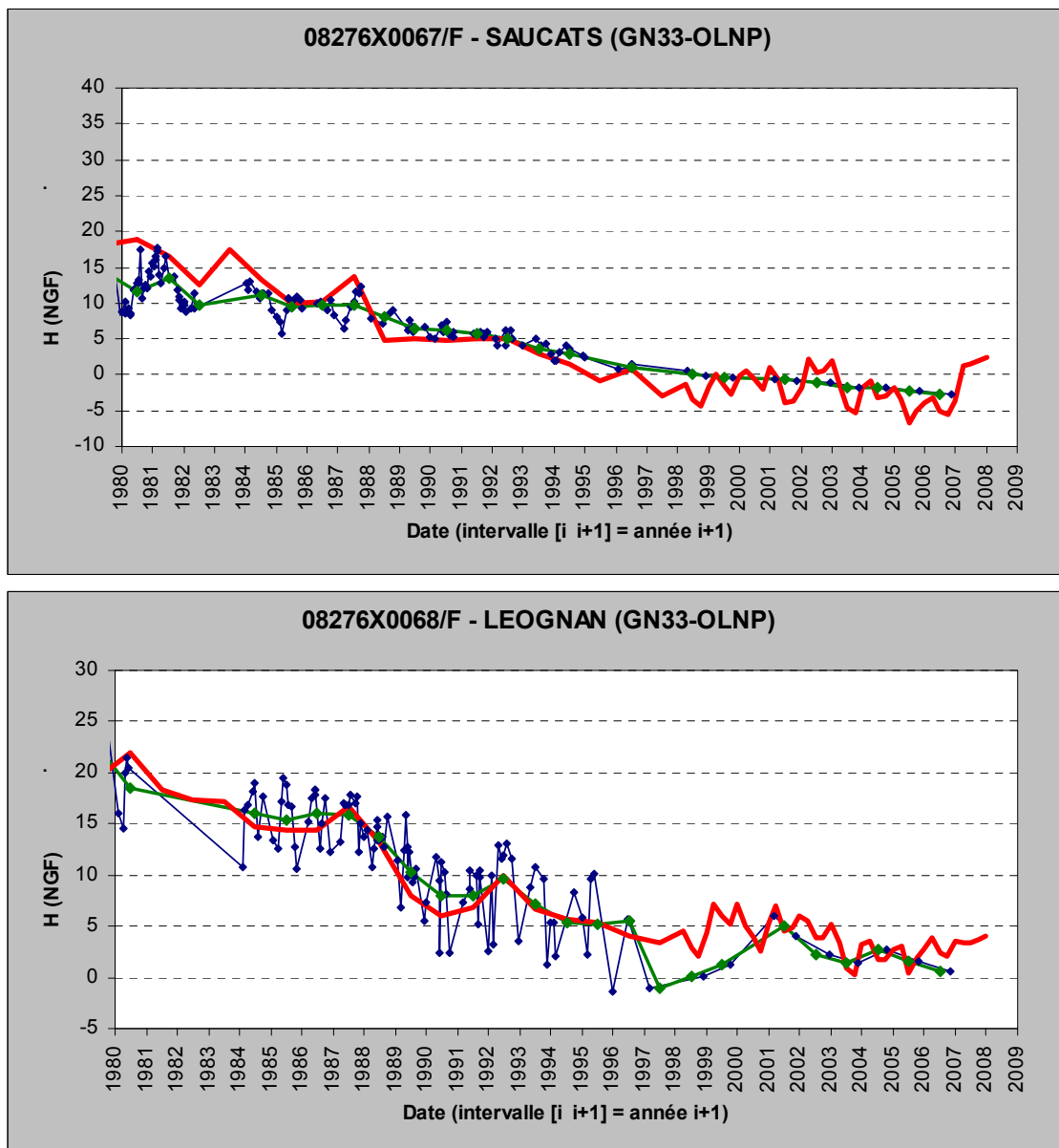


Figure 50 : Chroniques piézométriques sur la ligne des 100 000 m³/j

Les chroniques enregistrées dans les forages localisés en bordure de Garonne sont plus stables, elles montrent le plus souvent des charges inférieures à 20 m NGF.

b) Analyse des écarts

Afin de quantifier l'ajustement obtenu, les écarts entre observations et simulations relevés sur les chroniques de calage ont été calculés. La démarche suivie pour l'analyse de ces écarts reprend celle mise en œuvre pour l'expertise du **MOdèle Nord Aquitain** dans sa version 5 km [Seguin, 1999].

Les chroniques piézométriques des nappes du Plio-Quaternaire et du Miocène ont été utilisées ici principalement comme points de contrôle visuel et n'ont pas fait l'objet d'une analyse plus approfondie. Nous nous intéresserons donc exclusivement à la nappe de l'Oligocène, objet principal de cette étude.

L'analyse porte sur la période allant de 1980 à 1997. Les premières années (1972 à 1979) ont été retirées de l'analyse afin d'éliminer l'influence d'un état initial incertain. Le nombre de pas de temps pris en compte est de 18, l'année 1998 correspondant au passage du pas de temps annuel au pas de temps trimestriel. Sur cette période, pas de temps par pas de temps, et piézomètre par piézomètre, les écarts individuels ($H_{obs} - H_{sim}$) entre la moyenne annuelle des observations (H_{obs}) et le niveau simulé par le modèle (H_{sim}) sont calculés.

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

• **Écarts individuels $H_{obs} - H_{sim}$**

Toutes les chroniques présentées en Annexe 4 ont été prises en compte dans l'analyse soit un total de 109 piézomètres pour 1 106 mesures. Les paramètres statistiques de base sur la période considérée sont donnés dans le Tableau 8.

	Période (1980-1997)
Nombre de valeurs	1106
Moyenne \bar{m} (en m)	-0.02
Ecart Type σ (en m)	2.45
Minimum (en m)	-7.61
Maximum (en m)	8.22

Tableau 8 : Oligocène - statistiques sur les écarts entre piézométrie observée et piézométrie simulée calculés sur les chroniques de mesures disponibles

La moyenne des écarts entre piézométrie observée et simulée est proche de zéro ce qui est satisfaisant.

Mais les erreurs positives et négatives peuvent se compenser c'est pourquoi il est intéressant de calculer la moyenne des écarts absolus.

$$|m| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |H_{cal} - H_{obs}|$$

Il ressort que l'erreur moyenne absolue est de 1,84 m. Cette valeur peut être considérée comme un résultat tout à fait acceptable.

Les écarts maximum et minimum observés sont compris dans une gamme de l'ordre de ± 8 m ce qui reste admissible.

La distribution des écarts s'organise selon une loi normale (Figure 51).

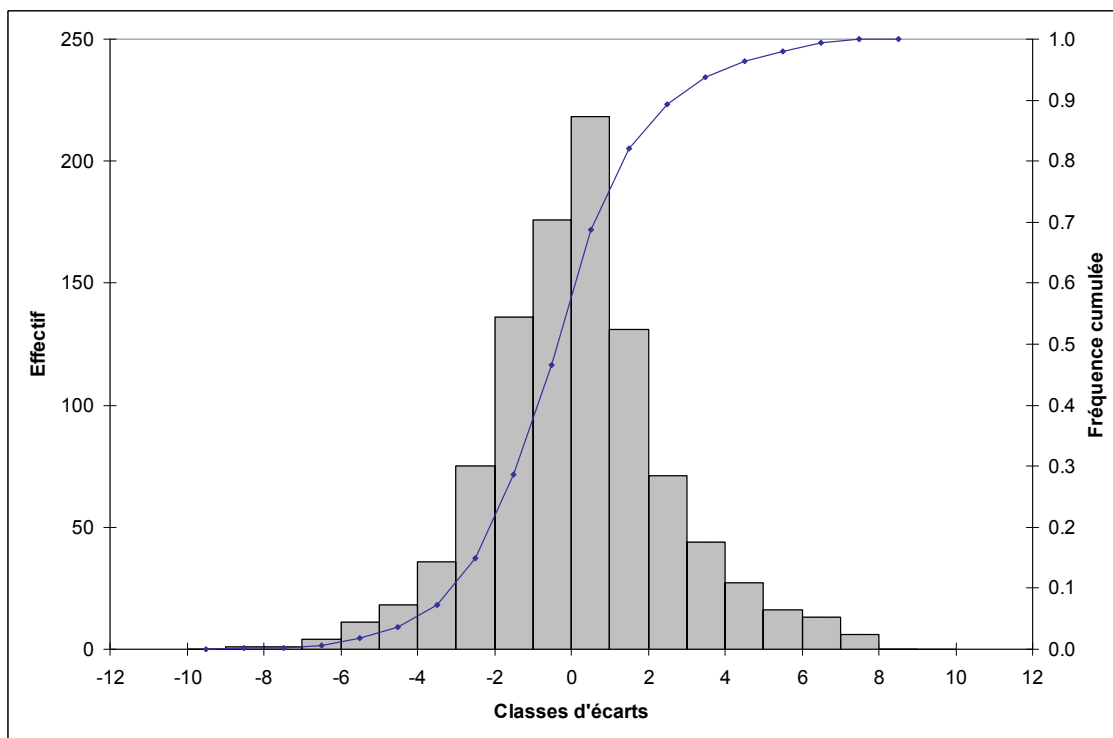


Figure 51 : Histogramme des écarts individuels entre chroniques piézométriques observées et chroniques simulées

77,2 % des écarts sont compris entre $(m-1\sigma) = - 2,27$ et $(m+1 \sigma) = + 3$ (la valeur théorique est de 68 %)

95,8 % des écarts sont compris entre $(m-2\sigma) = - 4,90$ et $(m+2\sigma) = + 5,63$ (la valeur théorique est de 95 %)

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

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

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

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

D'où l'intervalle de confiance suivant : **IC95 = [+ 0,047, + 0,340]**

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

• **Evolution des écarts moyens**

L'évolution de ces écarts est présentée ci-dessous (Figure 52) :

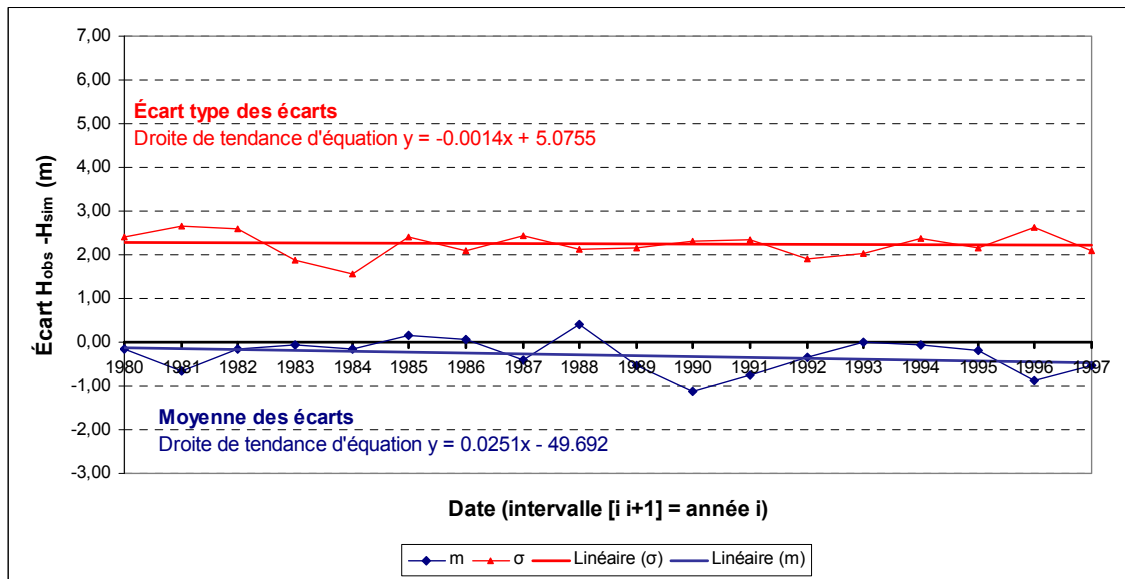


Figure 52 : Évolution dans le temps des écarts moyens et de leur écart type

Pour les 18 années considérées, la moyenne générale de ces écarts est de 0,16 m et l'écart type de 0,30 m. Le minimum est de - 0,69 m et le maximum de 0,83 m. La recherche d'une dérive éventuelle peut être faite par une analyse de régression. L'équation de la droite ajustée sur la série des écarts moyens (Figure 52) est :

$$E = 0,0251(t - 1980) + 59.692$$

La pente de la droite (le coefficient de régression) est $a_{rg} = 2,51$ cm/an.

L'analyse du graphique d'évolution des écarts moyens (Figure 52) semble indiquer qu'au cours du temps les charges simulées sont peu à peu surestimées.

Cette tendance est faible, de l'ordre de 2,5 cm par an (1 cm en ne considérant que la période 1980-1995) et de plus, non significative au sens statistique comme le montre l'application suivante du test de Student.

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

La valeur calculée du T de Student égale à -1,63 est inférieure à la valeur critique théorique de 2,11 pour un niveau de confiance de 95 %. La pente de la droite de régression n'est donc pas significativement différente de 0. **La tendance dégagée est donc peu significative** (sur la base de l'échantillon analysé).

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

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

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

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

• Evolution de l'écart-type des écarts

Le report graphique de l'écart type des écarts en fonction du temps (Figure 52) montre que la précision du modèle ne se dégrade pas sur la période considérée. Sur les 18 dernières années, les écarts restent stables.

4.3. DENOYAGE DU RESERVOIR OLIGOCENE

Un des objectifs du modèle est d'apprécier l'évolution du dénoyage au cours du temps en fonction des contraintes anthropiques (prélèvements) et climatiques (recharge). Pour ce faire, nous avons adapté le modèle en réalisant les calculs sur l'ensemble de la période 1972-2007 au pas de temps annuel. Les pas de temps trimestriels ayant été utilisés uniquement pour la phase de calage en régime transitoire pour cerner le champ des coefficients d'emmagasinement. Pour illustrer l'évolution du dénoyage estimée à partir des charges restituées par le modèle, nous avons calculé maille par maille la différence entre la piézométrie simulée et la cote du toit du réservoir sous couverture chattienne. Seul les secteurs pouvant être captifs sont ici considérés. Par ailleurs, il est apparu pertinent de faire figurer sur les cartes présentant l'évolution du dénoyage la position de la limite de captivité déduite des calculs réalisés en 1972 (période la moins influencée par les prélèvements). Les cartes présentées en Figure 53 et Figure 54 illustrent l'extension du dénoyage du réservoir oligocène estimée à partir des charges restituées par le modèle pour les années 1980 et 2005. Les zones en rouge correspondent aux secteurs pour lesquels la charge hydraulique est inférieure au toit du réservoir sous recouvrement chattien. La portion orange a été figurée pour tenir compte des incertitudes liées à la précision du modèle géologique et de la restitution de la piézométrie calculée.

Le dénoyage du réservoir est principalement localisé à l'est de l'axe formé par la « ligne des 100 000 m³/jour » avec un recul net de la limite de captivité. A noter que les prélèvements réalisés sur le forage 08276X0090 (Moulin Laguës) impactent de manière importante la piézométrie provoquant un dénoyage local autour de ce point.

Le secteur de Mérignac est lui aussi concerné par le dénoyage du réservoir. Le phénomène étant ici favorisé par la proximité des affleurements de l'Oligocène. Sont notamment concernés les forages 08035X0337 (Parc de Mérignac), 08035X0467 (Parc Public de l'École Normale), 08035X0360 (La Forêt 1), 08035X0442 (Forêt 3), 08035X0015 (Capeyron) et 08035X0299 (Cap-Roux).

En comparaison des estimations réalisées précédemment [Corbier et al., 2005], il apparaît que l'extension du dénoyage du réservoir oligocène entre 1980 et 2005 est moins importante. Ces différences proviennent essentiellement des méthodes employées pour établir les surfaces piézométriques. En effet, lors des travaux effectués en 2005, les données prise en compte provenaient de l'interpolation au pas de 200 m des cartes piézométriques dressées à la main dans le cadre du suivi annuel des nappes en Gironde. Cette démarche implique une part d'interprétation dans les secteurs présentant peu ou pas de mesures. L'approche utilisée pour cette étude est plus intégrative puisque le calcul des charges hydrauliques dans le modèle est réalisé en considérant pour chaque maille la géométrie du réservoir et ses propriétés hydrodynamiques. L'estimation de l'extension du dénoyage peut donc être considérée comme plus précise par le biais de cette méthode, précision qui aurait pu être accrue s'il y avait eu dans le secteur dénoyé un ou plusieurs piézomètres d'observation pour contraindre le calage du modèle et observer l'évolution de la charge hydraulique.

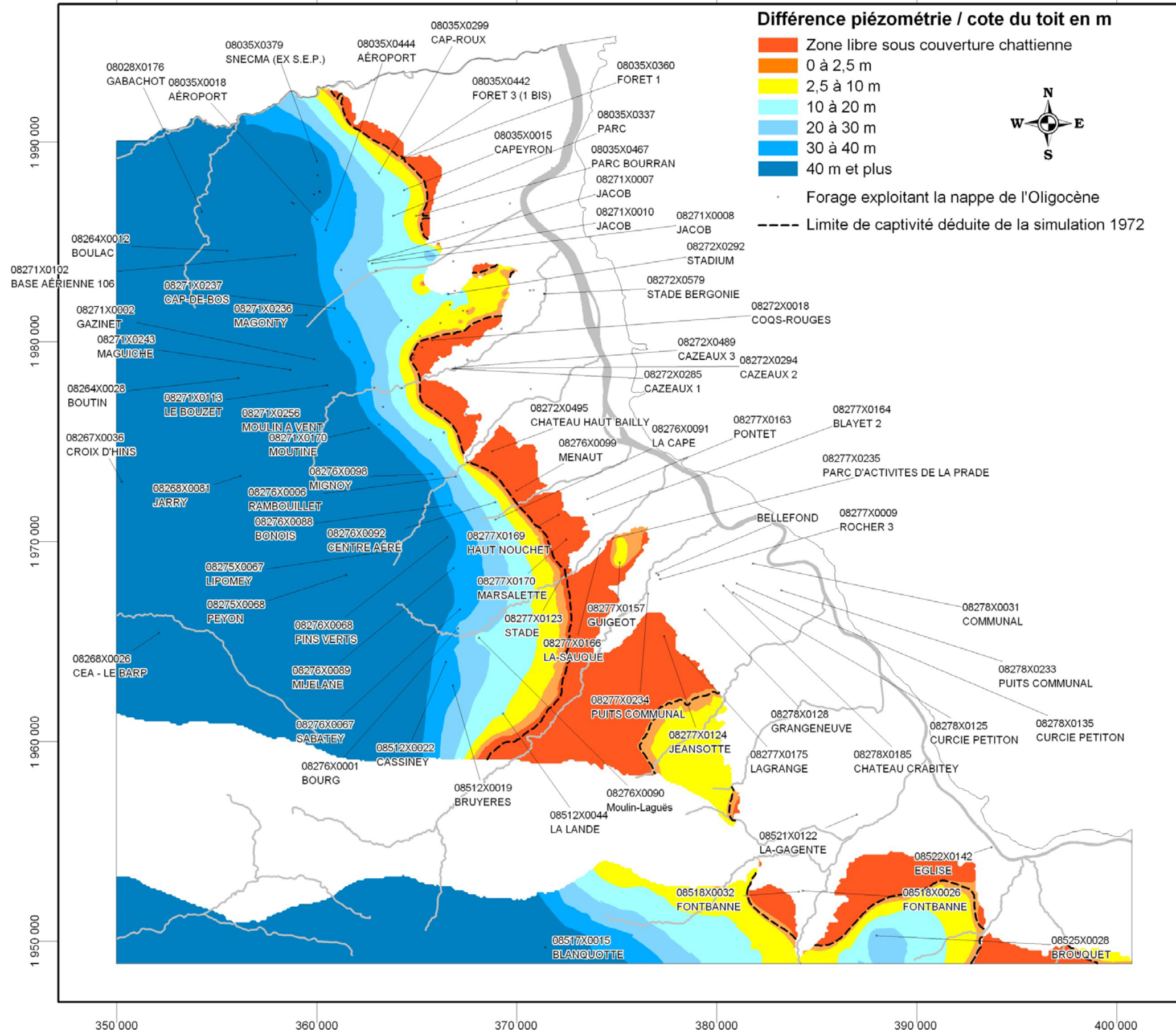


Figure 53 : Extension de la zone dénoyée estimée à partir de charges restituées par le modèle- année 1980

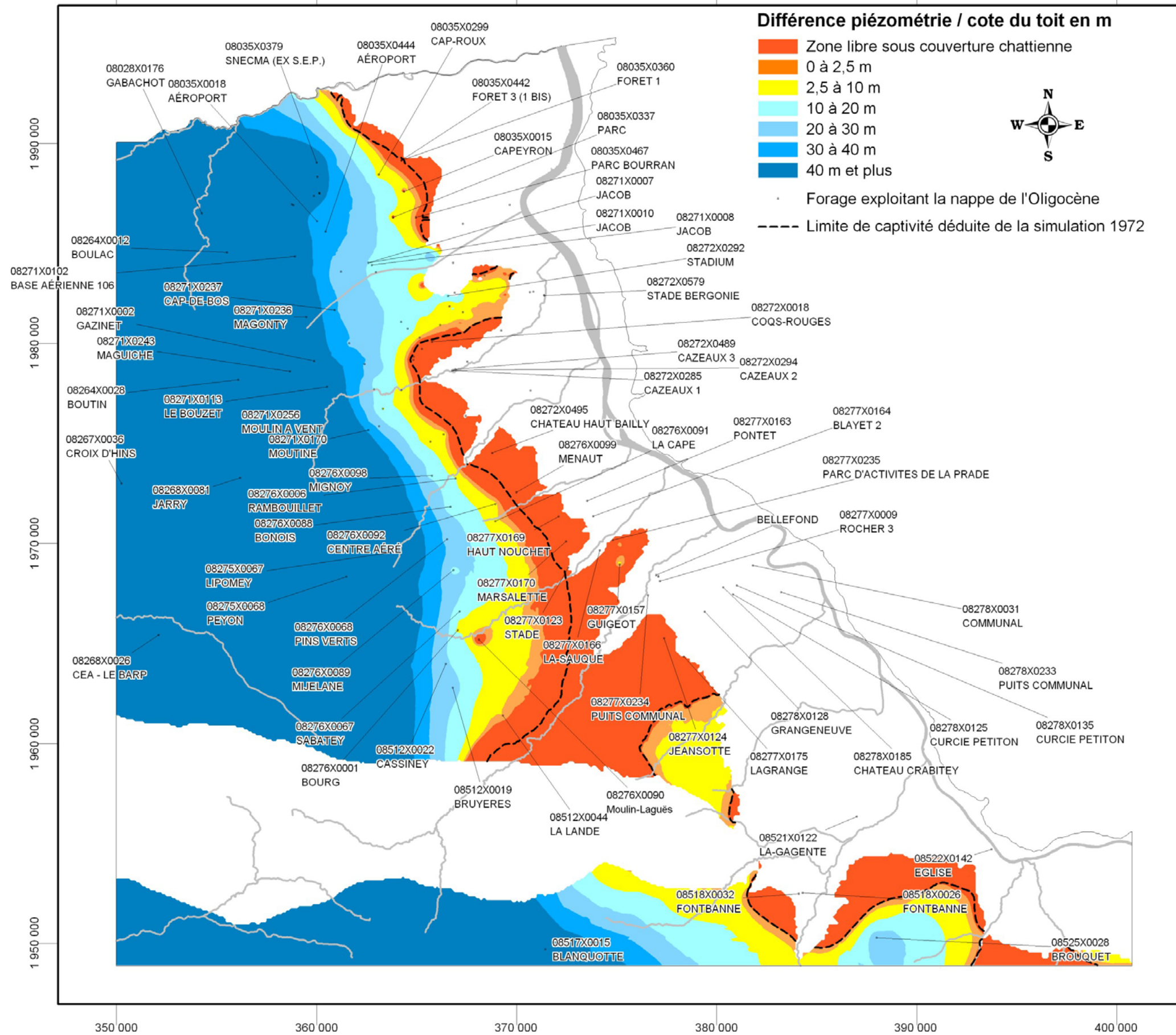


Figure 54 : Extension de la zone dénoyée estimée à partir de charges restituées par le modèle- année 2005

Le dénoyage entre 1980 et 2005 concerne une surface de près de 30 km² (dont 20 km² dans le secteur situé à l'est de la ligne des « 100 000 m³/j »). Pour mémoire, l'estimation effectuée en 2005 était de 50 km².

Le rabattement induit par l'exploitation des eaux souterraines se concentre sur deux secteurs (Figure 55) : la ligne des « 100 000 m³/jour » avec des rabattements qui peuvent atteindre plus de 20 m et la zone de Mérignac où l'impact des prélèvements est plus modéré.

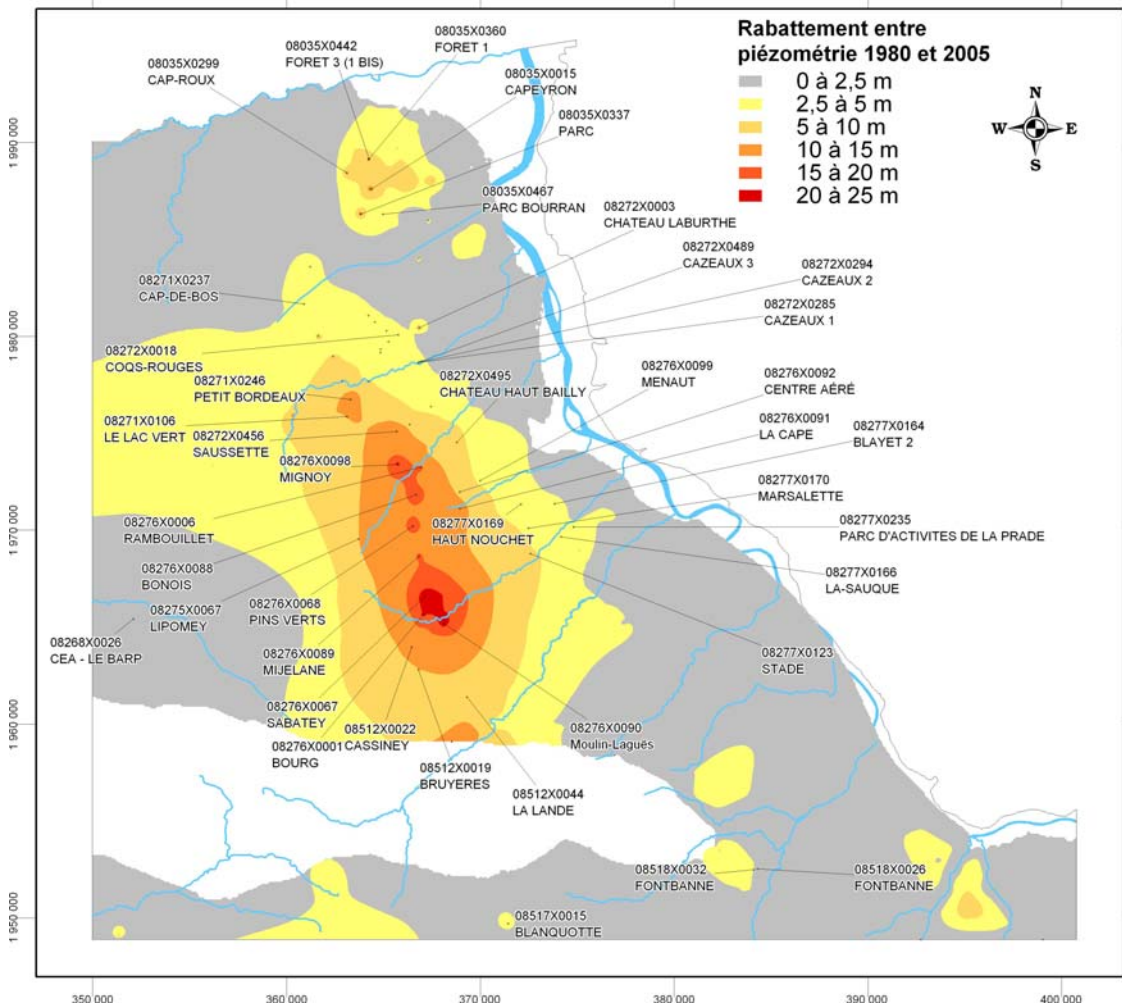


Figure 55 : Rabattement estimé à partir du modèle entre l'état piézométrique des années 1980 et 2005.

4.4. SIMULATIONS PROSPECTIVES

4.4.1. Description des scénarios

Le second objectif de ce modèle est de fournir les éléments techniques permettant aux différents acteurs de la **CLE** (**Commission Locale de l'Eau**) d'arrêter un plan de gestion de la nappe de l'Oligocène. Ainsi, 6 simulations prospectives ont été réalisées au pas de temps annuel jusqu'en 2025. Les différents scénarios utilisés dans le cadre de ces projections ont été définis en concertation avec le groupe d'expert hydrogéologue de la CLE. Ils ont été construits de manière à mesurer les effets sur le dénoyage de la nappe de l'Oligocène des modifications appliquées à la recharge et aux prélèvements.

Les scénarios appliqués à la recharge sont basés sur les derniers travaux du **CERFACS** (**Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique**) sur la désagrégation au pas de 8 km des simulations d'évolution climatique (P et ETP) réalisées par le **GIEC** (**Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat**). Cette démarche a été retenue dans le souci de représenter de la manière la plus réaliste possible l'évolution projetée du climat à partir de l'état actuel des connaissances sur ce sujet. En dépit des incertitudes existant sur ces projections, ces dernières constituent actuellement la seule référence sur laquelle nous pouvons nous appuyer pour élaborer les scénarios de recharge. L'évaluation des besoins futurs en AEP (détaillé en Annexe 6) a pris en compte notamment : les augmentations de populations, la consommation par habitant, les pertes dans les réseaux de distribution. Au final, les scénarios suivants ont été retenus :

- **Scénario 1** : reconduction à l'identique d'une climatologie moyenne pour la période 1997-2007 et des prélèvements moyens de la période 2001-2007 ;
- **Scénario 2** : recharge calculée à partir du scénario A1B des prévisions du GIEC et reconduction des prélèvements moyens calculés sur la période 2001-2007 ;
- **Scénario 3** : recharge calculée à partir du scénario B1 des prévisions du GIEC et reconduction des prélèvements moyens calculés sur la période 2001-2007 ;
- **Scénario 4** : recharge calculée à partir du scénario A1B des prévisions du GIEC et augmentation de tous les prélèvements hors sources (+10 % au global soit une augmentation de près de 2 850 000 m³/an entre la moyenne 2001-2007 et la projection pour 2025) ;
- **Scénario 5** : recharge calculée à partir du scénario A1B des prévisions du GIEC, stabilisation des prélèvements de la CUB et augmentation des prélèvements par ailleurs (+2,2% au global soit une différence de 600 000 m³/an entre la moyenne considérée et les valeurs calculée pour 2025) ;
- **Scénario 6** : recharge calculée à partir du scénario A1B des prévisions du GIEC, stabilisation des prélèvements sur la quasi-totalité des forages de la CUB, diminution de 20 % des prélèvements sur la ligne des « 100 000 m³/j » et augmentation des prélèvements par ailleurs (- 4,9% au global soit une diminution de 1 400 000 m³/an entre les valeurs moyenne de la période 2001-2007 et les volumes calculés en 2025).

4.4.2. Résultats

Les trois premiers scénarios permettent d'évaluer l'influence de l'évolution du climat sur le dénoyage de l'Oligocène en gardant constants les prélèvements sur la période considérée.

Le **scénario 1** équivaut à un état de référence qui va représenter un état stabilisé correspondant à la continuité des conditions climatiques actuelles (moyennes des données de la période 1997 à 2007) et au maintien des prélèvements sur les nappes prises en compte (période 2001-2007).

Les **scénarios 2 et 3** vont permettre d'apprécier et de comparer les effets de deux projections du GIEC (A1B et B1) sur les eaux souterraines et plus particulièrement sur la nappe de l'Oligocène.

Il faut garder à l'esprit que ces scénarios ont été défini pour étudier la problématique à une échelle planétaire (avec un maillage large) et qu'ils ont ensuite fait l'objet d'une désagrégation par le CERFACS (Figure 56) pour se transposer à une échelle plus locale (résolution de 8 km). La méthode utilisée prend en compte les propriétés régionales climatiques afin d'établir des régimes de temps discriminants pour une variable locale donnée (Précipitation, ETP, ...). C'est en quelque sorte, une méthode d'analogue basée sur les types de temps et une approche multivariée [Pagé et al., 2008].

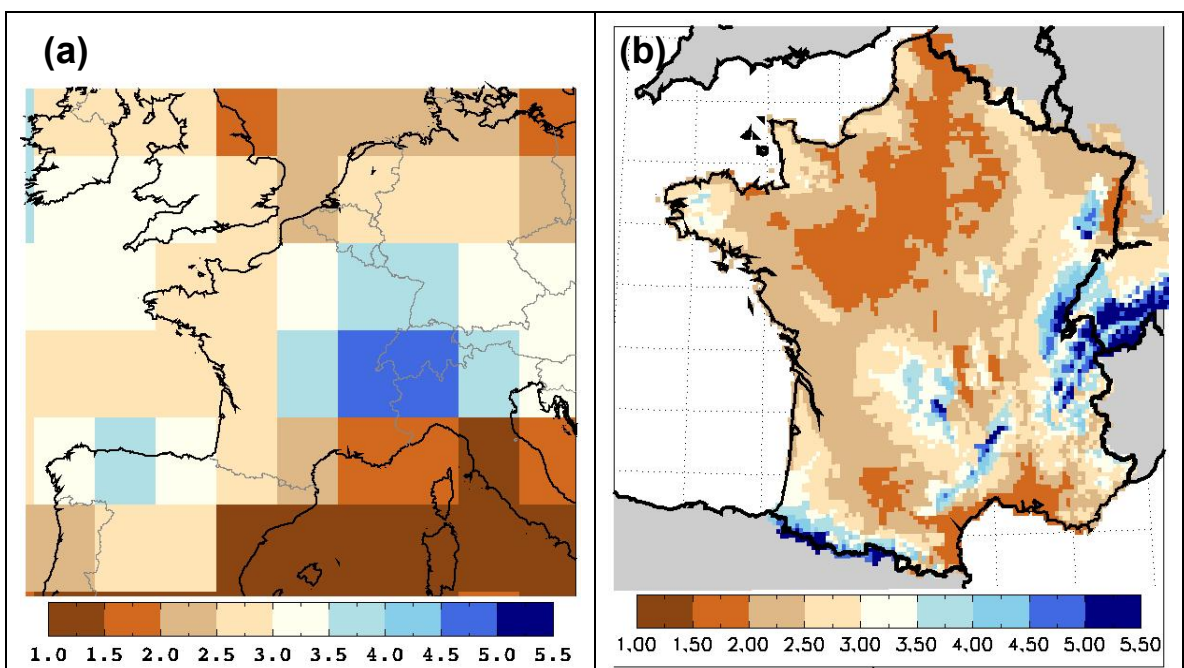


Figure 56 : Exemple de désagrégation des données de précipitations (mm/jour) pour la France.

La figure (a) montre les données à la résolution typique d'un modèle global du climat, tandis que la figure (b) montre les données désagrégées statistiquement à une résolution de 8 km.

Le scénario B1 décrit un monde "convergent" (sous l'effet de la mondialisation), où la population culmine au milieu du siècle et décline ensuite, où l'accent est mis sur des solutions mondiales orientées vers une viabilité économique et environnementale, y compris une meilleure équité, mais sans initiatives supplémentaires pour gérer le climat.

Le scénario A1B correspond à une croissance très rapide qui s'appuie sur des sources d'énergie équilibrées entre fossiles et autres (nucléaire, renouvelables). De nouvelles technologies plus efficaces sont introduites rapidement. C'est le scénario qui "cadre" le plus aux prévisions actuelles de l'Agence Internationale de l'Energie (AIE).

Les grandes tendances des évolutions piézométriques simulées à partir des trois scénarios définis précédemment sont présentées en Figure 57. Il ressort de ces chroniques que les prévisions du GIEC induisent globalement une baisse de la piézométrie par rapport à la reconduction à l'identique d'une climatologie moyenne pour la période 1997-2007. A noter qu'à partir de 2001, les précipitations efficaces ont été globalement plus faibles que celles observées à la fin des années 90. Les données considérées dans le scénario 1 regroupent donc à la fois des années humides et des années sèches. Les différences constatées à l'horizon 2025 entre une climatologie moyenne et les projections du GIEC sont comprises entre 1,2 m et 4,6 m avec une différence moyenne sur les points considérés de l'ordre de 2,75 m. Ces conclusions restent cohérentes avec les observations faites dans d'autres modèles ([Goderniaux et al., 2009] ; [Gomez et al., 2010]).

Les cumuls des précipitations efficaces déduites des données des scénarios A1B et B1 du GIEC sur la période allant de 2008 à 2025 sont relativement similaires (autour de 2050 mm). L'impact global sur la piézométrie de la nappe de l'Oligocène est, lui aussi globalement tout à fait comparable dans les deux cas considérés même si la répartition des pluies au cours du temps n'est pas homogène pour les deux projections.

Par ailleurs les simulations réalisées, à titre indicatif, pour comparer à l'horizon 2050 l'impact sur la piézométrie de trois scénarios du GIEC (B1, A1B, A2) montrent une tendance générale à la diminution des charges. Les différences entre ces trois projections ne sont pas significatives.

Pour les simulations suivantes (4, 5 et 6), seul le scénario correspondant aux projections A1B du GIEC a été conservé. Ce choix est appuyé par les arguments suivants :

- Ce scénario est considéré comme celui coïncidant le plus, à l'échelle globale aux prévisions actuelles de l'Agence internationale de l'énergie (AIE).
- L'utilisation de ces données permet de confronter nos résultats à ceux obtenus dans le **MO**dèle **N**ord **A**quitain dans le cadre de la définition des volumes prélevables (Rapport BRGM/RP-57878-FR) puisque le même scénario a été considéré.
- La comparaison de trois scénarios du GIEC ne montre pas, à l'échelle locale, de différences notoires sur la période prise en compte.

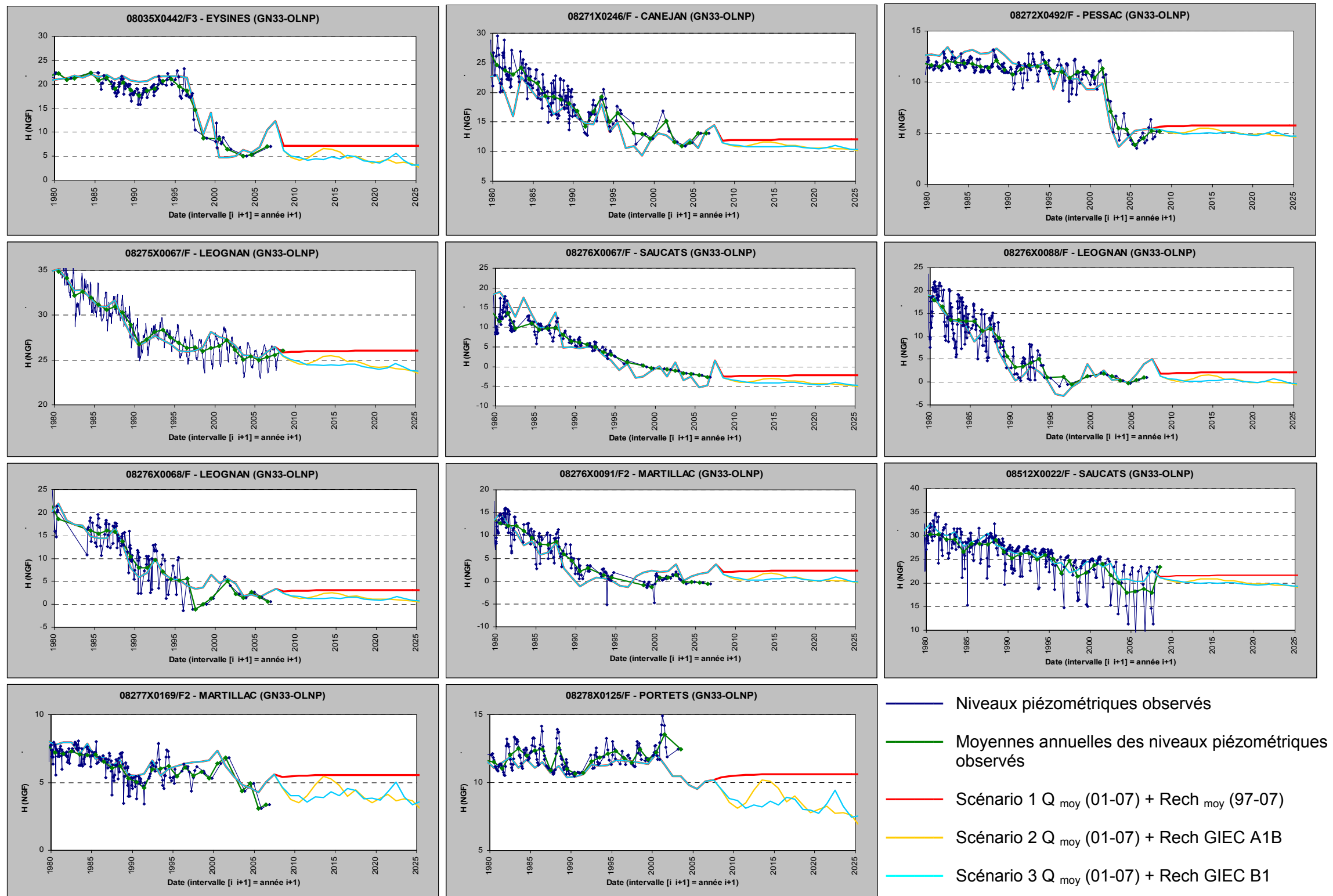


Figure 57 : Résultats de simulation – Évolution piézométriques sur une sélection de 11 piézomètres en fonction des modifications appliquées à la recharge

Alors que les trois premières simulations avaient pour objectif d'étudier les effets de différents scénarios climatiques sur la piézométrie, les projections 4 à 6 sont utilisées pour mesurer l'impact de l'évolution des prélèvements sur la nappe de l'Oligocène.

Le **scénario 4** considère une hausse des prélèvements basée sur les travaux du SMEGREG qui intègrent plusieurs tendances : l'augmentation de la population basée sur un taux moyen constaté, la diminution des pertes en réseau (-10%) et la consommation par habitant (-5%). Dans cette configuration, les pompages sur tous les forages sont en augmentation de 10,8 % (voir Annexe 6) ce qui correspond à un accroissement global des prélèvements de 10 %. Le volume soutiré par l'intermédiaire des sources est considéré constant et ne prend pas en compte les éventuels impacts du changement climatique sur leurs débits.

Le **scénario 5** suppose une stabilisation des prélèvements des forages de la CUB alors que les pompages sur les forages des autres communes augmentent de 10,8%. Il est ici admis que les autres besoins sont assurés par des ressources de substitution. Au total, les prélèvements dans la nappe augmentent de 2,2 %.

Le **scénario 6** est quasi identique au précédent en dehors de la baisse des prélèvements affectée aux forages de la ligne des « 100 000 m³/jour » (-20 % par rapport à la moyenne 2001-2007). Pour cette simulation il a été décidé d'attribuer ces modifications à deux forages : Moulin-Laguès (08276X0090) qui correspond au principal point dénoyé et Sabatey (08276X0067) pour lequel le rabattement observé est le plus important. Pour le premier, les débits pompés ont été progressivement diminués jusqu'à l'arrêt définitif des prélèvements en 2025. Pour le second, les prélèvements ont été graduellement abaissés de manière à atteindre en 2025 les 20% de diminution sur l'ensemble des forages de la ligne des « 100 000 m³/jour ». Au final le volume annuel soutiré à la nappe de l'Oligocène diminue de 4,9%, les autres besoins et reports des prélèvements oligocènes seraient dans ce cas assurés par des ressources de substitution.

L'évolution des prélèvements selon les différents scénarios considérés est présentée en Figure 58. L'impact sur de ces trois scénarios d'exploitation sur la piézométrie de la nappe de l'Oligocène est présenté en Figure 59.

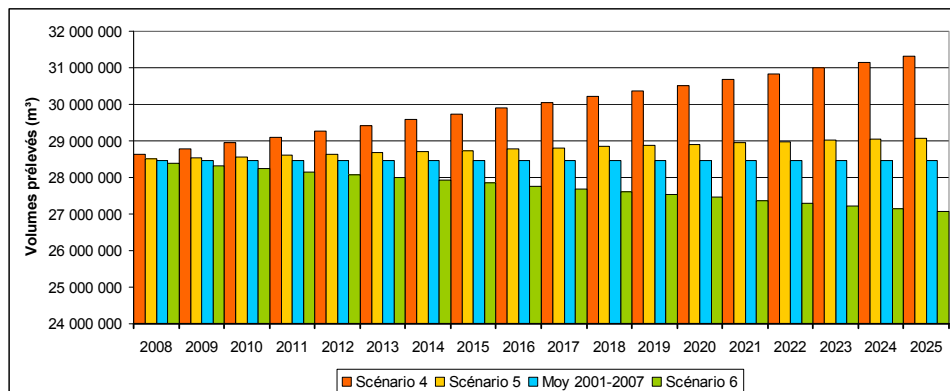


Figure 58 : Évolution des prélèvements (hors sources) selon les différents scénarios considérés – nappe de l'oligocène

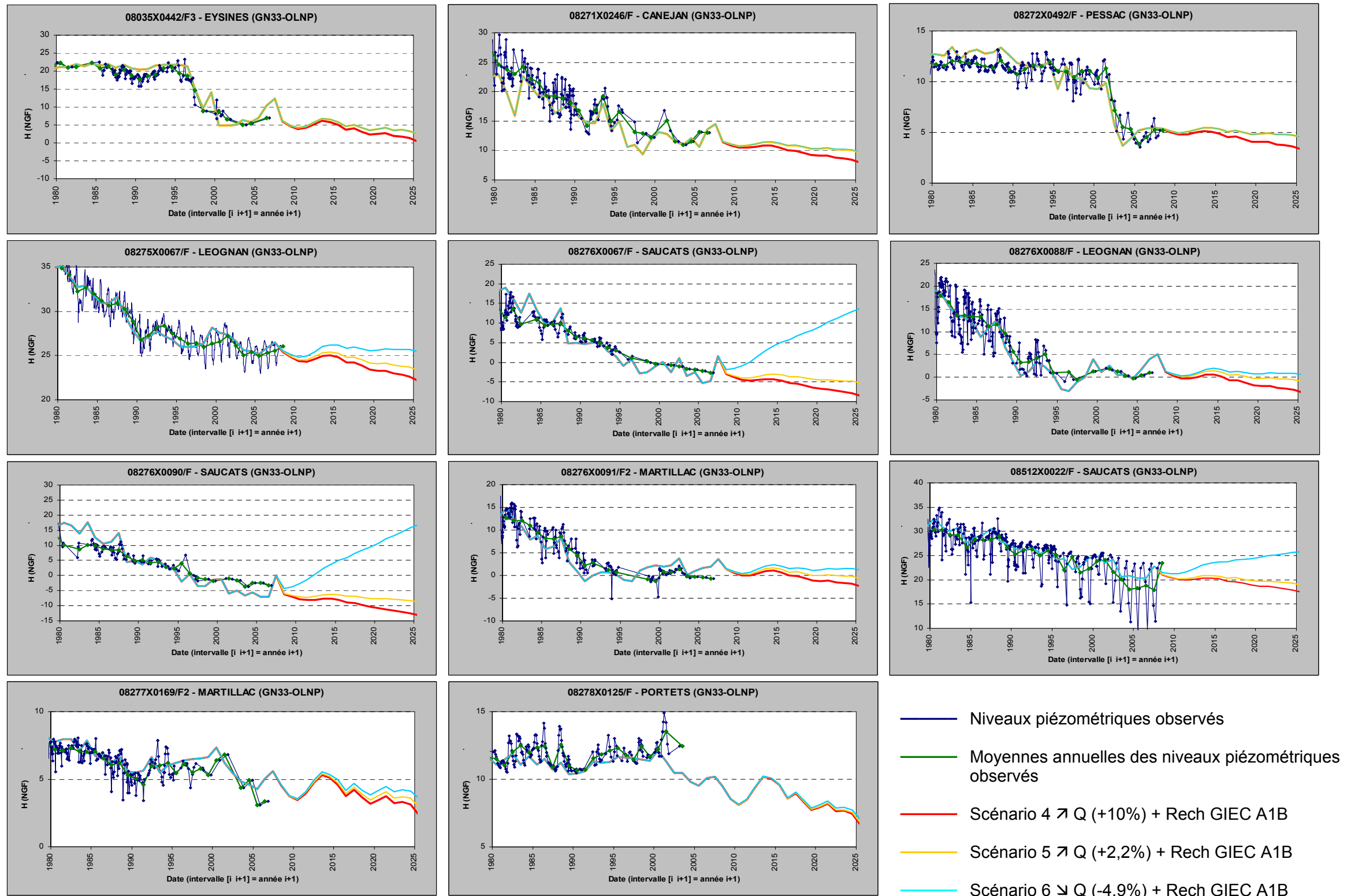


Figure 59 : Résultats de simulation – Évolution piézométriques sur une sélection de 11 piézomètres en fonction des modifications appliquées aux prélèvements

De manière assez logique, la simulation correspondant au **scénario 4** induit les diminutions de charge les plus importantes. Les baisses observées sur les points considérés sont en moyenne de -6,75 m (Figure 60). Dans cette projection, l'augmentation des prélèvements provoque un abaissement supplémentaire des charges simulées qui s'ajoute aux diminutions causées par la recharge. A l'horizon 2025, le dénoyage du réservoir oligocène est beaucoup plus marqué par rapport à l'estimation réalisée pour l'année 2005 (Figure 54 et Figure 60). Dans le secteur de Mérignac, trois forages sont principalement concernés par l'extension de la zone dénoyée : Capeyron (08035X0015), Parc (08035X0337) et Parc Bouran (08035X0467). L'extension du dénoyage est particulièrement marquée aux environs de la ligne des « 100 000 m³/jour ». C'est notamment le cas autour du forage de Moulin Laguës (08276X0090), qui était le principal ouvrage atteint par ce phénomène en 2005. Par ailleurs, des forages situés auparavant en zone captive pourraient être concernés à l'horizon 2025 par le dénoyage de la nappe : Bourg de Saucats (08276X0001), La cape (08276X0091) et la Lande (08512X0044). De manière plus globale, l'augmentation de la surface dénoyée atteint 32 km² entre 2005 et 2025 soit une surface totale de 61 km² depuis 1980.

L'impact du **scénario 5** est plus réduit puisque l'augmentation des prélèvements est inférieure en global à 3%. Comme les débits sont considérés comme constants pour les forages de la CUB, c'est principalement l'impact de la recharge qui induit les baisses observées (Figure 59). L'extension du dénoyage est plus modérée que pour le scénario précédent puisqu'inférieure de près de 5 km² (Figure 61). Dans le secteur de Mérignac, l'étendue du dénoyage bien que légèrement moins importante que pour le scénario 4, concerne exactement les mêmes ouvrages. Aux abords de la ligne des « 100 000 m³/jour », l'élargissement de la zone dénoyée est principalement centré autour du forage de Moulin Laguës (08276X0090). Bien que les autres points évoqués plus haut ne soient pas effectivement encore en zone dénoyée, ils sont en voie de le devenir.

Le **scénario 6** est le plus favorable en terme d'évolution des prélèvements puisqu'il admet une baisse globale de près de 5 %. Ces modifications dans la gestion du parc de forages aboutissent à une stabilisation voire à une remontée des charges dans le secteur de la ligne des « 100 000 m³/jour » (Figure 62). Le phénomène est évidemment très prononcé au droit des forages directement concernés par la diminution des débits prélevés (Moulin-Laguës-08276X0090 et Sabatey-08276X0067), mais il affecte également les forages situés aux alentours. L'impact de ces changements sur le dénoyage du réservoir oligocène est très positif, puisque la limite de captivité ne recule plus vers l'ouest et que les différences entre l'altitude du niveau piézométrique et celle du toit de la nappe captive sont localement en augmentation. A noter qu'une seule répartition des prélèvements a été testée pour appliquer la diminution de 20% sur les forages de la ligne des « 100 000 m³/jour ». D'autres configurations sont envisageables qui, pour un même volume prélevé, n'aboutiront pas à la même distribution des charges. Un dénoyage plus ou moins important peut donc être obtenu en fonction des stratégies utilisées. Ce point souligne l'intérêt de l'optimisation de la gestion des prélèvements pour limiter leurs impacts sur les nappes sollicitées.

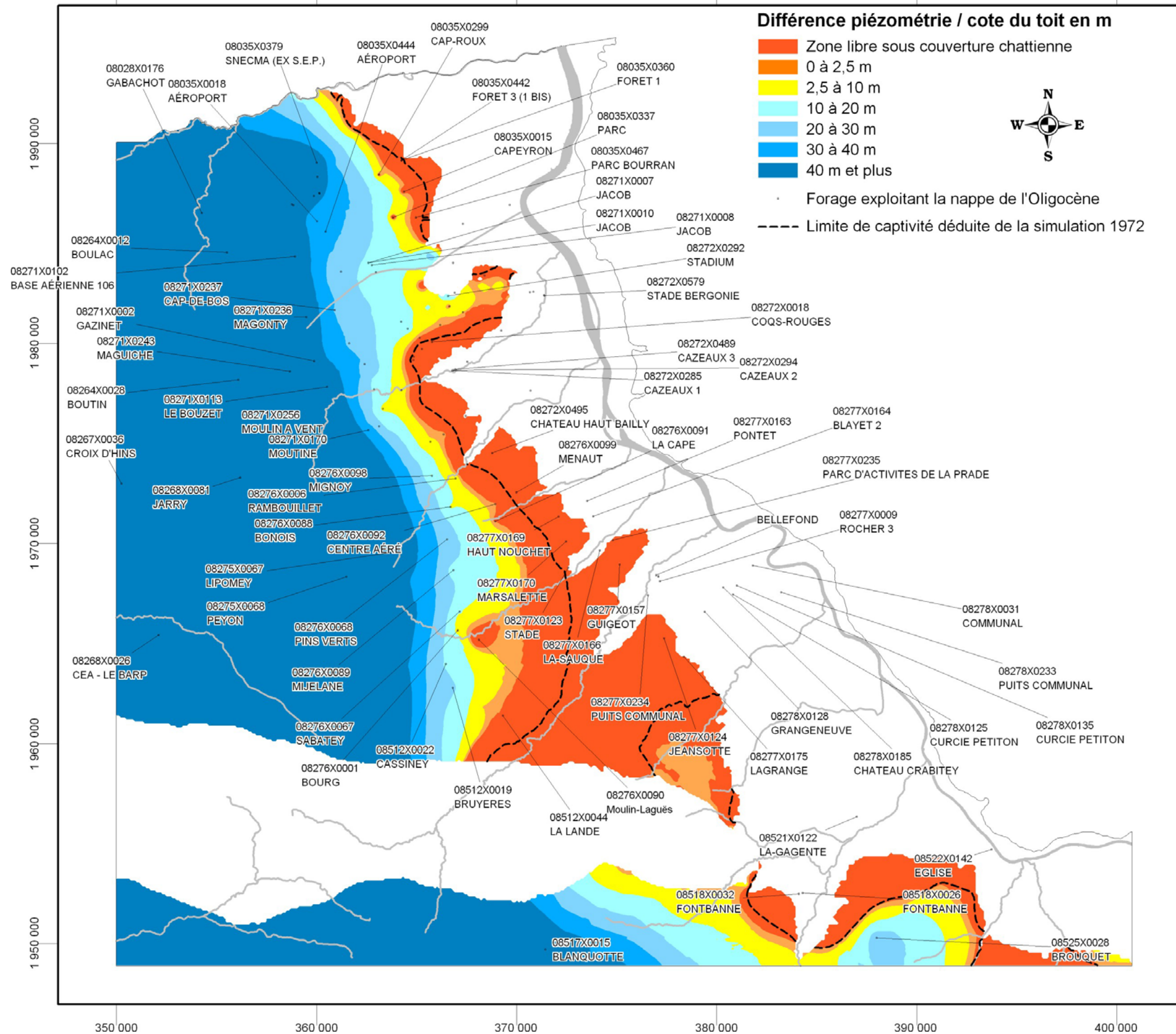


Figure 60 : Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle - scénario 4 - année 2025

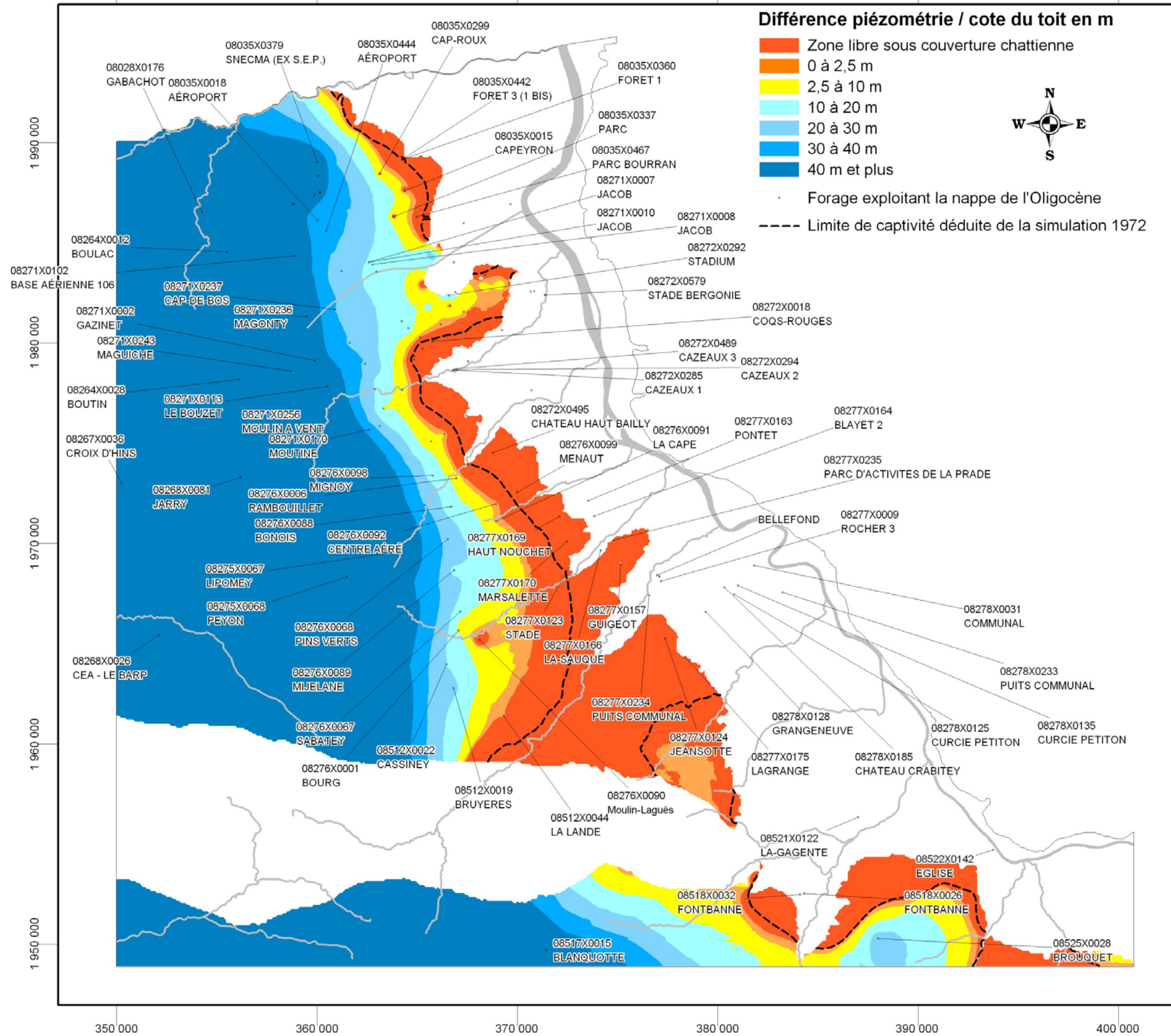


Figure 61 : Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle - scénario 5 - année 2025

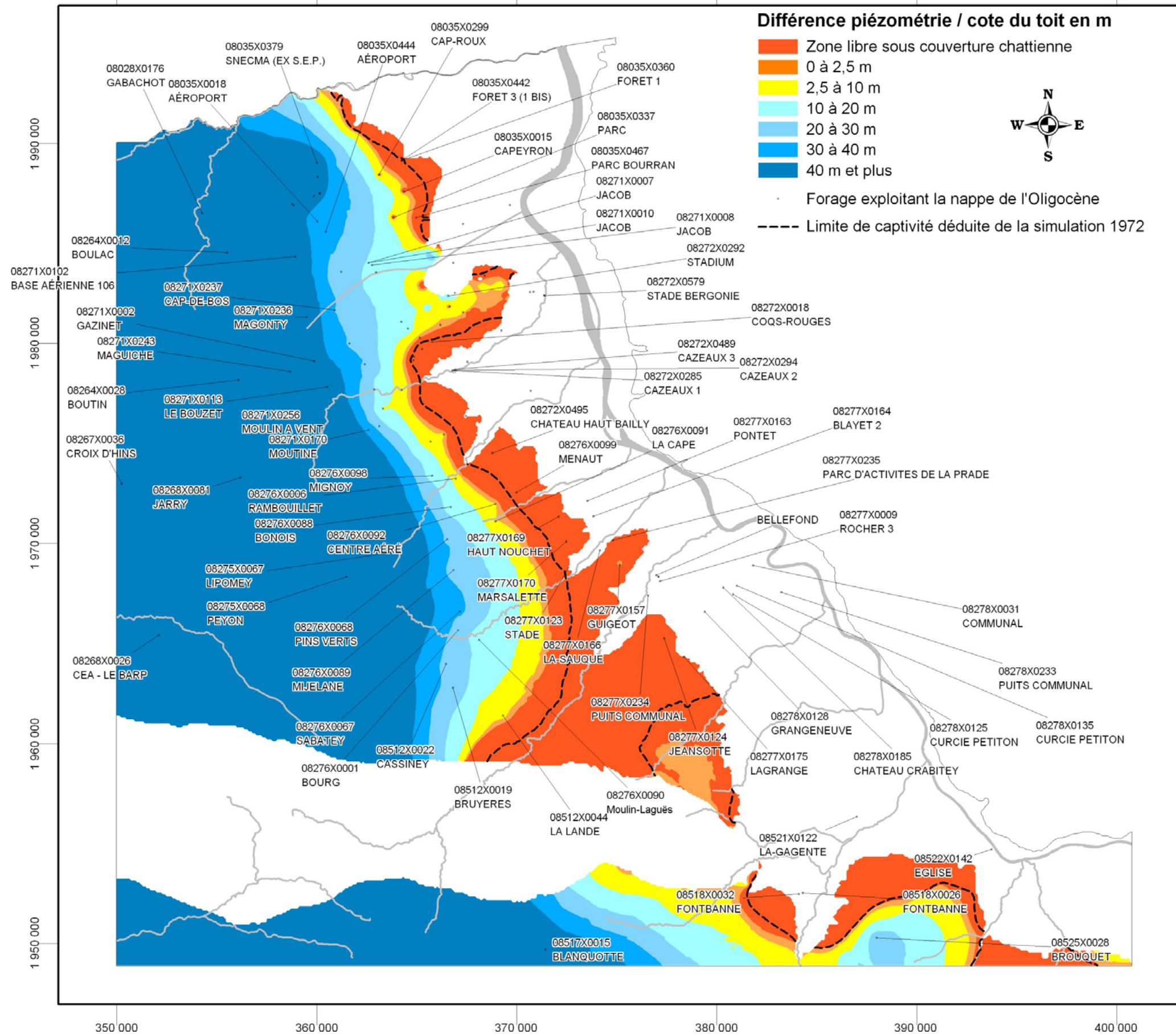


Figure 62 : Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle - scénario 6 - année 2025

4.5. RECHERCHE D'OPTIMISATION DES PRELEVEMENTS

La démarche de cette phase de l'étude consiste à trouver le meilleur compromis entre exploitation du réservoir et dénoyage. Le but est donc d'ajuster au mieux les prélèvements pour aboutir à une production optimale du parc de forage existant avec un dénoyage le plus réduit possible sur les deux secteurs cibles que sont la ligne des « 100 000 m³/j » et la zone de Mérignac. Les simulations qui ont été réalisées ont toutes en commun les éléments suivants :

- La recharge est calculée à partir des données du scénario GIEC A1B.
- Les prélèvements dont l'usage n'est pas lié à l'Alimentation en Eau Potable (eaux agricoles, eaux industrielles, eaux services publics, eaux collectives) ont été supprimés. Ceci induit une économie de près de 640 000 m³/an.
- L'utilisation des forages AEP ne dépendant pas de la CUB (Communauté Urbaine de Bordeaux) a été maintenue. La valeur considérée correspond à la moyenne calculée sur la période 2001-2007..
- L'ajustement des volumes prélevés d'une simulation à une autre s'effectue sur les forages de la CUB.

Au total, les modifications de prélèvements concernent 38 forages susceptibles d'influencer la piézométrie dans les secteurs dénoyés (Tableau 9).

Usage	Nombre de Forage
AEP CUB	13
AEP non CUB	2
Agricole	4
Industriel	1
Service public	11
Eau collective	5
Eau individuelle	2
TOTAL	38

Tableau 9 : Usage des forages utilisé pour ajuster les prélèvements dans les secteurs dénoyés

In fine, une vingtaine de simulations ont été réalisées. Seules les simulations les plus représentatives seront décrites dans ce rapport, les cartes de dénoyage correspondantes figurent en annexe 7. En première approche, il a été décidé d'évaluer l'impact de l'arrêt de la quasi-totalité des forages AEP de la CUB (soit une diminution de près de 6,1 millions de m³/an entre les prélèvements moyens calculés sur la période 2001-2007 et les volumes calculés en 2025). Cette première simulation (**Scénario A**) a permis d'estimer l'extension minimale du dénoyage que l'on pourrait obtenir en prenant en compte les conditions de recharge issues des projections du GIEC (Figure 63).

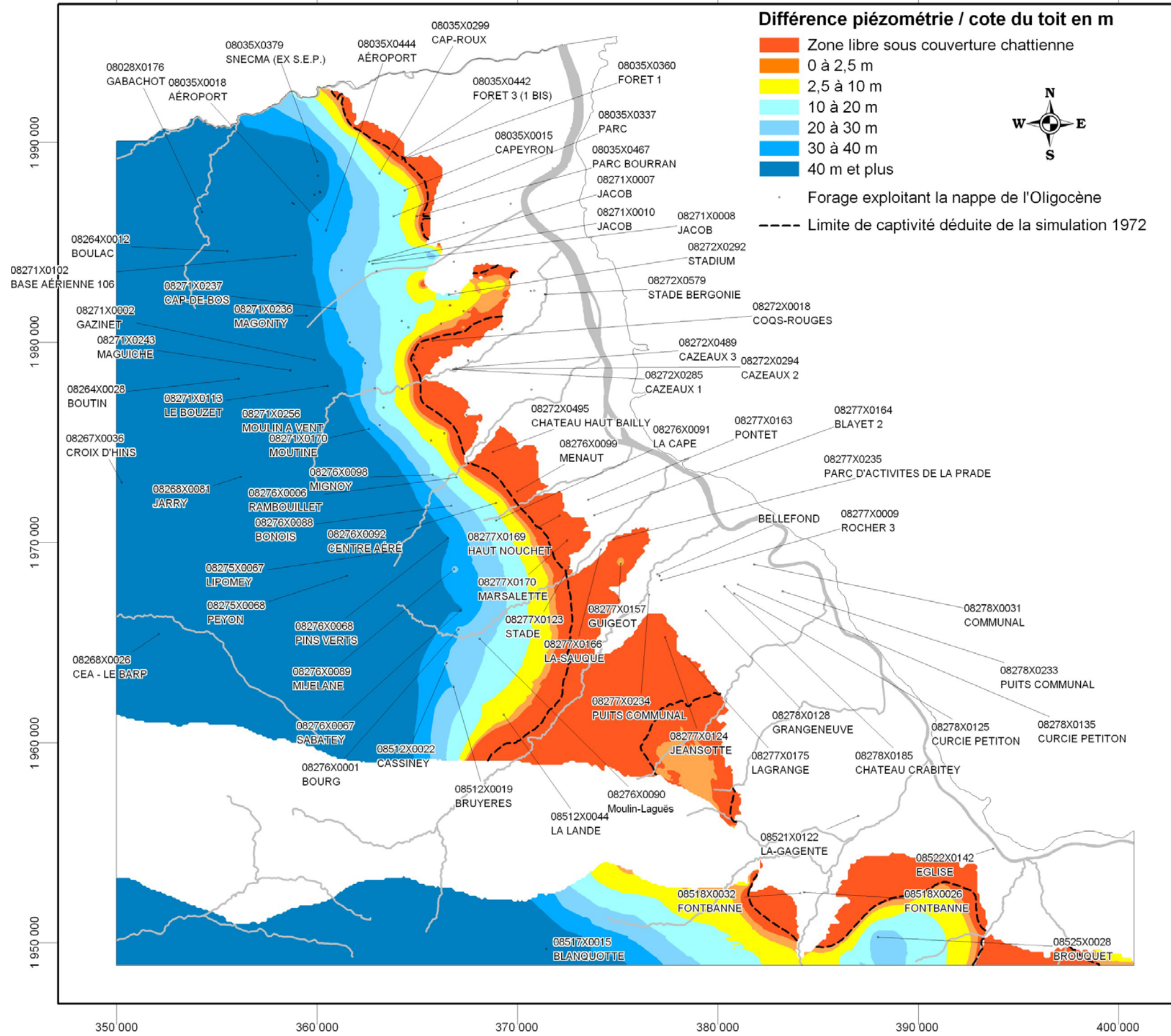


Figure 63 : Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Optimisation - scénario A - année 2025

Le résultat du dénoyage obtenu pour le **scénario A** montre que malgré une diminution importante des prélèvements sur la nappe de l'Oligocène le retour à un dénoyage équivalent à celui observé en 1972 n'apparaît pas envisageable en considérant les conditions de recharge issues des prospections du GIEC. Le secteur de Mérignac s'avère relativement sensible vis-à-vis de cette problématique en raison de la proximité des zones d'affleurement. Il semble donc très difficile de se prémunir du dénoyage du réservoir pour certains forages (Forêt 1 08035X0360 et Forêt 3 08035X0442).

Cette simulation a servi de base pour augmenter les prélèvements dans les différents forages et évaluer pas à pas l'effet sur le dénoyage. Par la suite, au fur et à mesure des simulations, le débit des forages a été progressivement augmenté pour estimer la limite à partir de laquelle l'exploitation du parc d'ouvrages induisait un dénoyage. La démarche a donc été itérative pour trouver le meilleur compromis entre exploitation de la ressource et limitation du dénoyage.

Le tableau ci-dessous récapitule les principales caractéristiques des scénarios les plus représentatifs tandis que le détail de modifications réalisées ouvrage par ouvrage est présenté dans le Tableau 11.

Scénario	Diminution en global (m ³ /an)	Diminution sur forages CUB (m ³ /an)	Diminution secteur Mérignac (m ³ /an)	Diminution secteur "100 000" (m ³ /an)
A	6 800 000	6 100 000	1 700 000	4 400 000
B	4 700 000	4 000 000	950 000	3 050 000
C	4 200 000	3 500 000	850 000	2 650 000
D	4 200 000	3 500 000	850 000	2 650 000
E	3 700 000	3 000 000	800 000	2 200 000
F	3 700 000	3 000 000	1 100 000	1 900 000
G	3 700 000	3 000 000	1 200 000	1 800 000
H	3 200 000	2 500 000	600 000	1 900 000

Tableau 10 : Caractéristiques générales des scénarios d'optimisation

Le scénario B est caractérisé par une diminution des prélèvements sur la CUB de 4 millions de m³/an et correspond à une première étape dans la démarche d'optimisation de l'exploitation de la ressource vis-à-vis du risque de dénoyage.

Les scénarios C et D, relativement similaires si l'on considère les diminutions de prélèvement affectées aux secteurs de Mérignac et de la ligne des 100 000 m³/j, induisent des réponses différentes vis-à-vis de la piézométrie de la nappe. Le scénario D, qui correspond à une diminution de 50% des prélèvements sur les forages de la CUB induit localement des dénojages, alors que les ajustements ciblés appliqués au scénario C aboutissent à une situation plus équilibrée.

N° BSS	Lieu-dit	Secteur	Q _{moy} 01-07	A	B	C	D	E	F	G	H
08035X0015	Capeyron	Mérignac	263 064	0	131 532	131 490	131 532	146 100	146 100	146 100	146 100
08035X0299	Cap-Roux	Mérignac	416 224	0	208 112	219 150	208 112	219 150	328 725	219 150	328 725
08035X0337	Parc	Mérignac	313 005	0	73 050	100 444	156 502	109 575	91 313	91 313	91 313
08035X0360	Foret 1	Mérignac	304 268	0	152 134	200 888	152 134	200 888	0	0	237 413
08035X0441	Demane	Mérignac	601 044	601 044	601 044	601 044	601 044	601 044	601 044	601 044	601 044
08035X0442	Foret 3	Mérignac	437 694	0	218 847	237 413	218 847	237 413	0	0	292 200
08272X0018	Coqs-Rouges	Mérignac	582 431	0	582 431	582 431	291 216	582 431	582 431	582 431	582 431
08276X0067	Sabatey	100 000 m³/j	1 327 589	0	0	109 575	538 855	292 200	365 250	420 038	365 250
08276X0068	Pins verts	100 000 m³/j	276 355	0	138 178	255 675	138 178	273 938	292 200	292 200	292 200
08276X0088	Bonois	100 000 m³/j	464 123	0	232 062	328 725	232 062	365 250	464 123	464 123	464 123
08276X0090	Moulin-Laguès	100 000 m³/j	1 230 041	0	0	109 575	0	292 200	365 250	420 038	365 250
08276X0091	La Cape	100 000 m³/j	526 676	0	365 250	365 250	526 676	365 250	438 300	438 300	438 300
08277X0169	Haut Nouchet	100 000 m³/j	394 514	394 514	394 514	394 514	394 514	394 514	394 514	394 514	394 514

0	Arrêt de forage
365 250	Diminution par rapport à la moyenne 2001-2007
394 514	Prélèvement équivalent à supérieur à la moyenne 2001-2007

Tableau 11 : Volumes annuels en m³ prélevés au droit des forages d'ajustement pour les scénarios d'optimisation les plus représentatifs

Les scénarios E à G, qui aboutissent tous à une diminution des prélèvements sur les forages de la CUB de 3 millions de m³/an, différent dans la répartition spatiale des réductions considérées. Ainsi, du scénario E au scénario G, la hausse des prélèvements sur la ligne des « 100 000 m³/jour » est compensée par une diminution des débits sur le secteur de Mérignac. Le scénario E, qui ne prend pas le parti de limiter la désaturation du réservoir autour des forages de la Forêt 1 et 3, privilégie la réduction du dénoyage à l'ouest dans la zone des « 100 000 m³/jour ». Le scénario G correspond au schéma inverse, pour lequel le but est de maintenir les charges les plus élevées dans le secteur de Mérignac. Enfin, le scénario F peut être défini comme un intermédiaire entre les deux autres projections. Pour cette projection, une amorce de dénoyage s'opère sur le forage de Cap-Roux (08035X0299)

Le scénario H, comme toutes les autres projections qui ont été réalisées en ne diminuant que des 2,5 millions de m³/an, induit des dénoyages locaux au droit de certains ouvrages (le ou les forages concernés pouvant être différents d'un scénario à un autre). Il n'apparaît donc pas envisageable de combiner la limitation du dénoyage avec de tels volumes d'exploitation.

En substance, il ressort de ce travail les éléments suivants :

- La répartition des prélèvements dans l'espace est un facteur prépondérant. Un dénoyage plus ou moins important peut être obtenu en fonction des stratégies utilisées pour exploiter le réservoir.
- Le retour à un dénoyage équivalent à celui observé en 1972 n'apparaît pas envisageable en considérant les conditions de recharge issues des prospections du GIEC.
- Une réduction de 3 à 4 millions de m³/an (soit environ 10 % des prélèvements du secteur) appliquée à certains forages bien précis permettrait d'aboutir à une amélioration significative de la situation.

Enfin, il faut garder à l'esprit que cette approche permet uniquement d'évaluer de manière globale l'ordre de grandeur du volume annuel à substituer pour réduire l'impact de l'exploitation du réservoir sur le dénoyage de la nappe. Par ailleurs, toute mise en œuvre de réduction des prélèvements doit être précédée d'une étude de faisabilité de ces stratégies d'exploitation vis-à-vis des contraintes techniques et économiques des exploitants. Il est en effet possible que certains scénarios ne soit pas compatibles avec les spécificités du réseau de distribution ou les capacités d'alimentation de tel ou tel secteur.

LIMITES ET PERSPECTIVES

L'estimation de l'extension du dénoyage de réservoir de l'Oligocène s'appuie sur le calage des chroniques piézométriques recensées sur le secteur d'étude. Or l'examen de la carte de localisation des points d'observation met en évidence une zone de lacune dans le réseau de mesures (Figure 64). La réalisation de 6 piézomètres sur les communes de Saucats, la Brède et de Saint-Morillon permettrait de bénéficier de points de surveillance complémentaires qui serviraient à affiner la construction des cartes piézométriques dans ce secteur. Le calage dans le modèle de ces chroniques conduirait à une meilleure restitution locale des charges dans ce domaine à fort enjeu. Par ailleurs, ces points permettraient de mesurer l'effet sur la piézométrie des réductions des prélèvements qui seraient appliquées à certains forages de la ligne des « 100 000 m³/jour ».

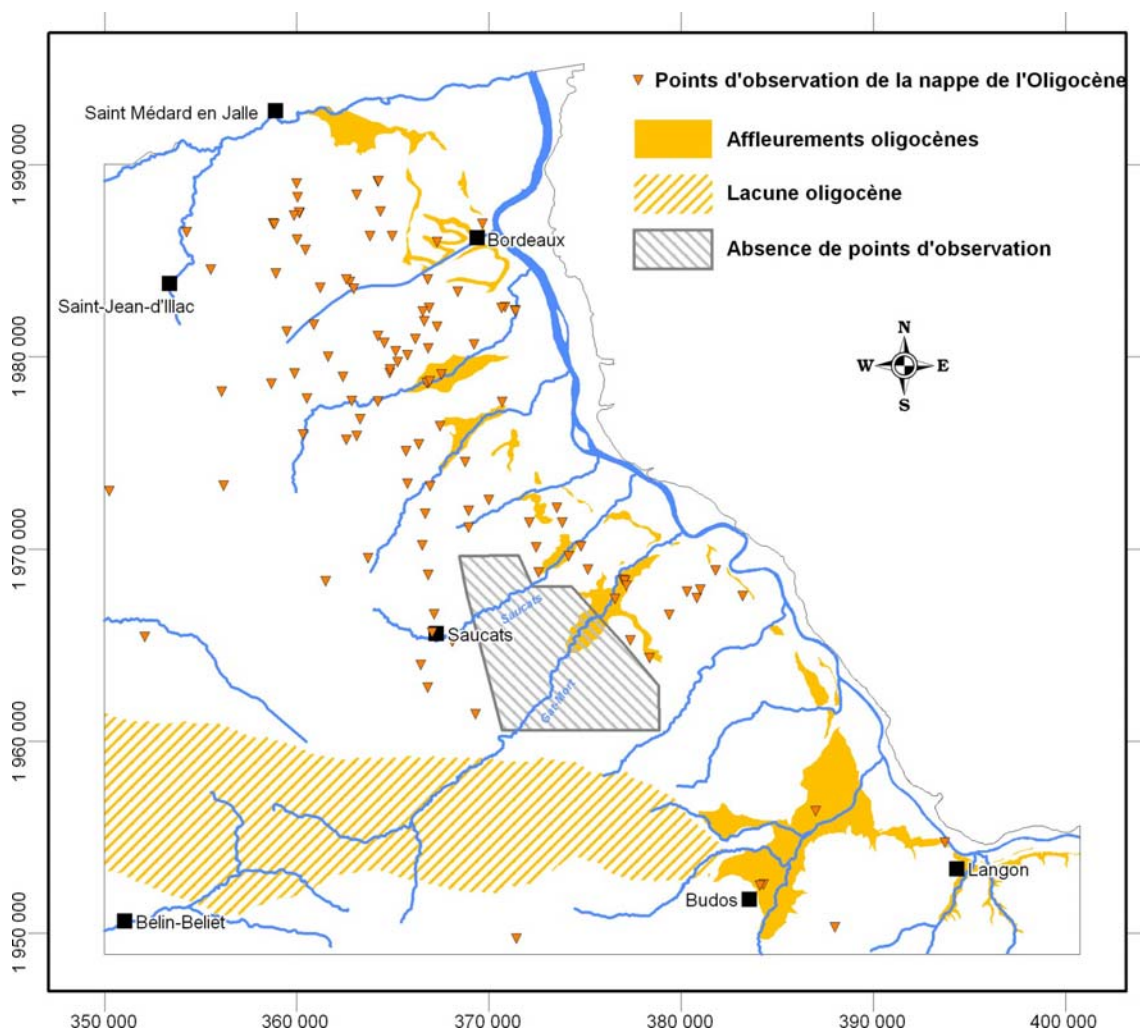


Figure 64 : Lacune dans le réseau de suivi de la nappe de l'Oligocène

Au droit de ces piézomètres, des prélèvements pourraient également être réalisés pour observer l'évolution de paramètres susceptibles de traduire une dégradation de la qualité de la nappe.

De plus, il serait souhaitable de suivre de nouveau en continu certains ouvrages de la ligne des « 100 000 m³/jour » afin d'observer les variations saisonnières. La plupart font aujourd'hui l'objet d'un suivi annuel ce qui est parfois insuffisant pour leur utilisation comme chroniques de calage. De même, un suivi plus fin des paramètres physico-chimiques des eaux provenant des forages localisés dans les secteurs à risque permettrait une meilleure surveillance de la dégradation éventuelle de la qualité des eaux de la nappe en relation avec le phénomène de dénoyage.

Par ailleurs, la restitution du réseau hydrographique au sein du modèle a fait l'objet d'une attention particulière. En effet, les principaux cours d'eau du secteur d'étude ont été intégrés. Toutefois, les données sur les hauteurs d'eau ou le débit des ruisseaux restent peu nombreuses et le manque de chroniques de longue durée ne permet pas d'aboutir à une restitution fine des échanges nappes-rivières dans le modèle. Or les relations entre la surface et le souterrain représentent un enjeu primordial comme nous le rappelle la contamination en 2009 du captage de Gamarde par des polluants de type pétrolier ([Chapuis, 2009] ; [Vengud, 2009]). Il serait donc intéressant d'étudier de façon plus approfondie les relations entre les eaux de surface et les eaux souterraines sur certains secteurs stratégiques (Saucats, Gat-Mort) par l'intermédiaire de stations de jaugeage. Le calage des chroniques de débit permettrait notamment d'affiner la restitution des relations nappes-rivières dans le modèle et donc la restitution piézométrique de la nappe dans ces zones. De même l'installation de stations de jaugeage au droit de sources non aménagées pour l'exploitation permettrait de mesurer l'impact des évolutions climatiques et de la recharge sur leurs débits. Ces données serviraient également à affiner le calage du modèle dans ces secteurs.

5. Conclusions

Le travail réalisé dans le cadre de cette étude a abouti à la création d'un modèle hydrodynamique intégrant des connaissances géologiques et hydrogéologiques sur le réservoir de l'Oligocène. Cet outil a nécessité la révision du modèle géologique construit en 2000, le recueil, le traitement et l'intégration de l'ensemble des données nécessaires au fonctionnement du modèle hydrodynamique (perméabilités, coefficients d'emmagasinement, chroniques piézométriques, données de pompages, cotes de la Garonne, cartes piézométriques, données climatiques,...).

L'élaboration d'une géométrie fine (maille de 100 m) a permis de prendre en considération toute la complexité du réservoir étudié (failles, zones d'affleurements, contexte structural). Par ailleurs, l'intégration des données au pas de temps trimestriel a permis lors de la phase de calage en régime transitoire une meilleure prise en compte des variations saisonnières. Ainsi, les flux participant à la recharge des aquifères ont été mieux répartis dans le temps. Les pics de consommation pour l'alimentation en eau potable ont pu être intégrés et les prélèvements agricoles appliqués effectivement aux périodes d'irrigation. L'ensemble de ces ajustements a permis de mieux cerner le champ des coefficients d'emmagasinement lors de la phase de calage du modèle en régime transitoire, étapes préliminaires indispensables à son utilisation comme outil d'aide à la définition de règles de gestion de la nappe.

Dans un premier temps, le modèle a servi à évaluer l'extension de la zone dénoyée au cours du temps. Les résultats obtenus montrent que l'étendue du dénoyage du réservoir oligocène est moins importante que n'aurait pu le laisser penser les estimations réalisées précédemment [Corbier et al., 2005]. Ces différences proviennent essentiellement des méthodes employées pour établir les surfaces piézométriques. En effet, lors des travaux effectués en 2005, les données prises en compte provenaient de l'interpolation au pas de 200 m des cartes piézométriques dressées à la main dans le cadre du suivi annuel des nappes en Gironde. Cette démarche implique une part d'interprétation dans les secteurs présentant peu ou pas de mesures. L'approche utilisée pour cette étude est plus intégrative puisque le calcul des charges hydrauliques dans le modèle est réalisé en considérant pour chaque maille la géométrie du réservoir et ses propriétés hydrodynamiques. L'estimation de l'extension du dénoyage peut donc être considérée comme plus précise par le biais de cette méthode. Mais cette précision aurait pu être accrue s'il y avait eu dans le secteur dénoyé des piézomètres d'observation pour contraindre davantage le calage du modèle et observer l'évolution de la charge hydraulique.

Dans un second temps, le modèle a été utilisé pour réaliser des simulations prospectives afin de fournir des éléments techniques permettant aux différents acteurs de la **Commission Locale de l'Eau (CLE)** d'arrêter un plan de gestion pour la nappe de l'Oligocène.

Tout d'abord, 6 scénarios ont été utilisés pour simuler l'évolution des charges au pas de temps annuel jusqu'en 2025. Les différents scénarios pris en compte dans le cadre de ces projections ont été définis en concertation avec le groupe d'experts hydrogéologues de la CLE. Ils ont été construits de manière à mesurer les effets sur le dénoyage de la nappe de l'Oligocène des modifications appliquées à la recharge et aux prélèvements. Les trois premiers scénarios permettent d'évaluer l'influence des modifications du climat et donc de la recharge sur le dénoyage de l'Oligocène en gardant les prélèvements constant sur la période considérée (prélèvements moyens de la période 2001-2007). Il ressort de ces simulations que les prévisions du **GIEC** (**G**roupe d'experts **I**ntergouvernemental sur l'**E**volution du **C**limat) induisent globalement une baisse de la piézométrie par rapport à la reconduction à l'identique d'une climatologie moyenne pour la période 1997-2007.

Les projections 4 à 6 ont-elles été utilisées pour mesurer l'impact de l'évolution des prélèvements sur la nappe de l'Oligocène. Ici, la recharge a été établie à partir des projections A1B du GIEC (scénario le plus cohérent par rapport aux projections de l'Agence Internationale de l'Energie). Ces simulations montrent qu'un dénoyage plus ou moins important peut être obtenu en fonction des stratégies utilisées pour l'exploitation du réservoir. En effet, l'augmentation globale des prélèvements retranscrite dans le scénario 4 conduit à une extension importante du dénoyage du réservoir alors que le scénario 6 qui implique une baisse des prélèvements sur la ligne des « 100 000 m³/jour » aboutit à une stabilisation voire à une remontée nette des charges dans ce secteur.

Cette dernière simulation a démontré tout l'intérêt d'étudier de manière plus approfondie la possibilité de réduire les prélèvements sur les secteurs problématiques de manière à limiter au mieux la désaturation du réservoir. Une série de simulations a donc été réalisée afin de trouver le meilleur compromis entre exploitation du réservoir et dénoyage. La démarche a donc été itérative. Simulation après simulation, le débit des forages a été ajusté progressivement pour estimer la limite à partir de laquelle les prélèvements effectués au droit du parc de forages induisaient la désaturation de l'aquifère.

Il ressort de cette approche que la répartition des prélèvements dans l'espace est un facteur prépondérant. **Un dénoyage plus ou moins important peut être obtenu en fonction des stratégies utilisées pour exploiter le réservoir.** Les simulations réalisées ont également montré que le retour à un dénoyage équivalent à celui observé en 1972 n'apparaît pas envisageable en considérant les conditions de recharge issues des prospections du GIEC. **Néanmoins, une réduction de 3 à 4 millions de m³/an (soit environ 10 % des prélèvements du secteur)** appliquée à certains forages bien précis permettrait d'aboutir à une amélioration significative de la situation. Toutefois, il faut garder à l'esprit que cette approche permet uniquement d'évaluer de manière globale l'ordre de grandeur du volume annuel à substituer pour réduire l'impact de l'exploitation du réservoir sur le dénoyage de la nappe. Par ailleurs, toute mise en œuvre d'une réduction des prélèvements doit être précédée d'une étude de faisabilité de ces stratégies d'exploitation vis-à-vis des contraintes techniques et économiques.

Il est en effet possible que certains scénarios ne soit pas compatibles avec les spécificités du réseau de distribution ou les capacités d'alimentation de tel ou tel secteur.

En substance, même si l'extension de la zone dénoyée est probablement moins importante que n'aurait pu le laisser penser les premières estimations réalisées, les stratégies qui seront établies pour exploiter le réservoir de l'Oligocène influenceront fortement l'évolution du dénoyage de la nappe. Il faut souligner ici, le manque de points d'observation sur la zone d'intérêt située à l'est de la ligne des « 100 000 m³/jour ». La réalisation de 6 piézomètres sur les communes de Saucats, la Brède et de Saint-Morillon permettrait de bénéficier de points de surveillance complémentaires qui serviraient à affiner la construction des cartes piézométriques dans ce secteur. Le calage dans le modèle de ces chroniques participerait à une meilleure restitution locale des charges dans ce domaine à fort enjeu. Par ailleurs, ces points d'observation permettraient de mesurer l'effet sur la piézométrie des réductions des prélèvements qui seraient appliquées à certains forages de la ligne des « 100 000 m³/jour ». Des prélèvements pourraient également être réalisés pour observer l'évolution de paramètres susceptibles de traduire une dégradation de la qualité de la nappe. De plus, il semblerait pertinent de suivre de nouveau en continu certains ouvrages de la ligne des « 100 000 m³/jour » afin d'observer les variations saisonnières. La plupart font aujourd'hui l'objet d'un suivi annuel ce qui est parfois insuffisant pour leur utilisation en chroniques de calage.

Par ailleurs, la contamination en 2009 du captage de Gamarde par des polluants de type pétrolier ([Chapuis, 2009] ; [Vengud, 2009]) nous rappelle que la vulnérabilité du réservoir de l'Oligocène est surtout liée à la proximité des zones d'affleurement.

Il faut citer ici les études antérieures qui indiquent l'existence d'une communication étroite entre le ruisseau du Saucats et la nappe de l'Oligocène [LARAG et SAFEGE, 1994] ou encore entre le ruisseau du Monastère et le champ captant de Thil-Gamarde [SAFEGE, 1996].

Il serait donc intéressant d'étudier de façon plus approfondie les relations entre les eaux de surface et les eaux souterraines sur certains secteurs stratégiques (Saucats, Gat-Mort). Le recueil de chroniques de débit permettrait notamment d'affiner la restitution des relations nappes-rivières dans le modèle et donc la restitution piézométrique de la nappe dans ces zones. De même, l'installation de stations de jaugeage au droit de sources non aménagées pour l'alimentation en eau potable permettrait de mesurer l'impact des évolutions climatiques et de la recharge sur leurs débits. Ces sources pourraient également constituer des points de calage supplémentaires dans le modèle.

6. Bibliographie

Alvinerie J., Dubreuilh J., Gayet J. et Pratviel L. (1976). Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Bordeaux (803). Rapport technique, BRGM.

Alvinerie J., Dubreuilh J., Gayet J. et Pratviel L. (1977). Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Pessac (827). Rapport technique, BRGM.

Alvinerie J. et Gayet J. (1973). Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Hostens (851). Rapport technique, BRGM.

Bellegarde R., Bonnery H. et Hosteins L. (1980). Gestion des nappes en Aquitaine, compte rendu annuel de surveillance 1980, nappes des sables éocènes en Gironde et des calcaires oligocènes en rive gauche de la Gironde-Garonne - 80 SGN 723 AQI. Rapport technique, BRGM.

Benoist E. (1885). Puits artésien à Landiras. *P.V. Soc. Linn. Bordeaux*, 39:XXXIII.

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

Blanc P. (1973). *Le Crétacé terminal des rides de Villagrains - Landiras (Gironde) et Roquefort - Creon (Landes) - Cezan - Lavardens (Gers)*. Thèse de doctorat, Université Paris VI.

Bonnery H., Mauroux B. et Sourisseau B. (1996). Contrôle qualité et gestion des nappes d'eau souterraine en Gironde. État des connaissances à fin 1995 -BRGM/RR-39147-FR. Rapport technique, BRGM.

Bonnery H. et Sourisseau B. (1986). Contrôle qualité et gestion des nappes d'eau souterraine en Gironde, année 1985 - 85SGN 657 AQI. Rapport technique, BRGM.

Bonnery H. et Sourisseau B. (1991). Contrôle qualité et gestion des nappes d'eau souterraine en Gironde, Compte rendu annuel de 1991 (état fin 1990) - R 33749 AQI 4S 91. Rapport technique, BRGM.

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

Cassoudebat M., Platel J.P. et Sellier E. (1972). Étude phénoénologique du calcaire à Astéries. *Bulletin de la société linnéenne de Bordeaux*, pages 9–18.

Chamayou J. et Heng B. (1975). Nouvelles possibilités aquifères des calcaires oligocènes au sud-est de Bordeaux, en rive Gauche de la Garonne - 75 SGN185 AQL. Rapport technique, BRGM.

Chapuis R. (2009) Station Service 33 167 Saint Médard en Jalles - TEC.07.049.TER.RA.003.3 - Hyper Cosmos Centre E. Leclerc - Saint Médard en Jalles (33). Rapport technique, TERE0.

Chery L. et Gadalia A. (2001). Aide à la définition du périmètre de protection de la source de Fontbanne à Budos (33) - Interprétation des résultats d'analyses chimiques et isotopiques - Note technique EAU/GRI N° 2001/32. Rapport technique, BRGM.

Corbier P., Capdeville J.P., Pédron N., Platel J.P. et Winckel A. (2005). SAGE Nappes profondes de Gironde - Atlas des zones à risques - BRGM/RP-53756-FR. Rapport technique, BRGM.

Daguin F. (1941). Les Rides et les accidents anticlinaux du centre de l'Aquitaine occidentale. *Secrétariat d'État à la production industrielle. "Bulletin des Services de la carte géologique de la France et des topographies souterraines"*, N° 207. Tome XLIII:84 p.

DIREN (2009). Campagnes de jaugeages isolés 2008 en Gironde en relation avec les affleurements du Plio-Quaternaire et de l'Oligocène - GI 815. Rapport technique, DIREN AQUITAINE Service de l'Eau et des Milieux Aquatiques.

Dubreuilh J. et Alvinerie J. (1978). Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Langon (852). Rapport technique, BRGM.

Fallot M. (1892). Quelques observations sur le Crétacé supérieur dans l'intérieur du bassin de l'Aquitaine, et ses relations avec les terrains tertiaires. *Bulletin de la Société géologique de France*, XX:350–370.

Gayet J. (1985). *L'ensemble des environnements oligocènes nord aquitains; un modèle de plate-forme marine stable à sédimentation carbonatée.* Mémoires de l'Inst. de Géol. du Bassin d'Aquitaine.

Goderniaux P., Brouyère S., Fowler H. J., Blenkinsop S., Therrien R., Orban P. et Dassargues A. (2009). Large scale surface-subsurface hydrological model to assess climate change impacts on groundwater reserves. *Journal of Hydrology*, 373(1-2):122–138.

Gomez E., Pédron N. et Buscarlet E. (2010). Utilisation du modèle nord-aquitain (mona) pour appuyer la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds du nord du bassin aquitain - brgm/rp-57878-fr. Rapport technique, BRGM.

Hosteins L. (1982). *Étude hydrogéologique du réservoir oligocène en Aquitaine occidentale - Gestion et conservation de la ressource de cette nappe dans la région de Bordeaux.* Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1.

Houben G. et Treskatis, C. (2007). *Water well rehabilitation and reconstruction.* McGraw-Hill.

Houben G. J. (2004). Modeling the buildup of iron oxide encrustations in wells. *Ground Water*, 42(1):78–82.

LARAG et SAFEGE (1994). Étude de vulnérabilité de l'aquifère stampien - secteur de La Brède. Rapport technique, LARAG SAFEGE.

Larroque F. (2004). *Gestion globale d'un système aquifère complexe, Application à l'ensemble aquifère multicouche médocain.* Thèse de doctorat, Université Michel de Montaigne - Bordeaux 3.

Larroque F. et Franceschi M. (2008). Rôle du dénoyage dans le colmatage d'un puits : apports et limites de la simulation numérique. *In Colloque AHSP - EGID "Le forage d'eau au XXIe siècle" - Bordeaux 2008.*

Linder M. (1873). Observations sur la constitution du terrain tertiaire inférieur de l'Aquitaine occidentale, déduites des sondages effectués dans la Gironde et le Lot-et-Garonne. *Extraits des CR des séances de la Société Linnéenne de Bordeaux*, pages LXXXIX–CXXI.

Loiseau J., Pédron N., Platel J.P. et Saltel M. (2009). SAGE Nappes profondes de Gironde, Atlas des zones à risques, Phase 2 - Zone à risque de l'Oligocène en rive gauche de la Garonne entre Bordeaux et Langon, rapport intermédiaire - BRGM/RP-57353-FR. Rapport technique, BRGM.

Pagé C., Terray L. et Boé J. (2008). Projections climatiques à échelle fine sur la France pour le 21^{ème} siècle : les scénarii scratch08. Rapport technique, CERFACS.

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

Pélissier-Hermitte G. (2006). Encadré 3 du chapitre VI, Bassin Aquitain dans "Aquifères & eaux souterraines en France, tome 1". BRGM éditions.

Platel J.P. (1987). *Le Crétacé supérieur de la plate-forme septentrionale du Bassin d'Aquitaine, stratigraphie et évolution géodynamique.* Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 3.

Platel J.P., Schnebelen N., Le Nindre Y., Saplairoles M. et Dufour P. (2000). Gestion des eaux souterraines en Aquitaine. année 4. Opération sectorielle - Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise - Synthèse des connaissances géologiques - Etat des connaissances hydrogéologiques - BRGM/RP-50468-FR. Rapport technique, BRGM.

Platel J.P. et Serrano O. (2008). Structuration des formations du Tertiaire et du Crétacé dans le Sud-Gironde (Villagrains - Saint-Magne) après retraitement et interprétation de profils de sismique-réflexion ancienne. Rapport BRGM/RP-56962-FR. Rapport technique, BRGM.

Pratviel L. (1972). *Essai de cartographie structurale et faciologique du bassin sédimentaire ouest aquitain pendant l'Oligocène.* Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1.

Raulin V. (1854). Sur le champ d'études d'une société d'Histoire Naturelle séant à Bordeaux. *Mém. Soc. Sci. Phys. Nat. Bordeaux*, tom I:18.

SAFEGE (1996). Protection du champ captant Thil-Gamarde, Traçage du Monastère. Rapport technique, SAFEGE

Saltel M. (2008). *Impact de structures géologiques sur l'alimentation de systèmes aquifères profonds - Fonctionnement hydrogéologique des antifformes du sud de Bordeaux.* Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 3.

Saltel M., Dupuy A., Condom T. et Franceschi M. (2006). Étude du réseau hydrographique au droit de la structure de Villagrains -Landiras (Rivières du Gat-Mort, de la Mouliasse, du Tursan, de la Nère, de la Hountine, du Bouron et du Ciron). Rapport technique, EGID.

Schnebelen N., Mauroux B., Seguin J.J. et Dubreuilh J. (2001). Contrôle qualité et gestion des nappes d'eau souterraine en Gironde. État des connaissances à fin 2000 - BRGM/RP-51307-FR. Rapport technique, BRGM.

Schnebelen N., Platel J.P., Le Nindre Y., Baudry D., Hoarau A., Dufour P. et Benhammouda S. (2002). Gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Année 5. Opération sectorielle - Protection de la nappe de l'Oligocène en région bordelaise. Nouvelles connaissances hydrogéologiques. Cartographie de la vulnérabilité aux pollutions - BRGM/RP-51178-FR. Rapport technique, BRGM.

Seguin J.J. (1999). Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde. Actualisation du modèle nord-aquitain de gestion des nappes. période 1997-1998 brgm r40760. Rapport technique, BRGM.

Singo A. (1981). *Les ressources en eau de la nappe des calcaires oligocènes dans la région sud de Bordeaux en rive gauche de la Garonne.* Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 3.

Thiéry D. (1990). Logiciel MARTHE Modélisation d'Aquifère par maillage Rectangulaire en régime Transitoire pour le calcul Hydrodynamique des Écoulements - R-32210. Rapport technique, BRGM.

Thiéry D. (2004). Définition des coefficients d'emmagasinement captif dans le code MARTHE - Note technique NT EAU 2004/05. Rapport technique, BRGM.

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

Tournouer R. (1862). A propos du Crétacé de Landiras et Villagrains. *Bulletin de la Société géologique de France*, 2ème série tome XIX:1058–1059.

Veillon M. et Vigneaux M. (1964). Le paléogène sur le flanc nord de l'anticlinal aquitain de villagrains-landiras. *Compte rendu sommaire des séances de la Société géologique de France*, Fascicule 1:17–18.

Vengud M. (2009). Étude hydrogéologique du captage de Gamarde à Saint-Médard-en-Jalles dans le cadre de la pollution aux hydrocarbures de juin 2009. Rapport technique, SAFEGE.

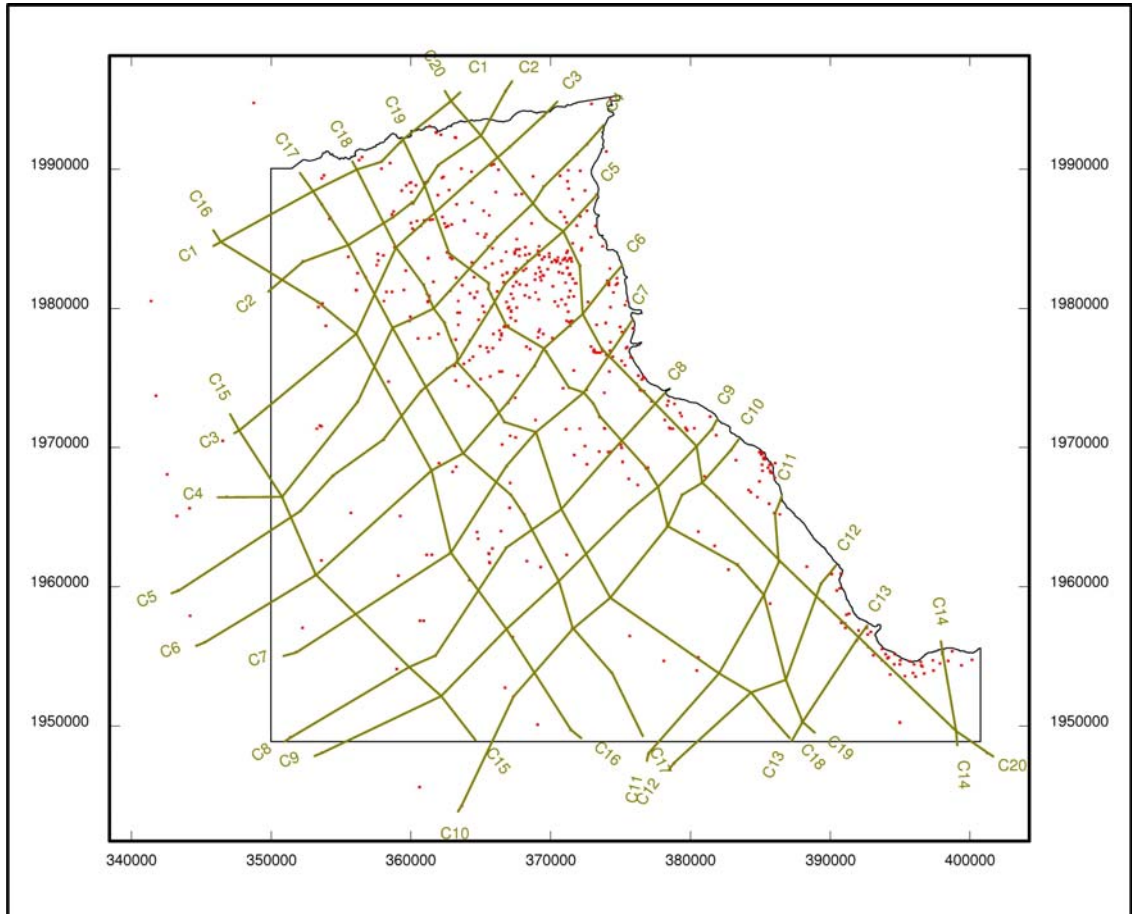
Vigneaux M. (1950). Observations stratigraphiques sur la couverture tertiaire du dome de villagrains landiras (gironde). *Bulletin de la société géologique de France*, pages 317–322.

Vigneaux M. (1951). L'Éocène inferieur sur le versant Nord de l'anticlinal de Villagrains - Landiras (Gironde). *C. R. Académie des Sciences Paris*, pages 1768–1769.

Vigneaux M. (1953). L'anticlinal de Villagrains - Landiras (Gironde). *Bureau des recherches géologiques et géophysiques*, page 53.

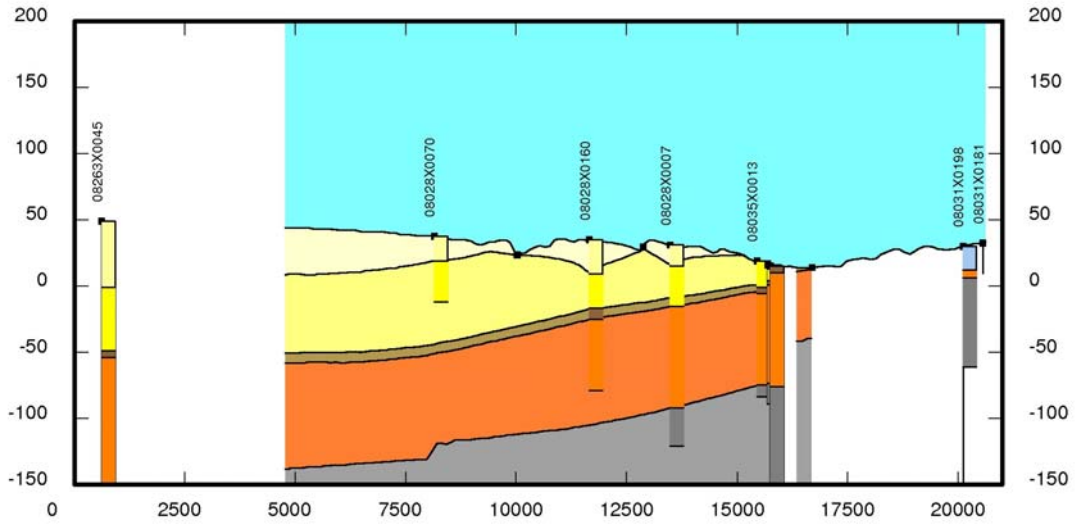
Annexe 1

Coupes dans la géométrie du modèle géologique numérique (GDM)

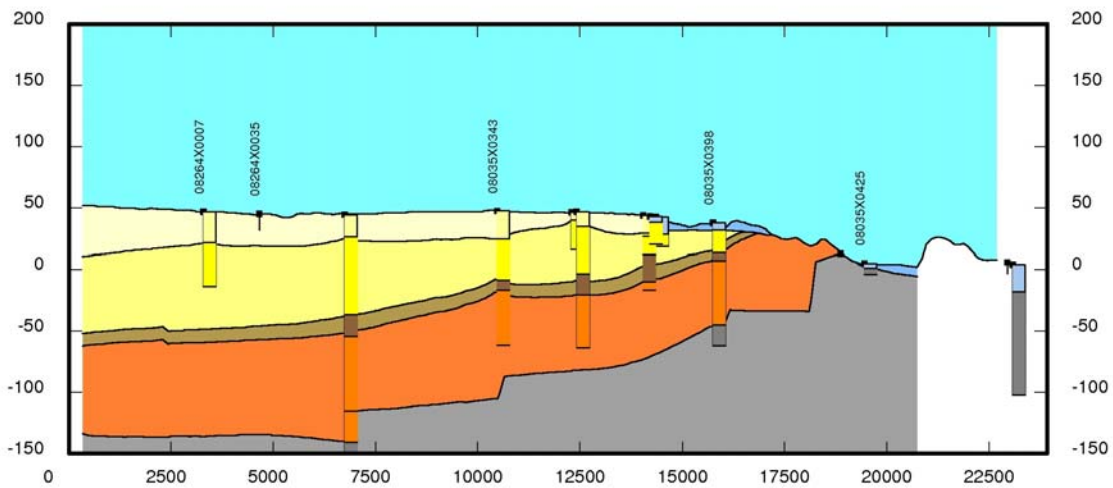


C1 ——— Coupes réalisées dans le modèle
• Ouvrages (utilisés pour la construction du modèle)

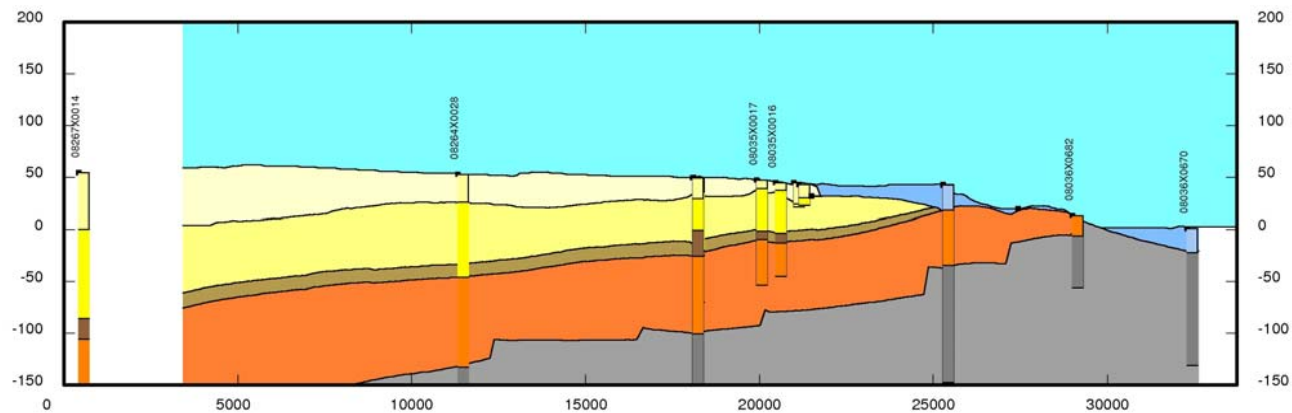
Coupe C1



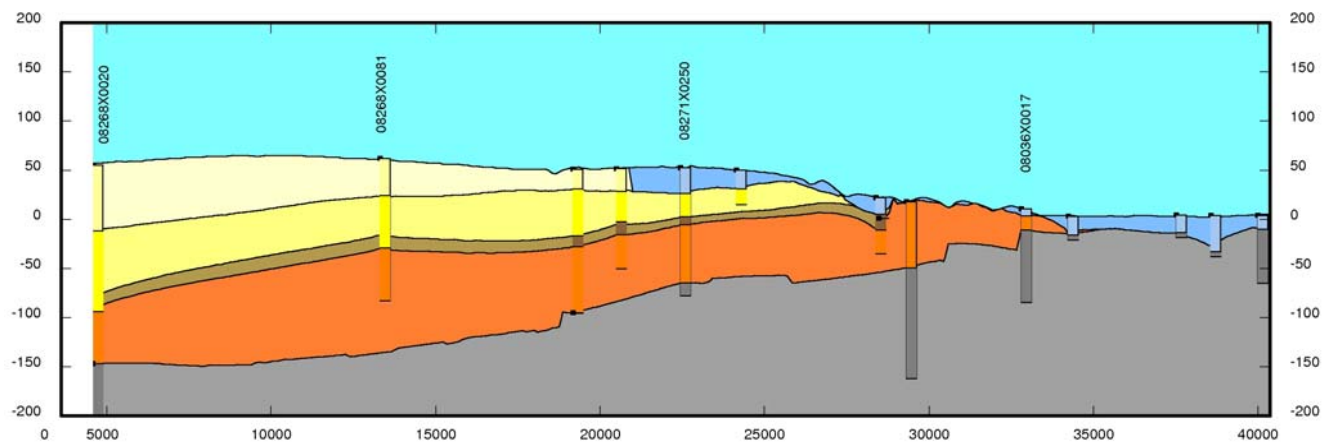
Coupe C2



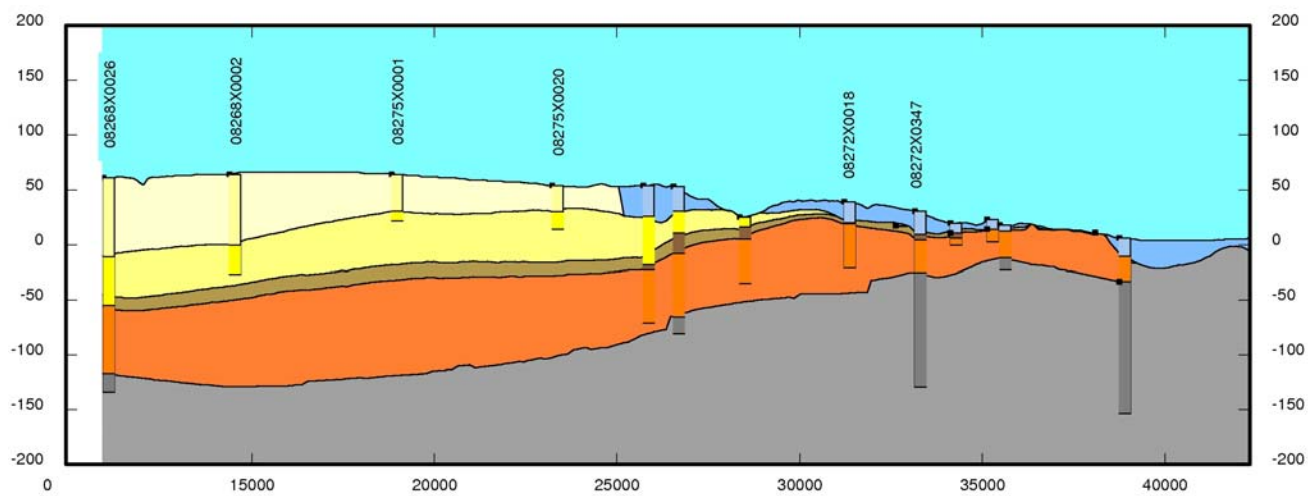
Coupe C3



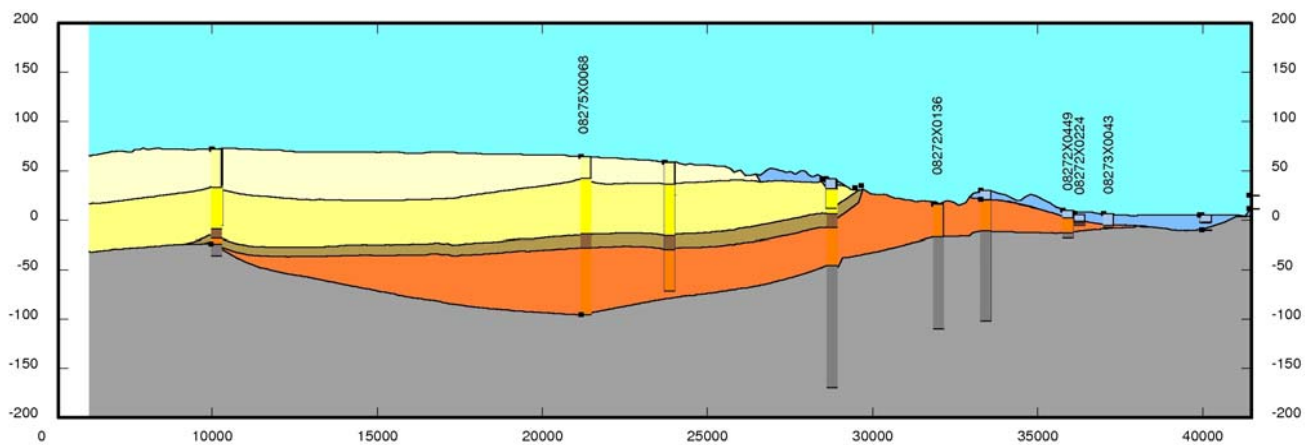
Coupe C4



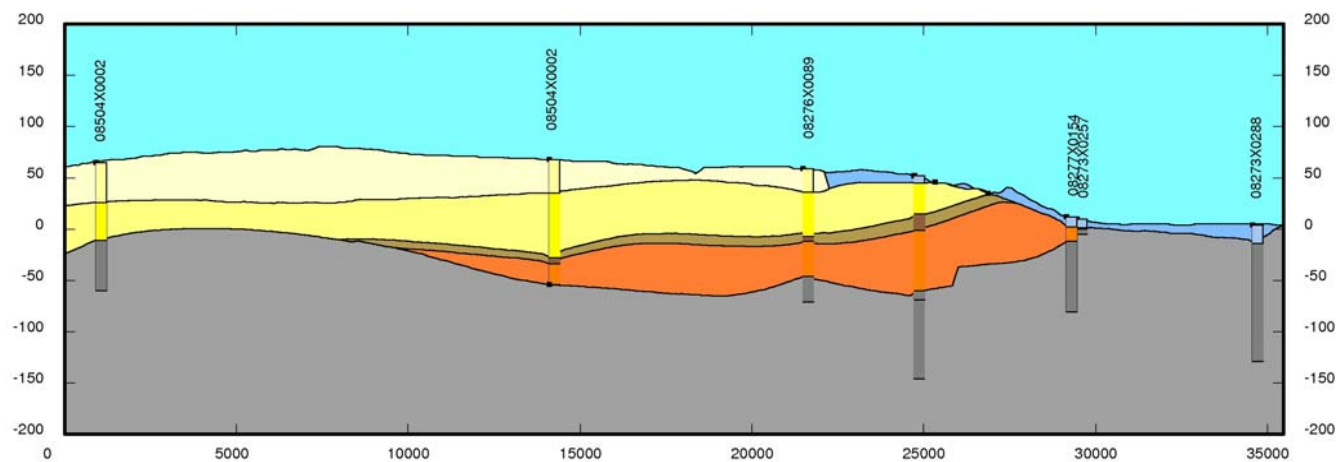
Coupe C5



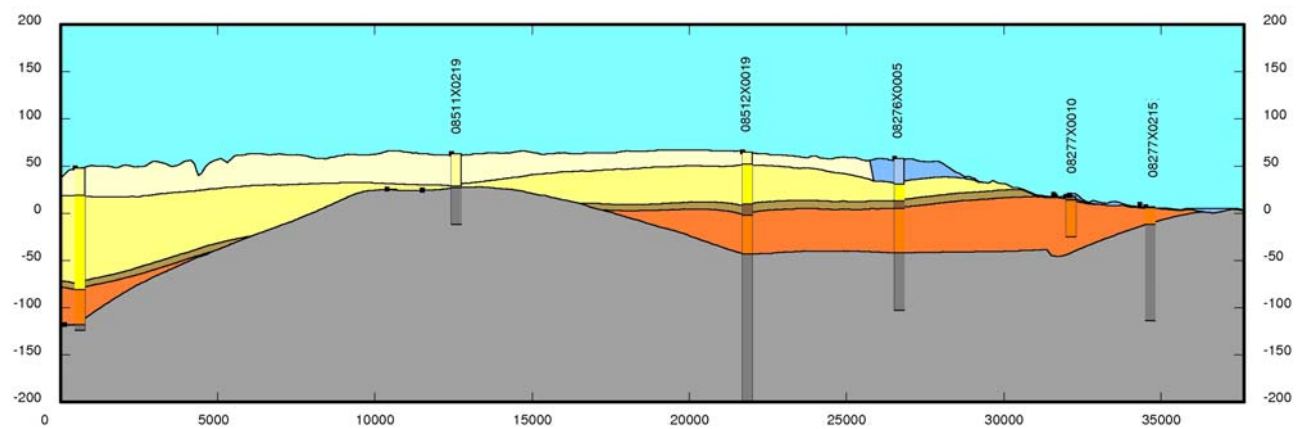
Coupe C6



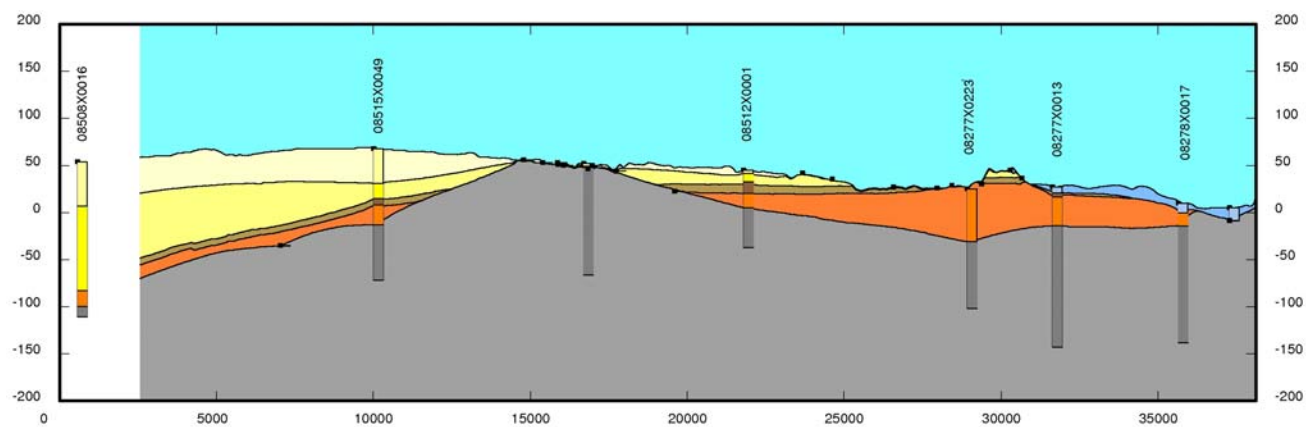
Coupe C7



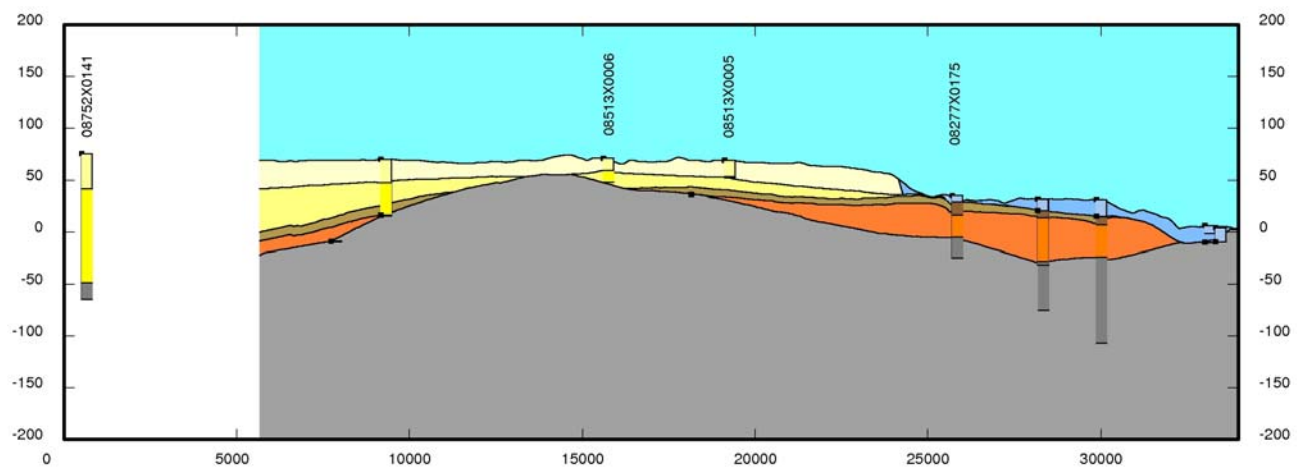
Coupe C8



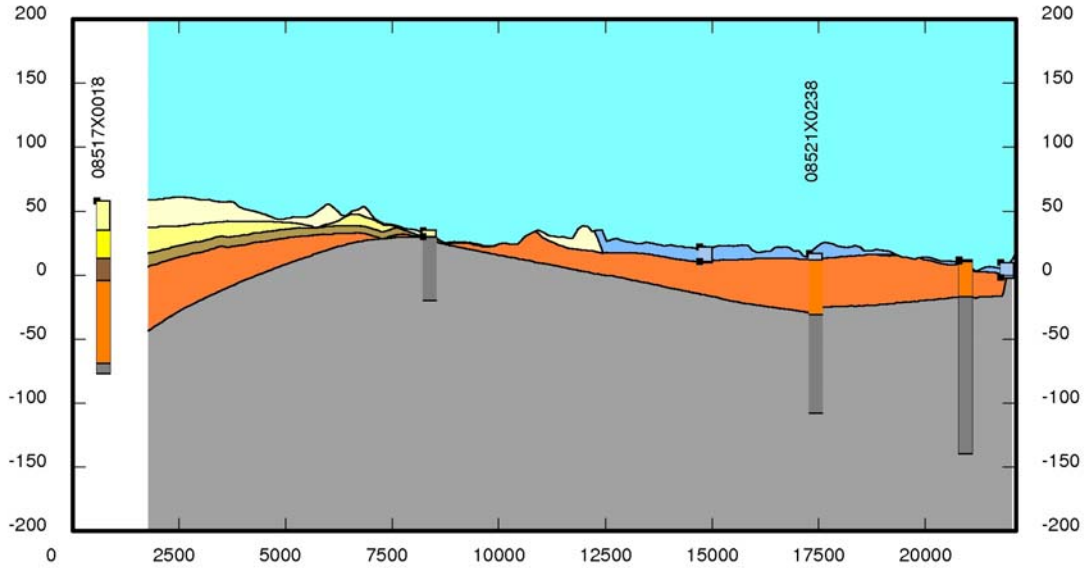
Coupe C9



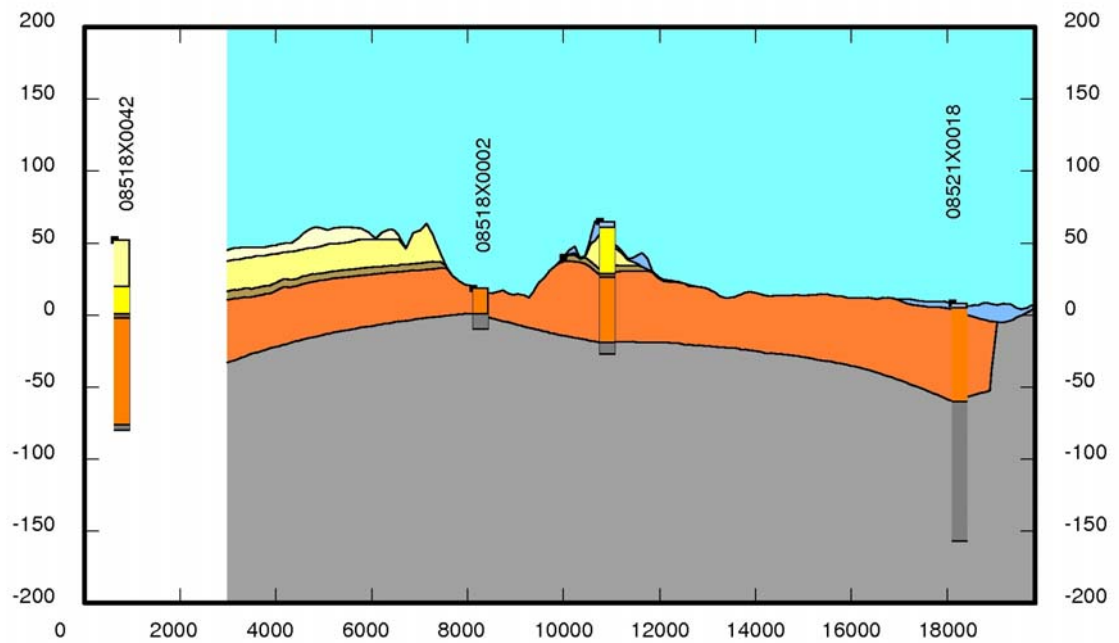
Coupe C10



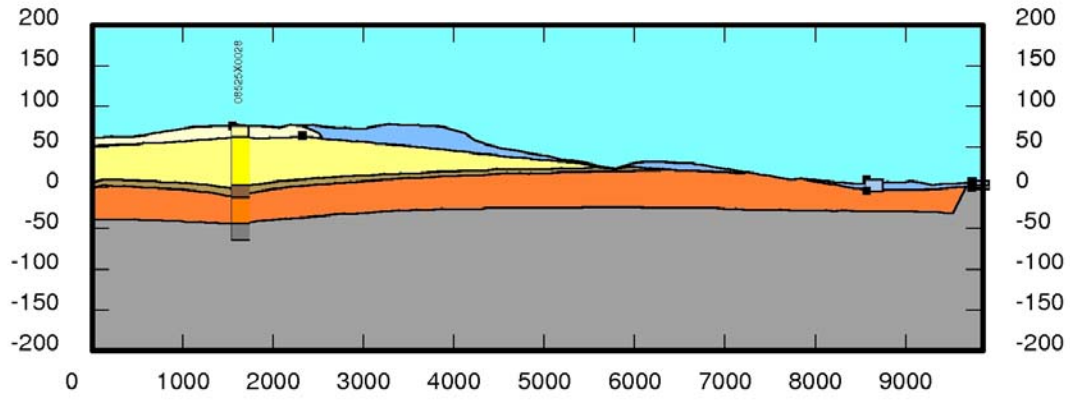
Coupe C11



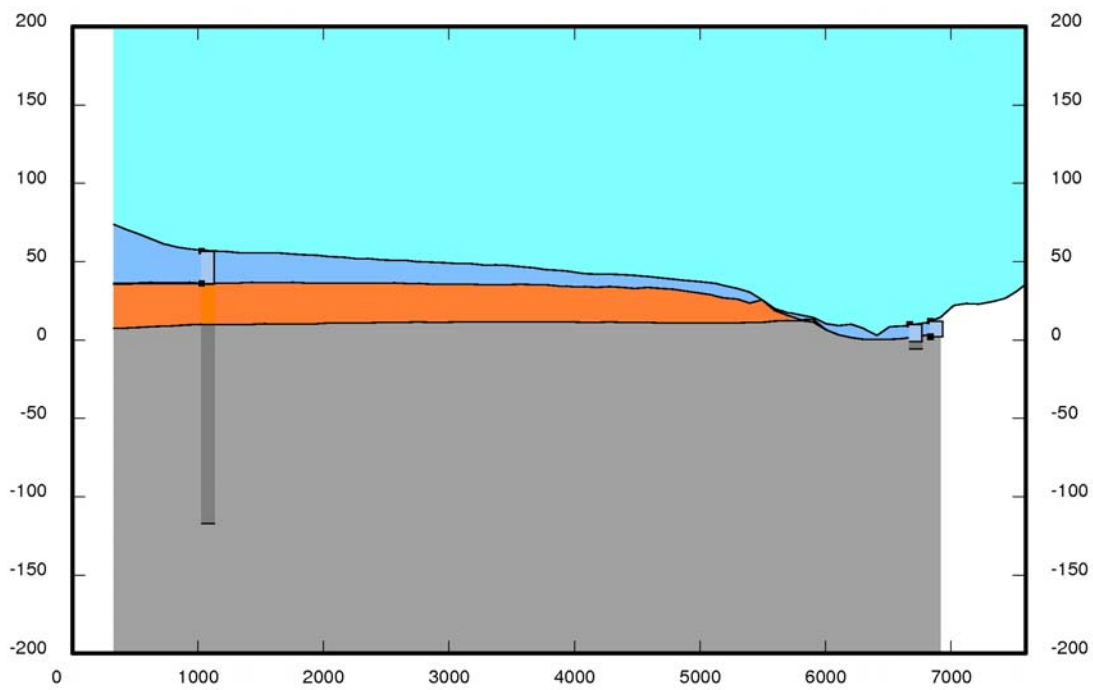
Coupe C12



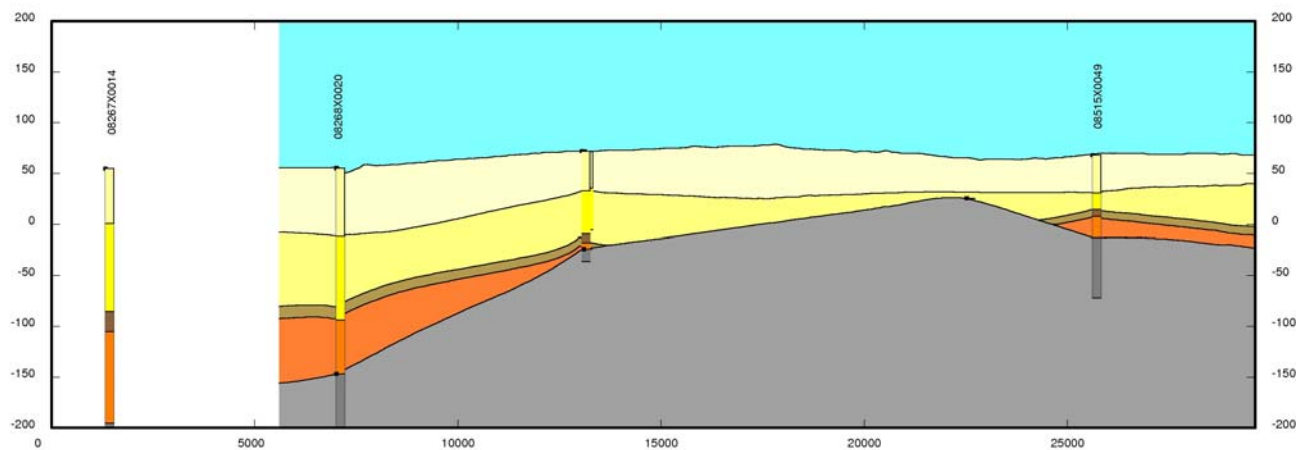
Coupe C13



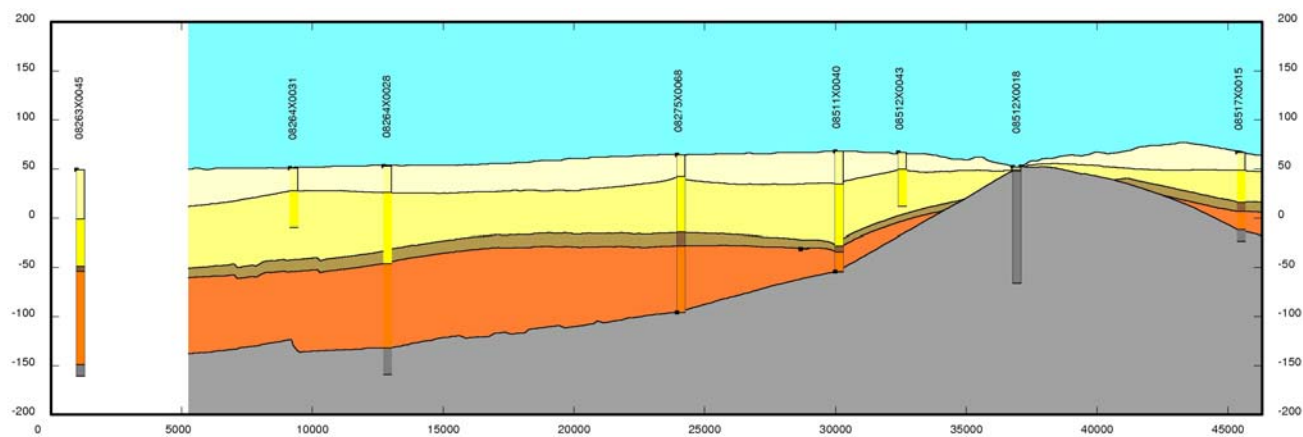
Coupe C14



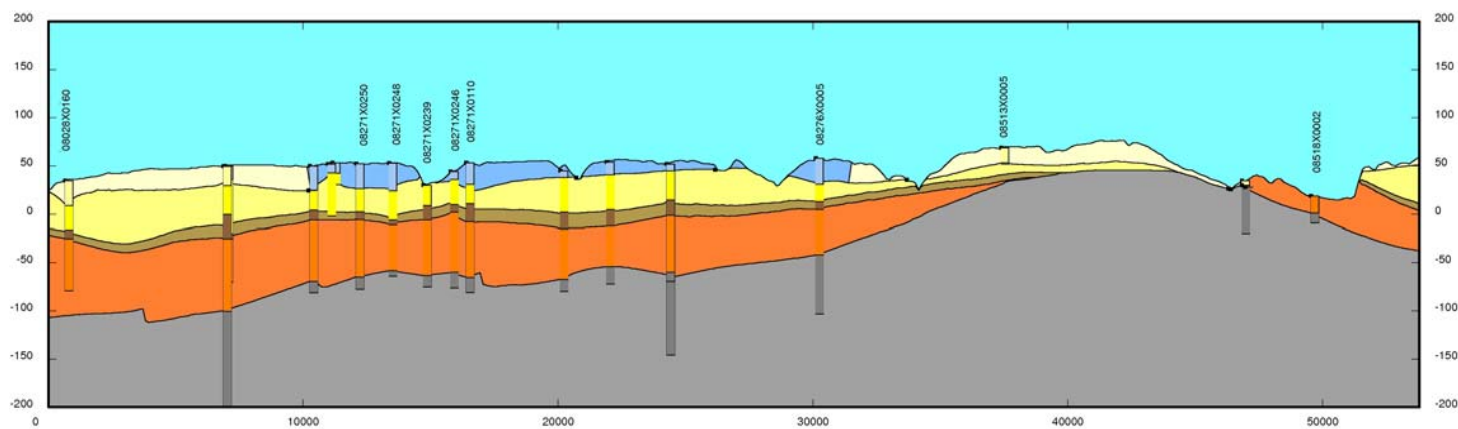
Coupe C15



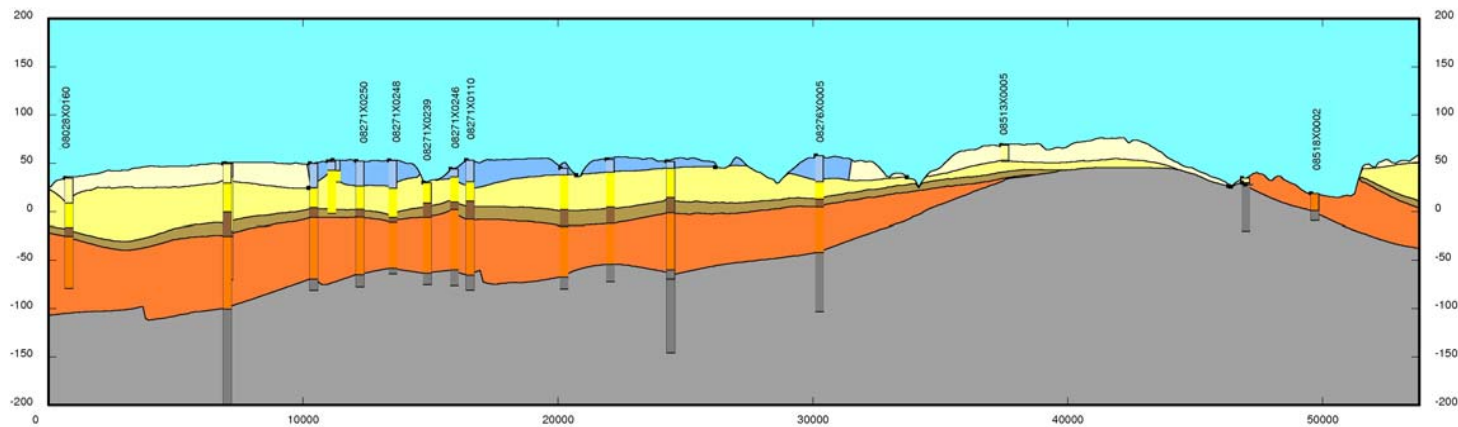
Coupe C16



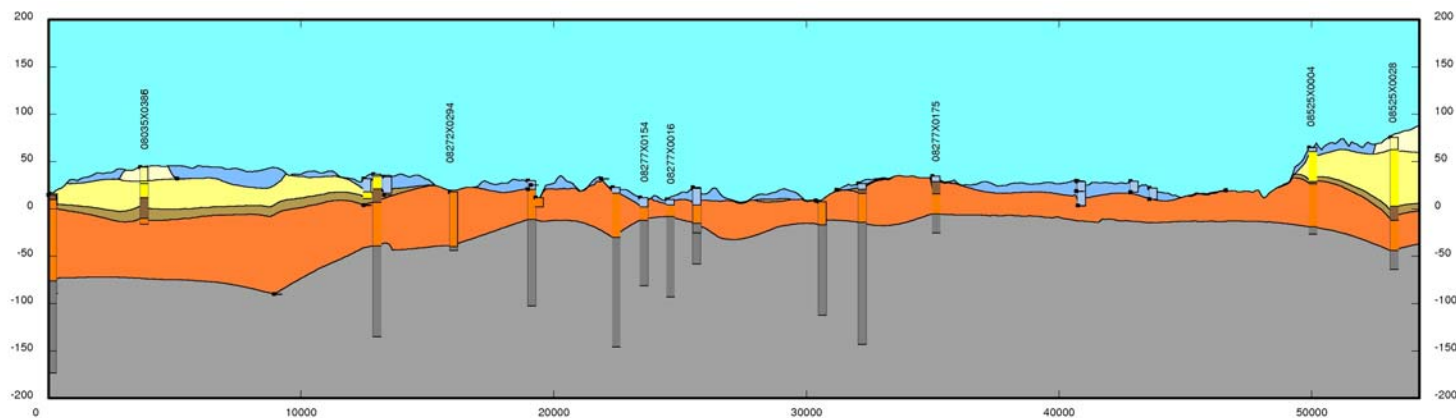
Coupe C17



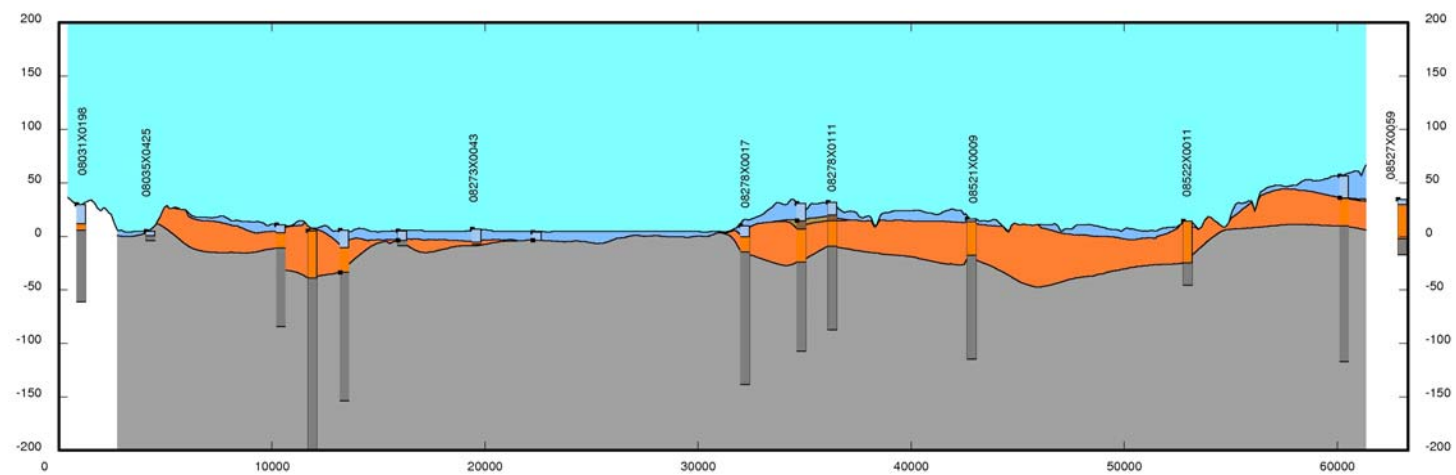
Coupe C18



Coupe C19

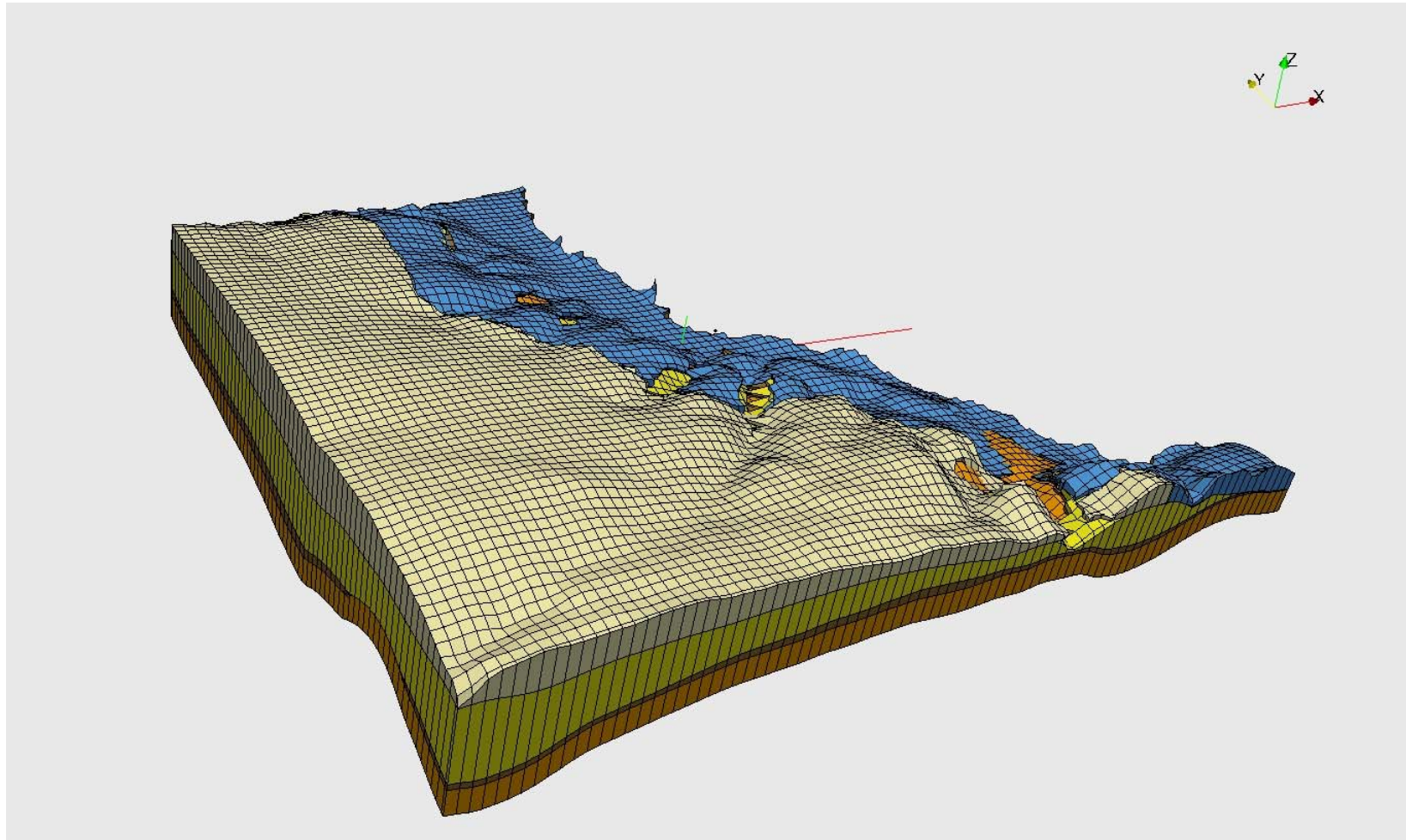


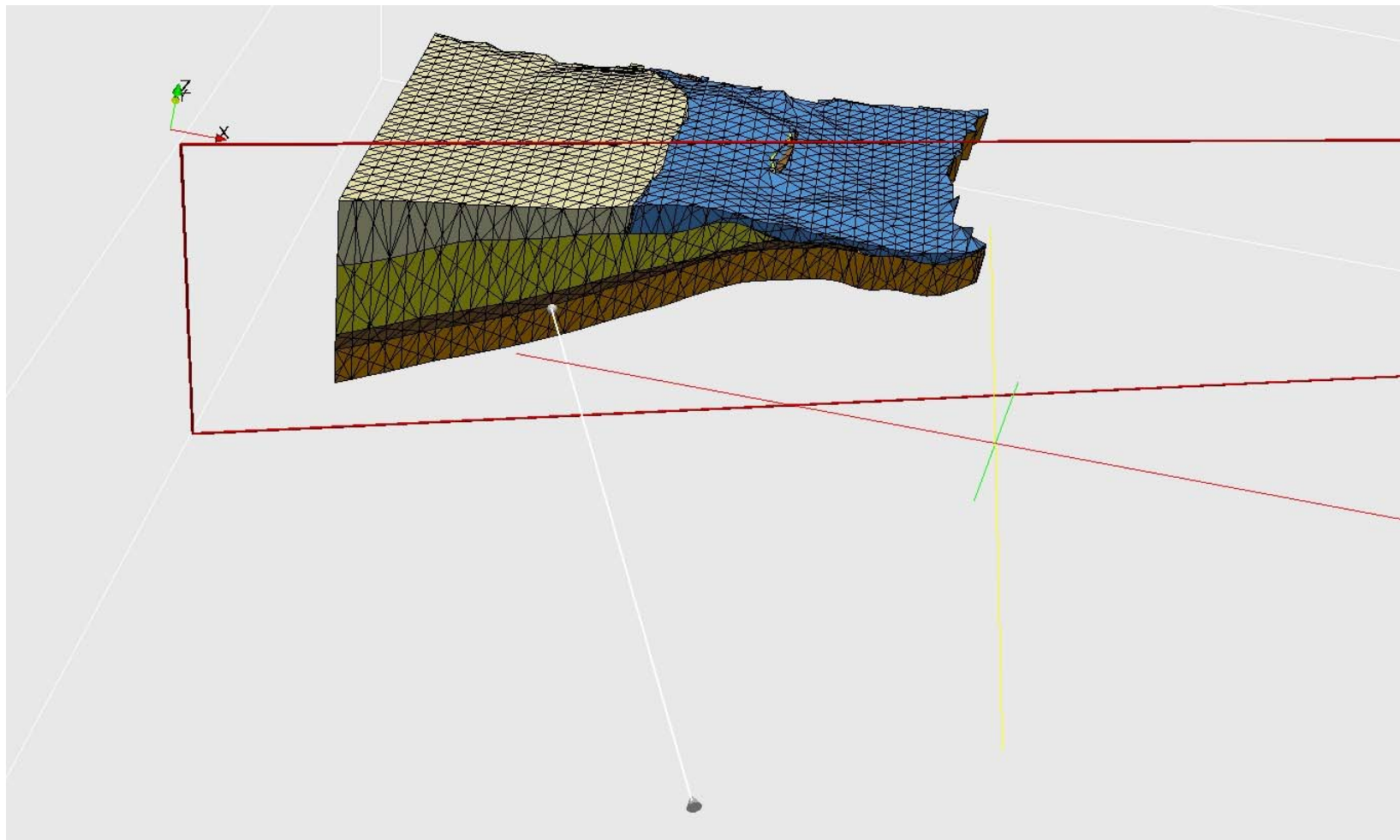
Coupe C20

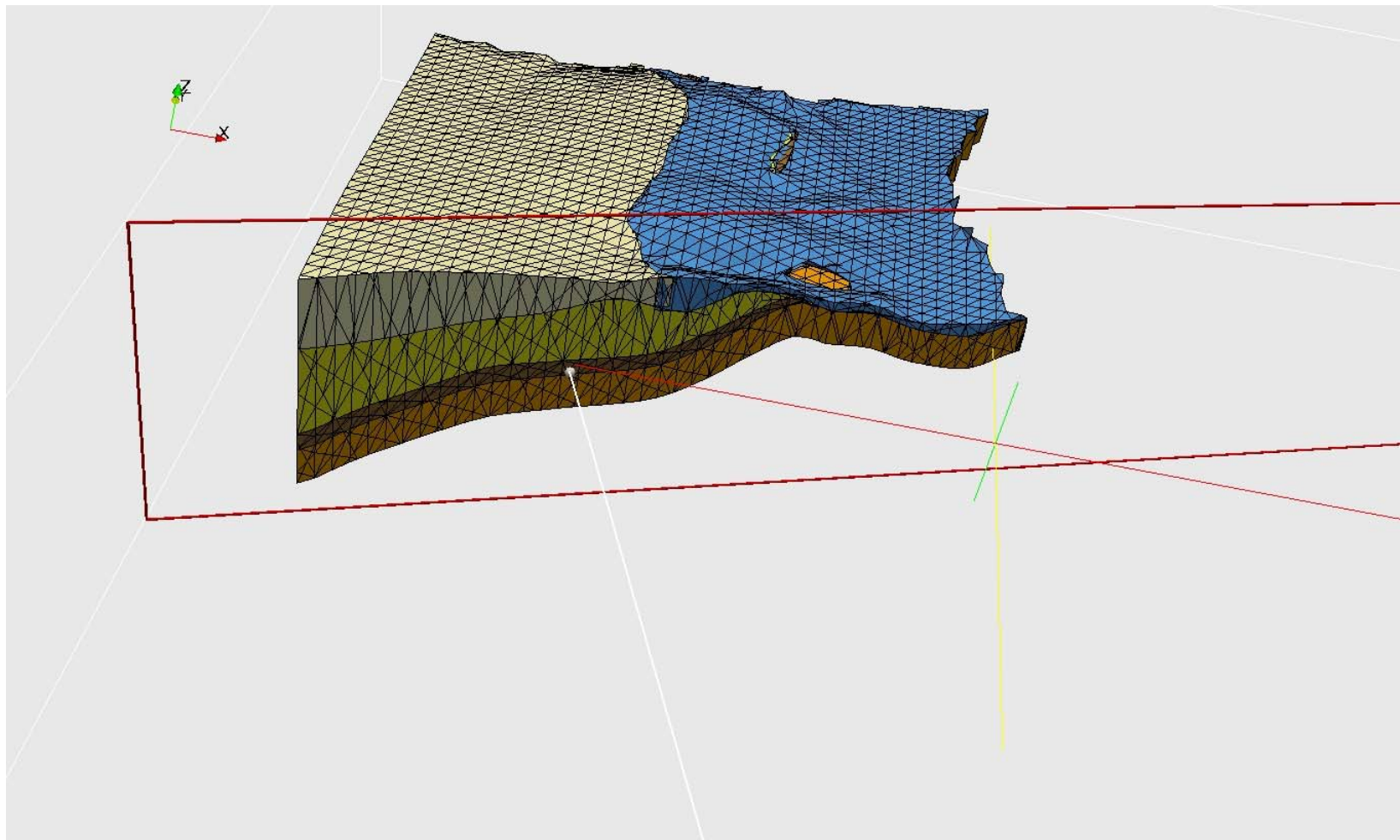


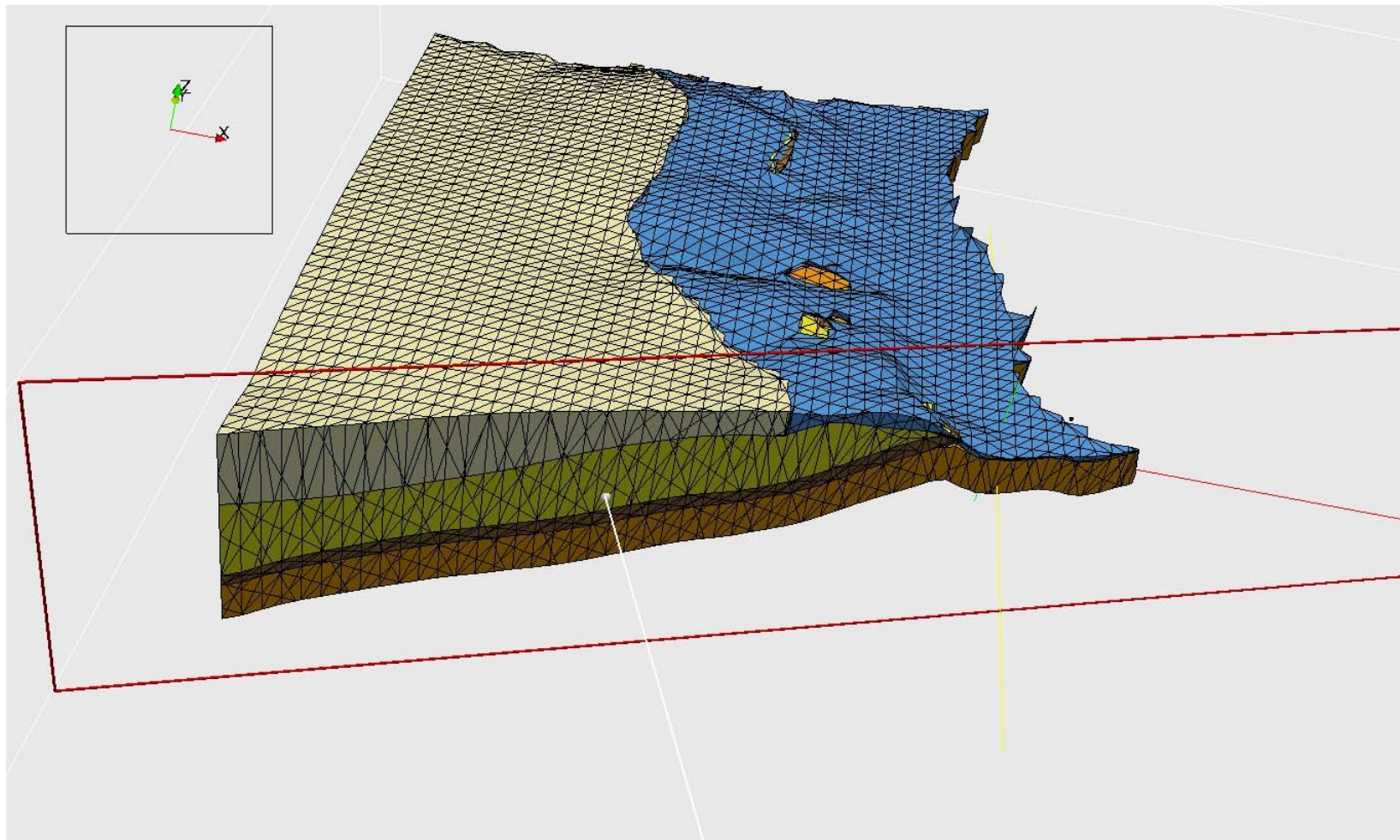
Annexe 2

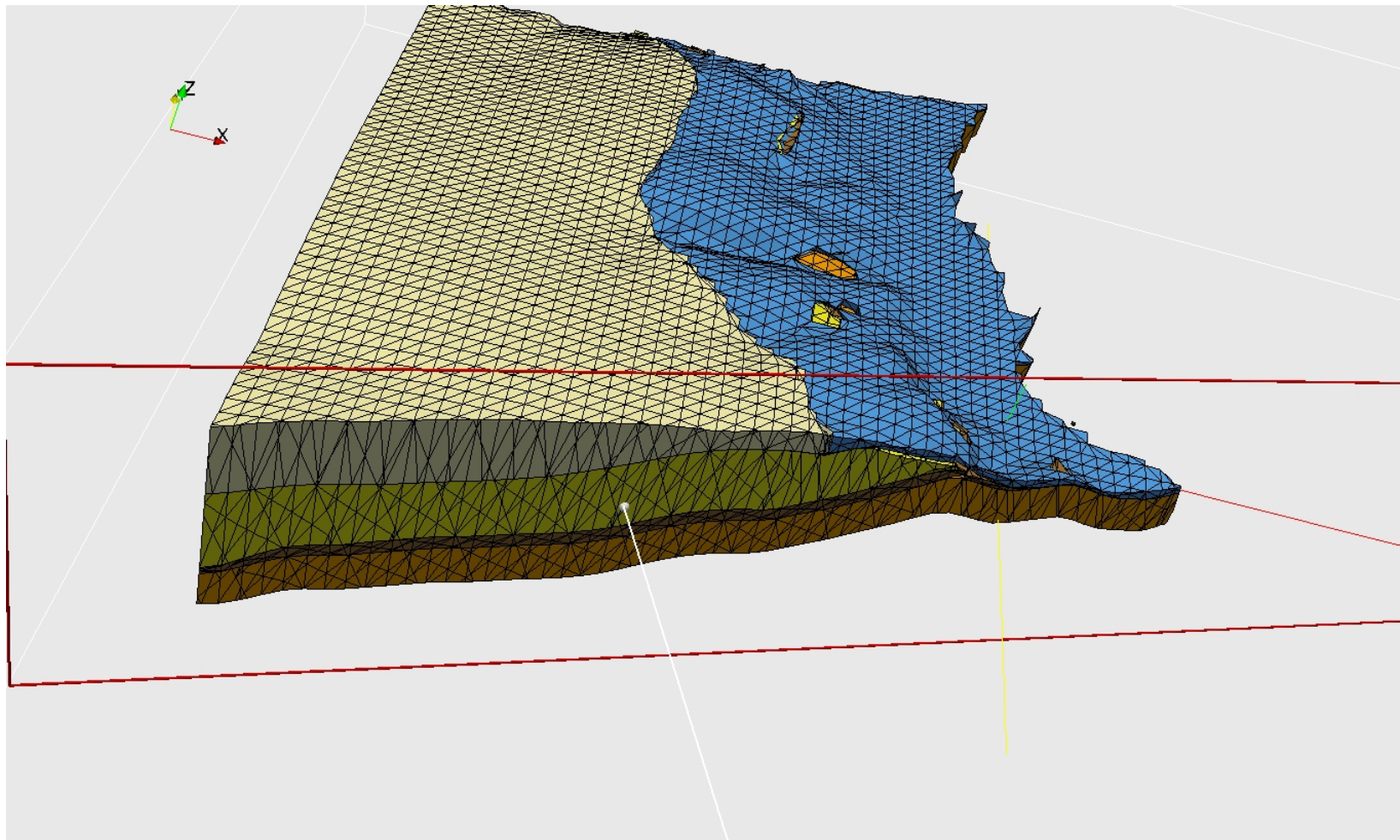
Vues 3D dans le modèle géologique numérique

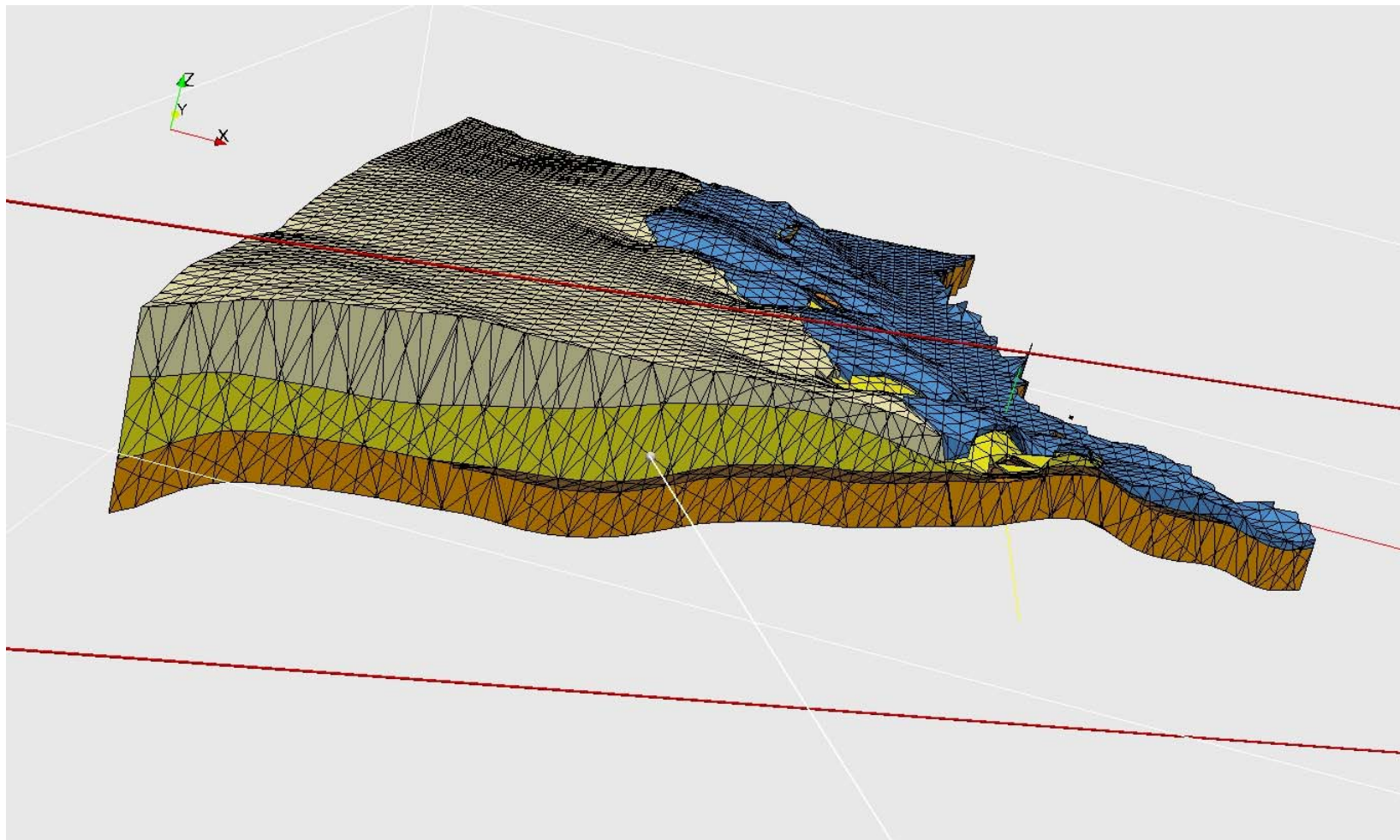


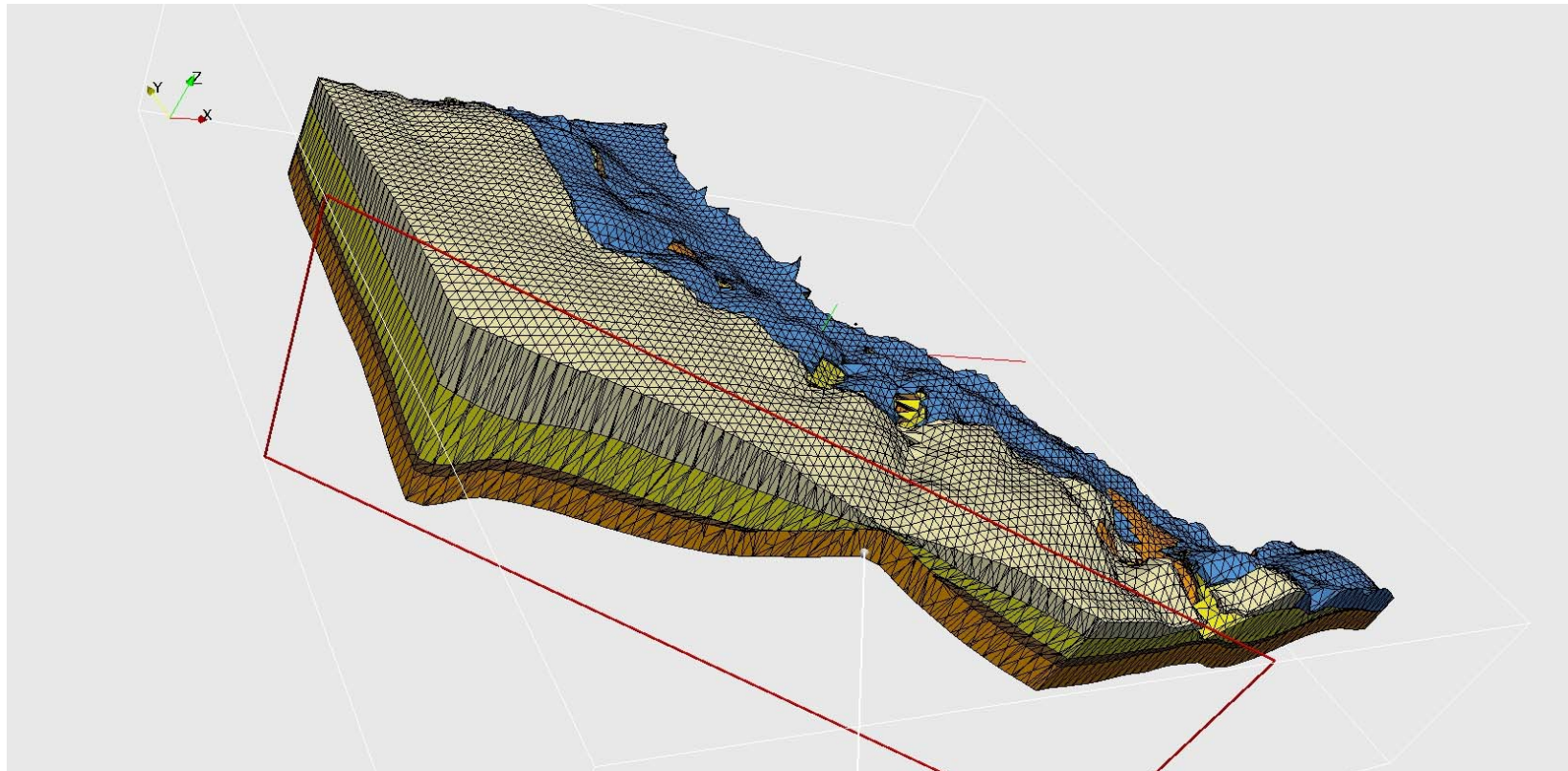


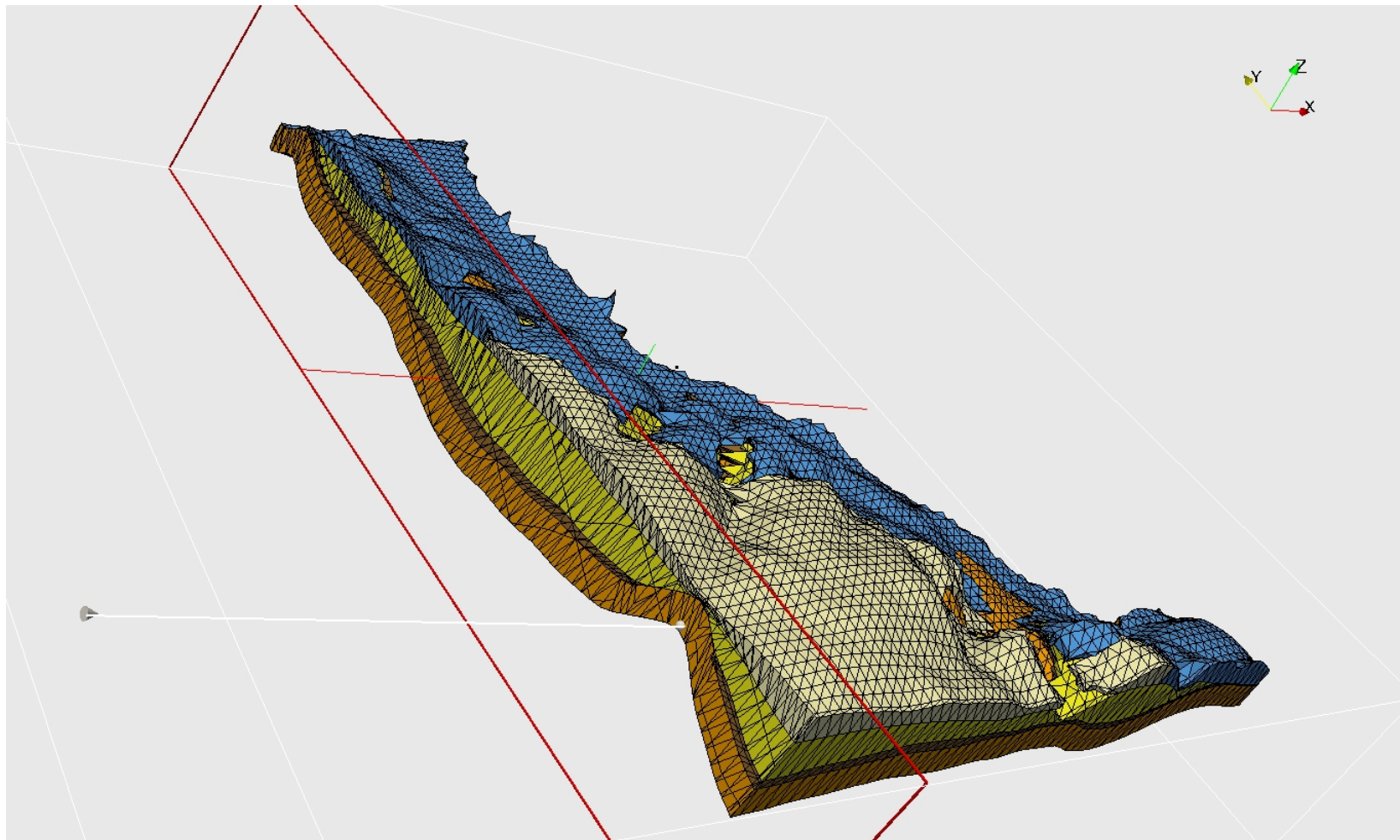


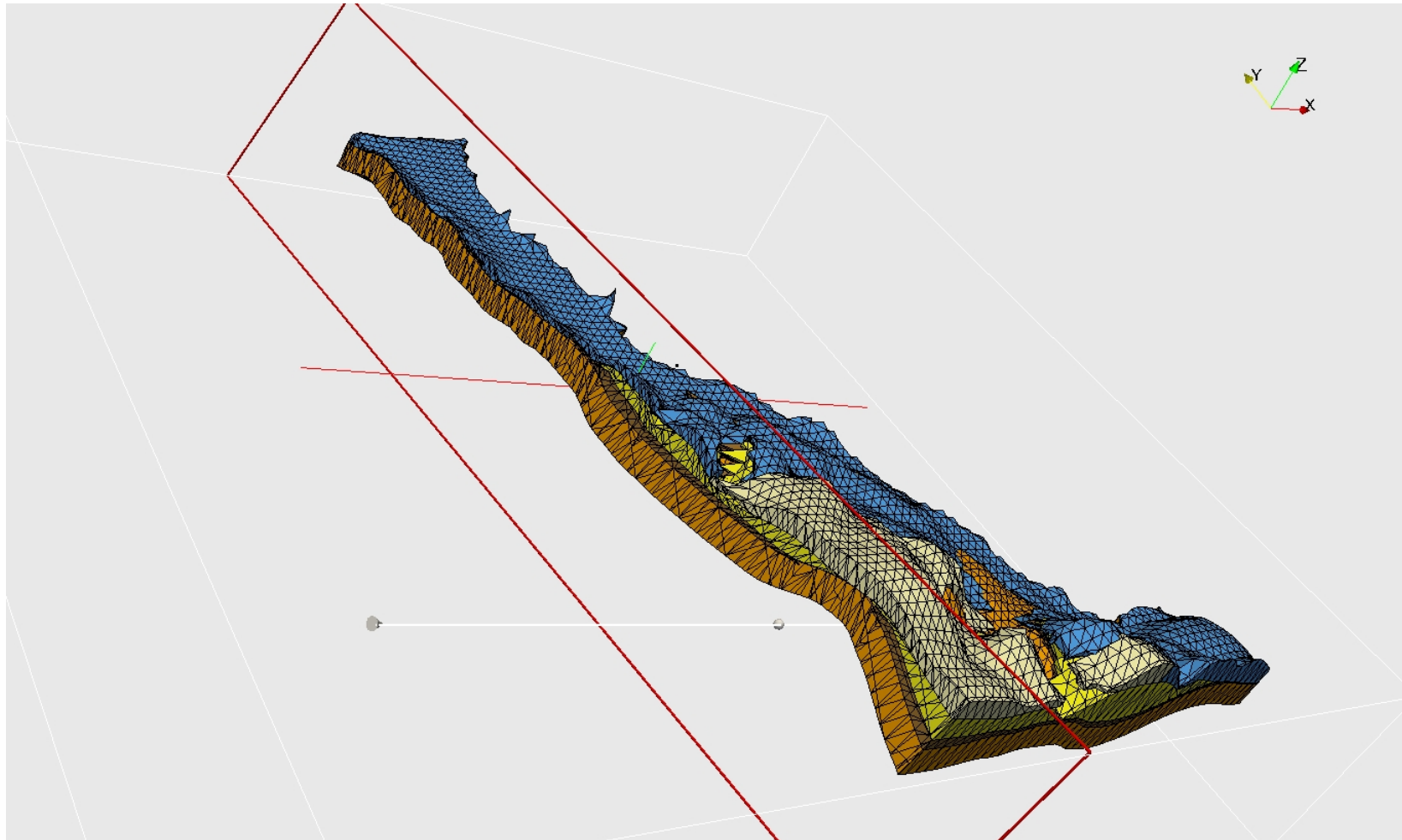


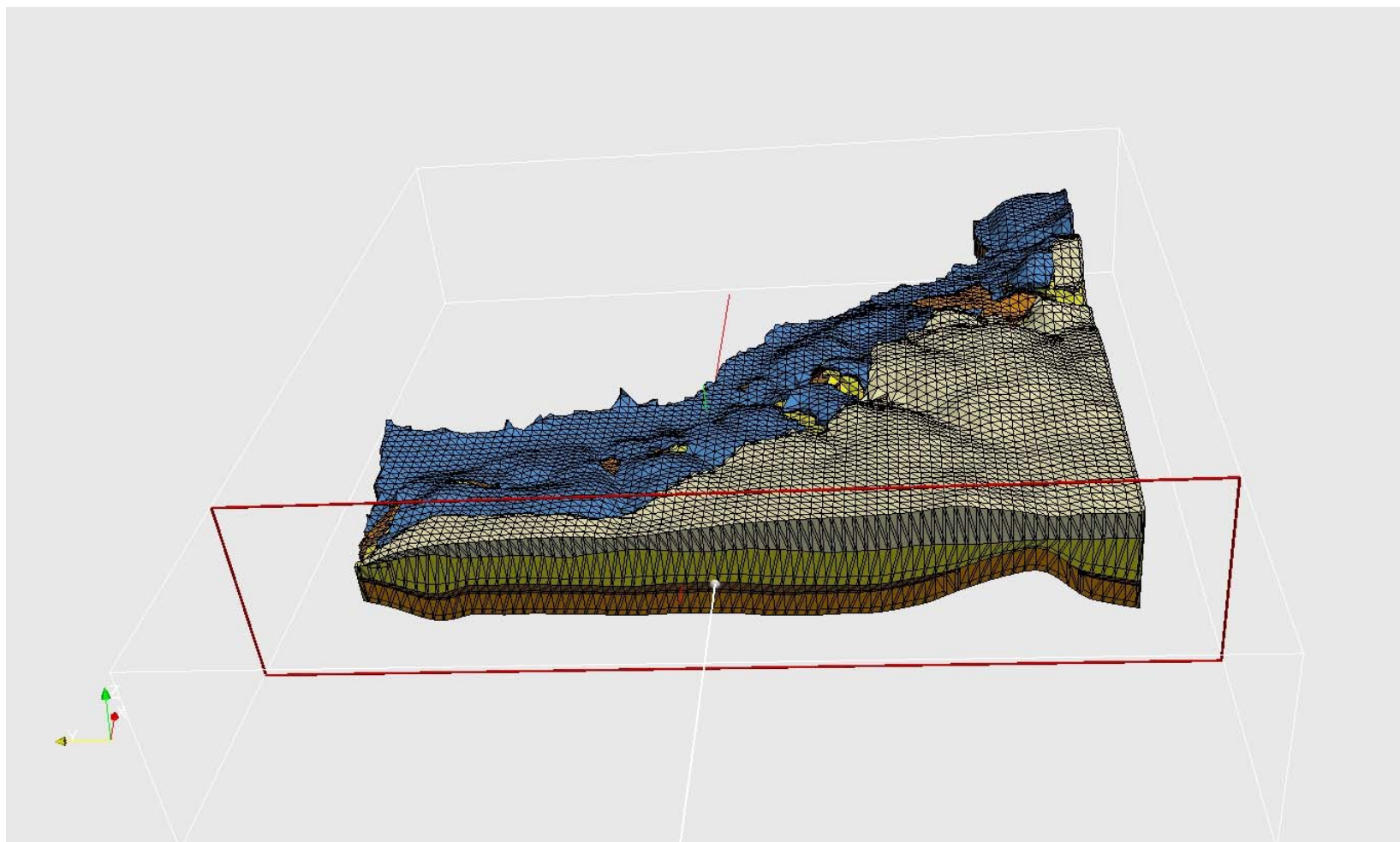






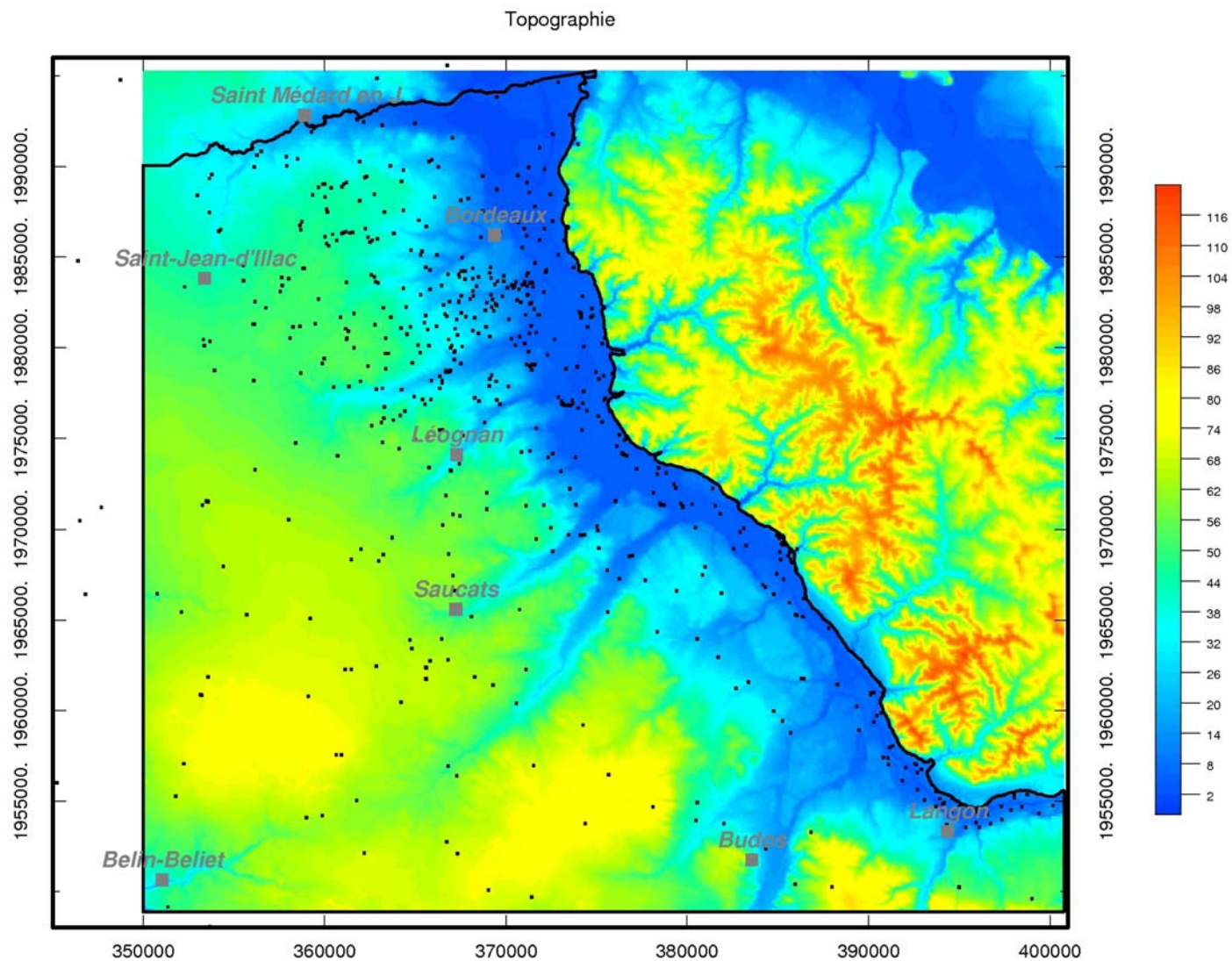


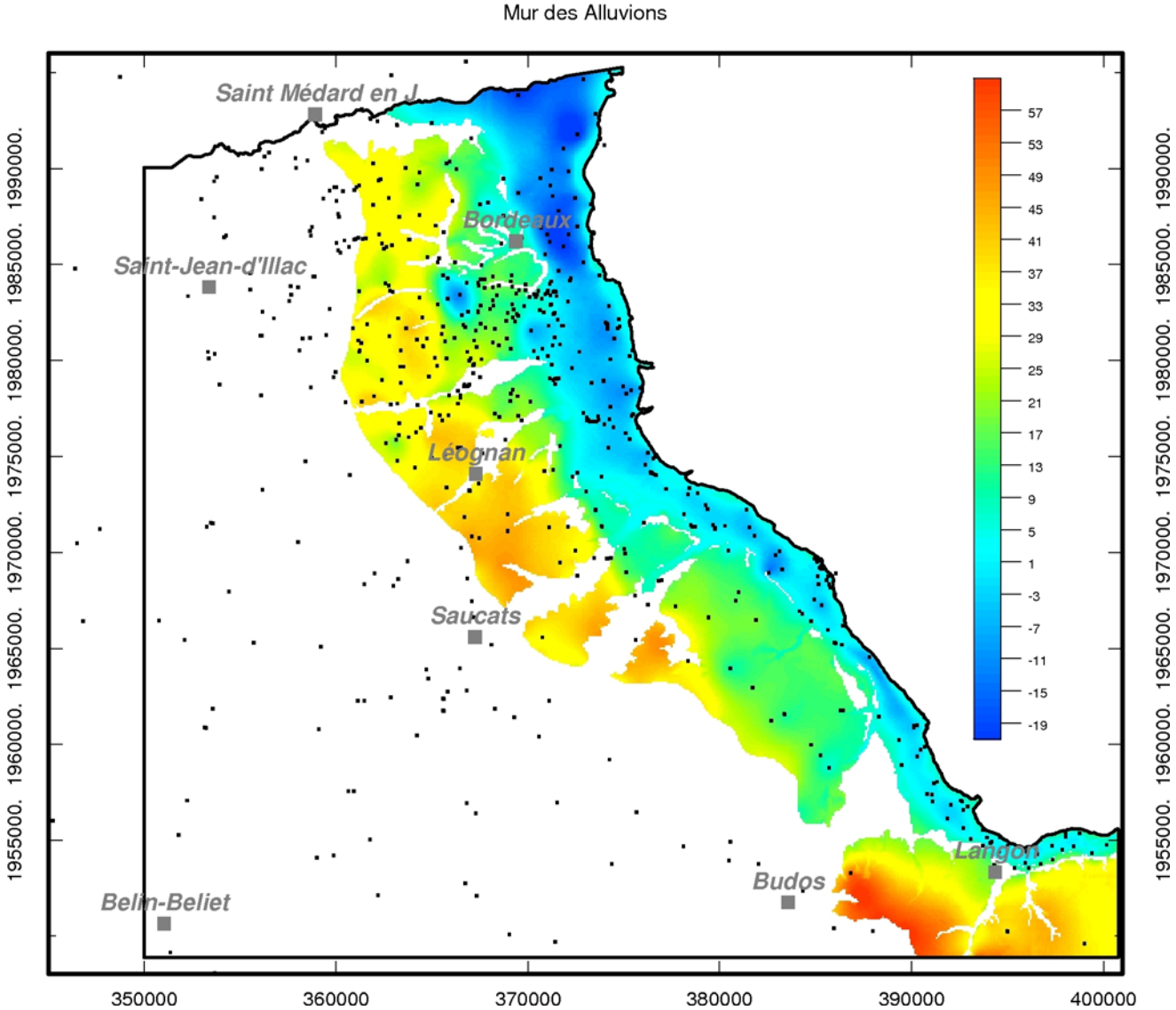




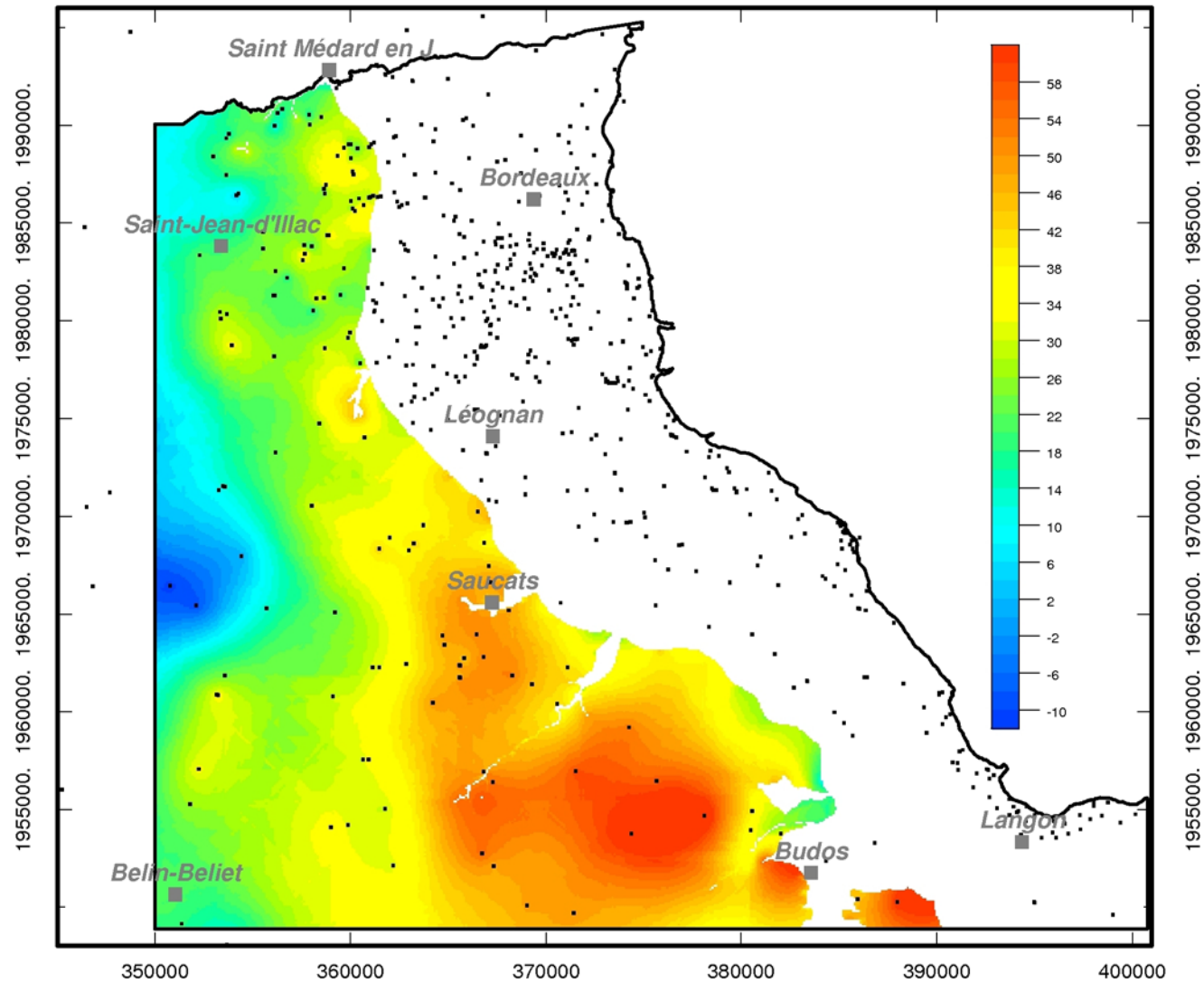
Annexe 3

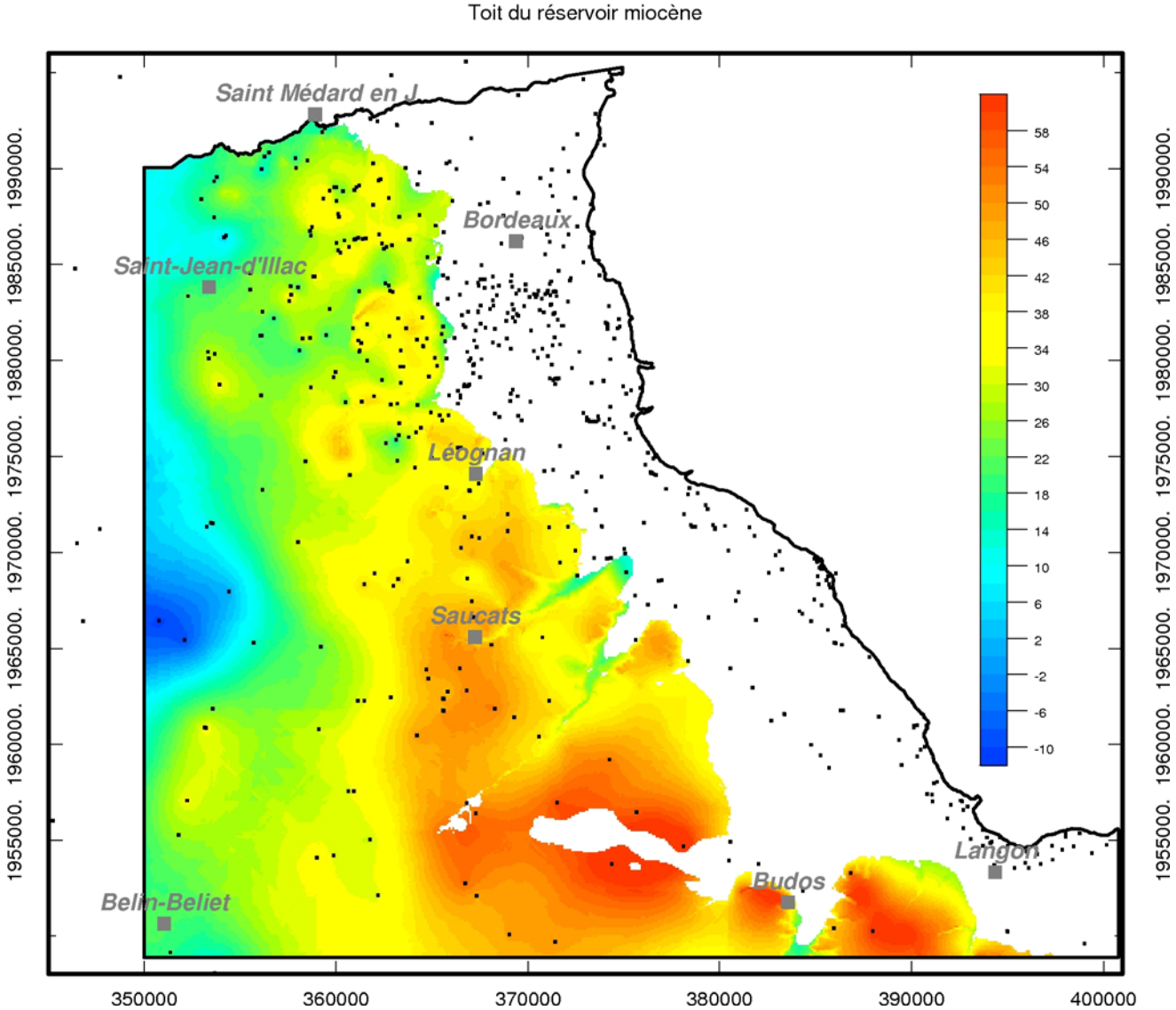
Cartes des isobathes des toits et des murs des couches du modèle géologique

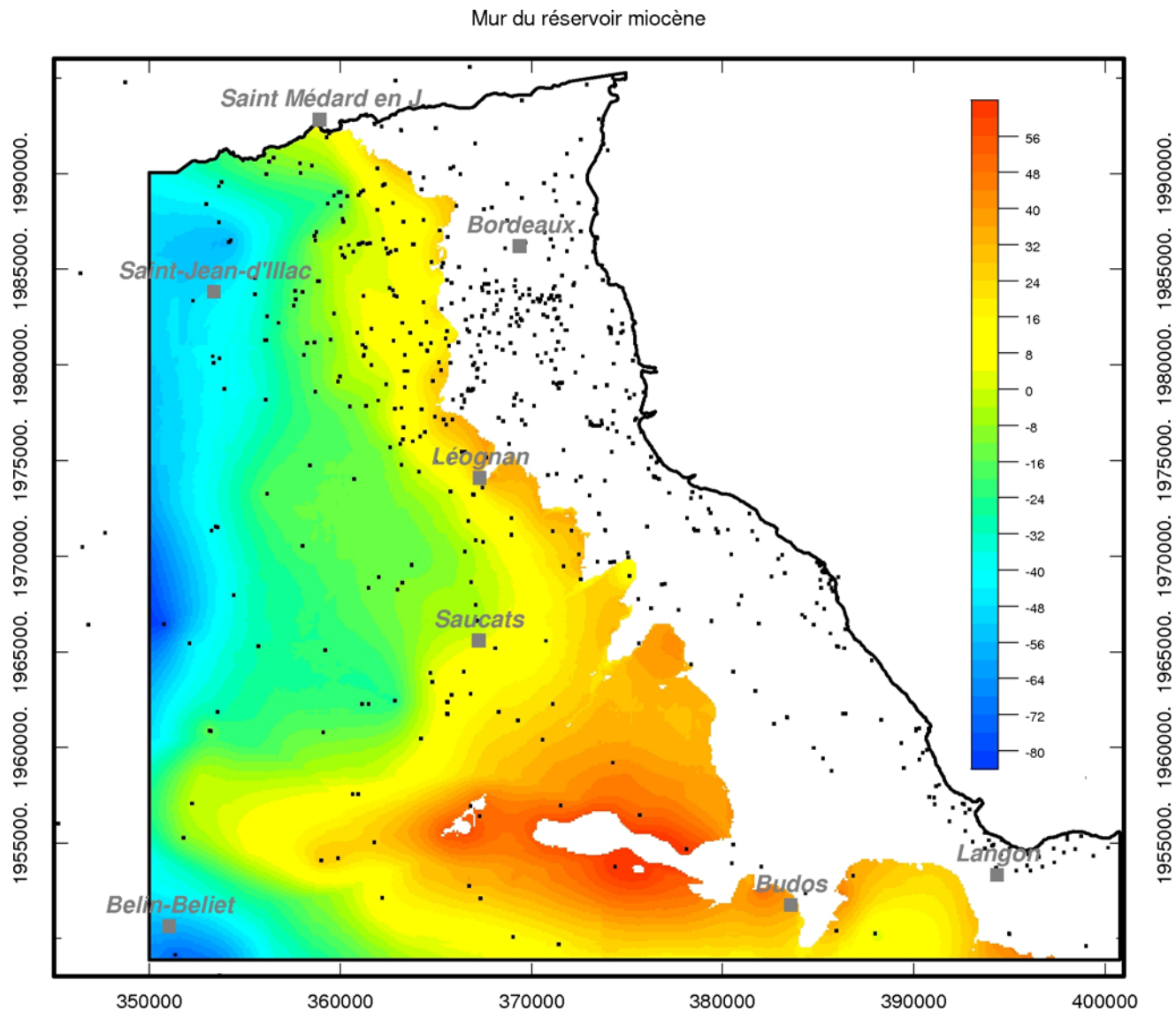


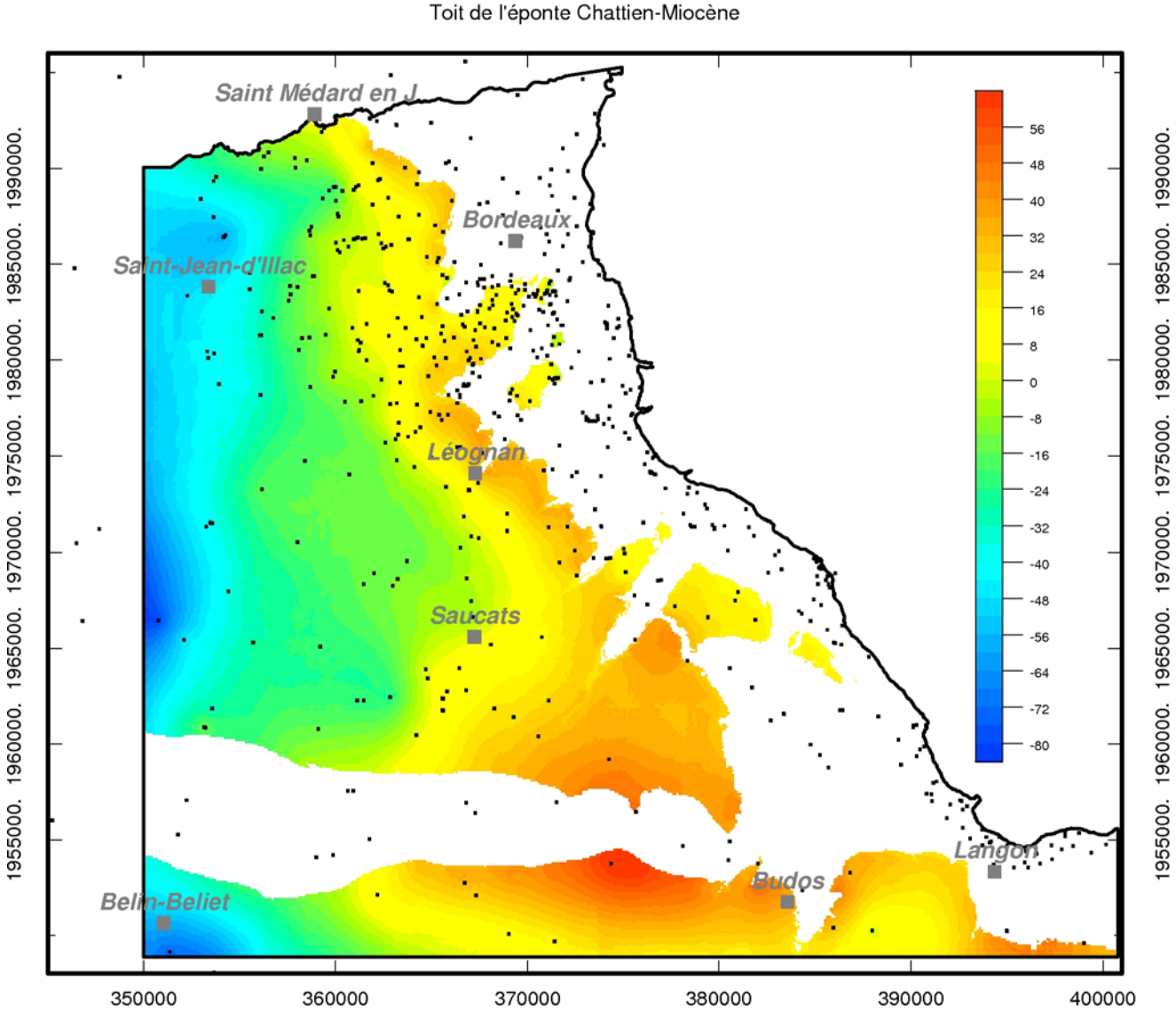


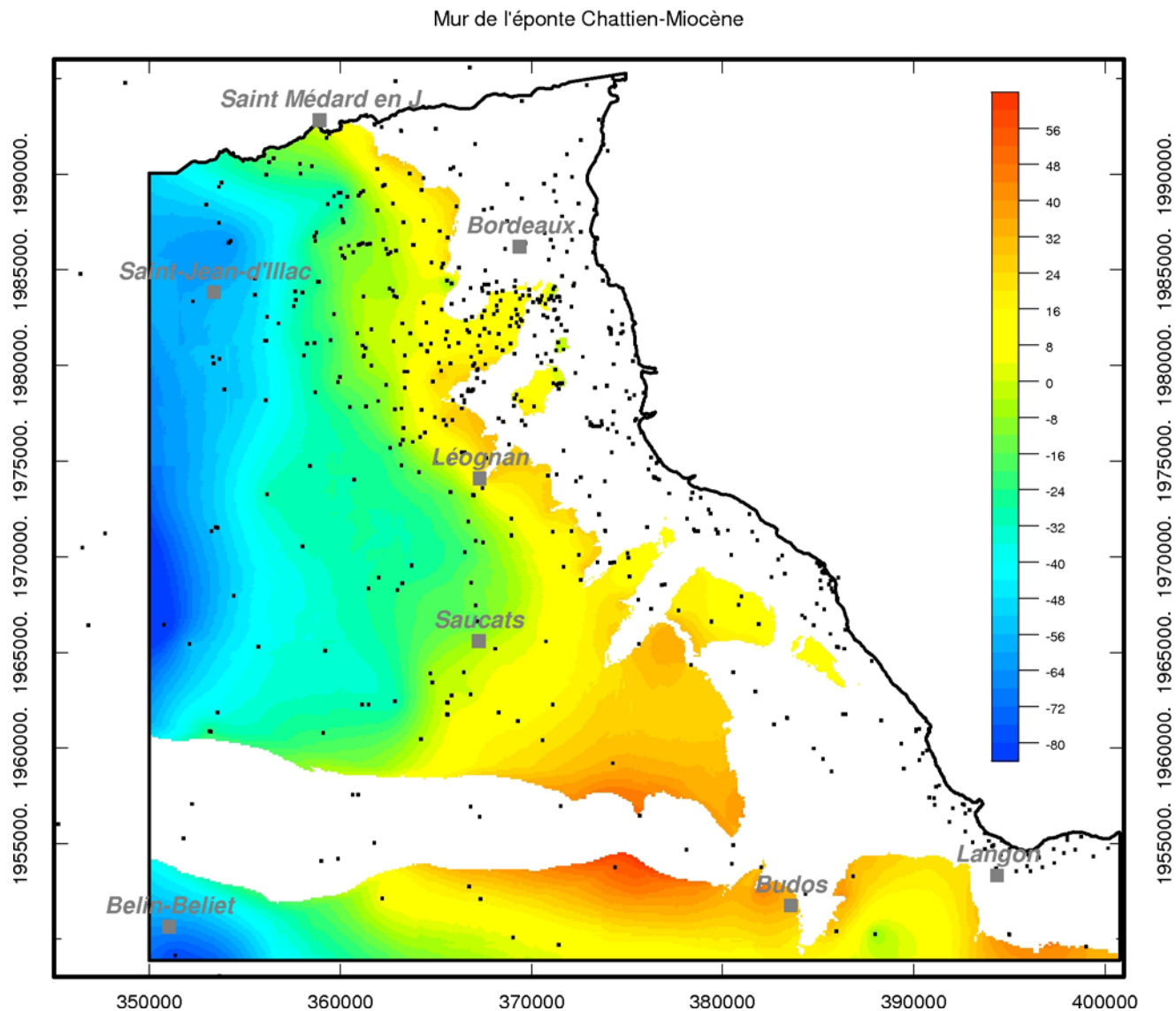
Mur du recouvrement quaternaire à miocène moyen

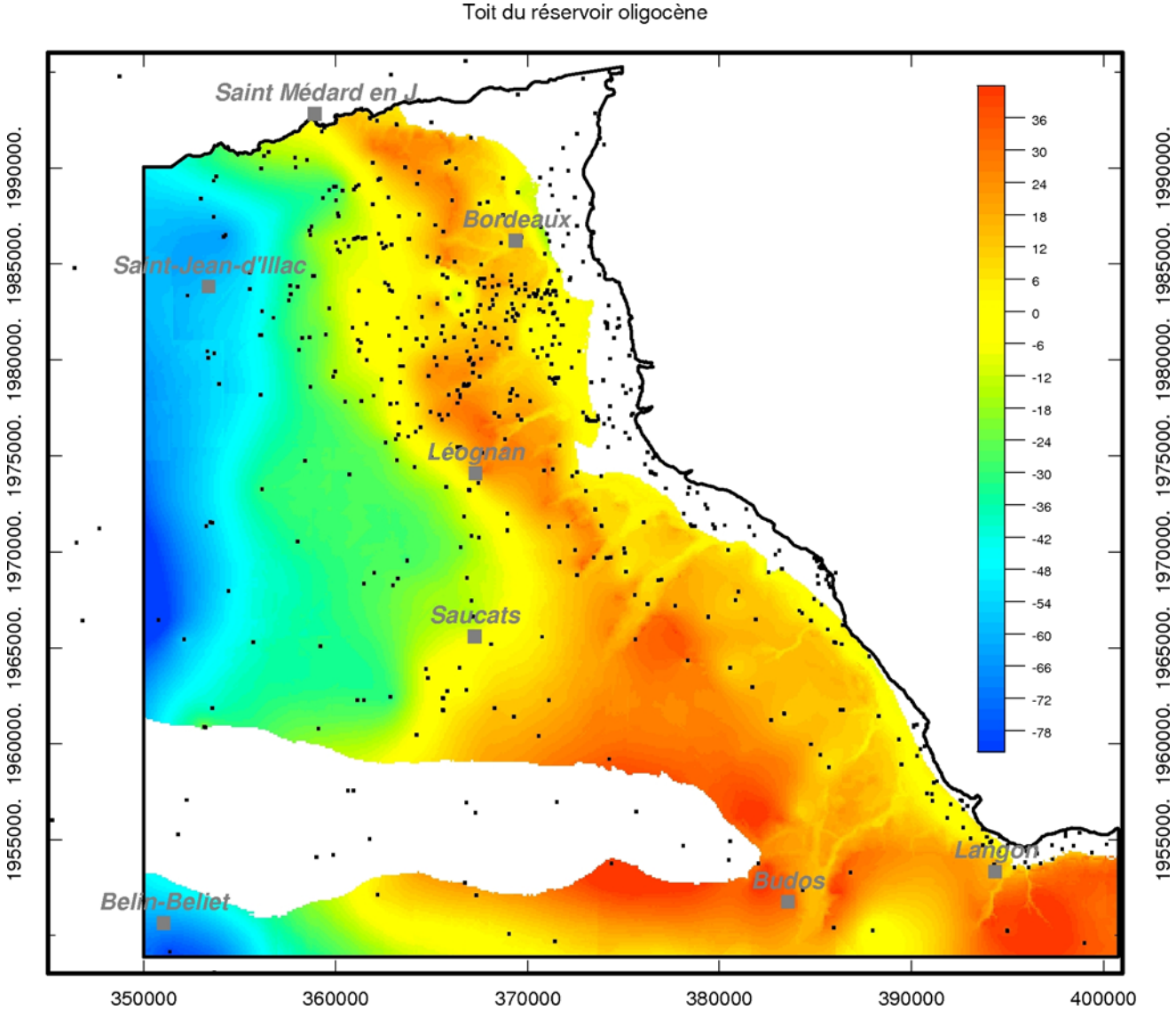


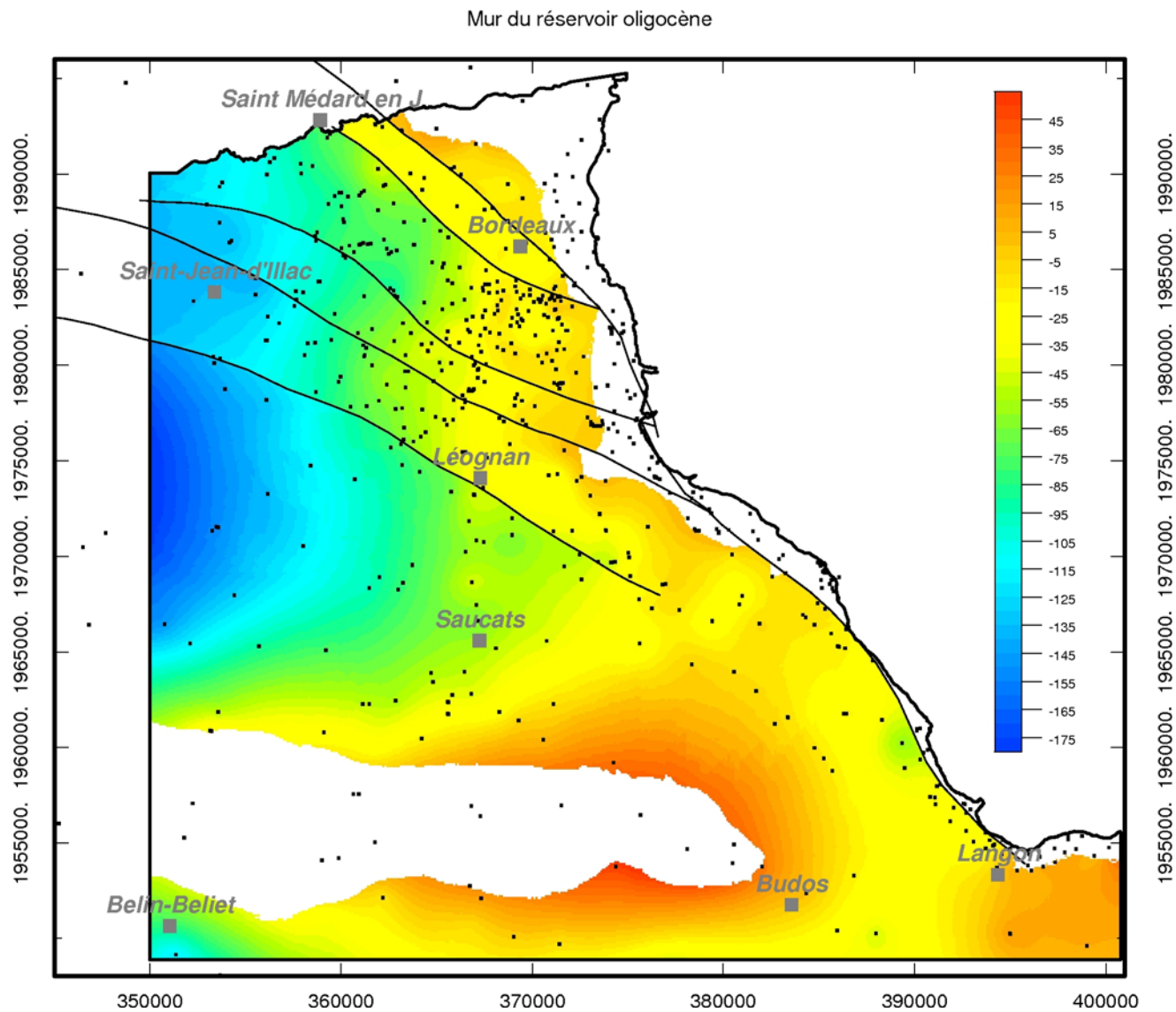








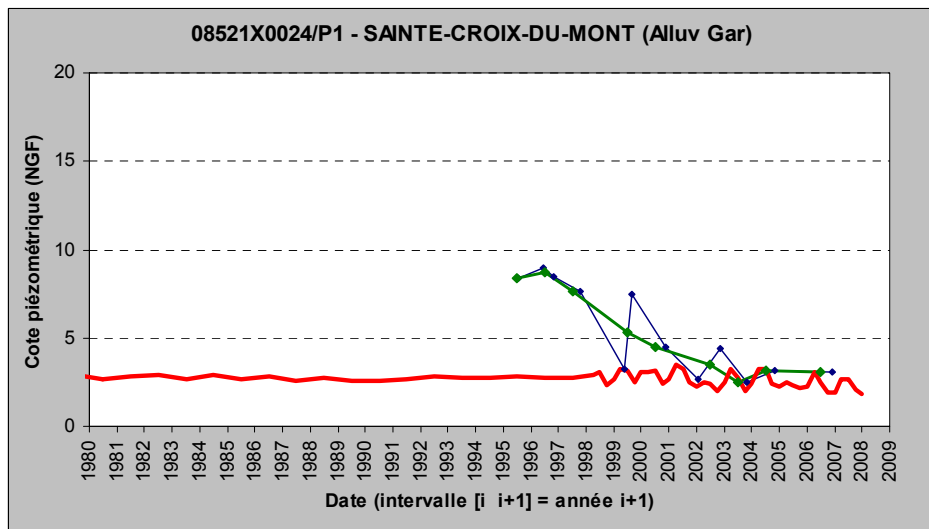
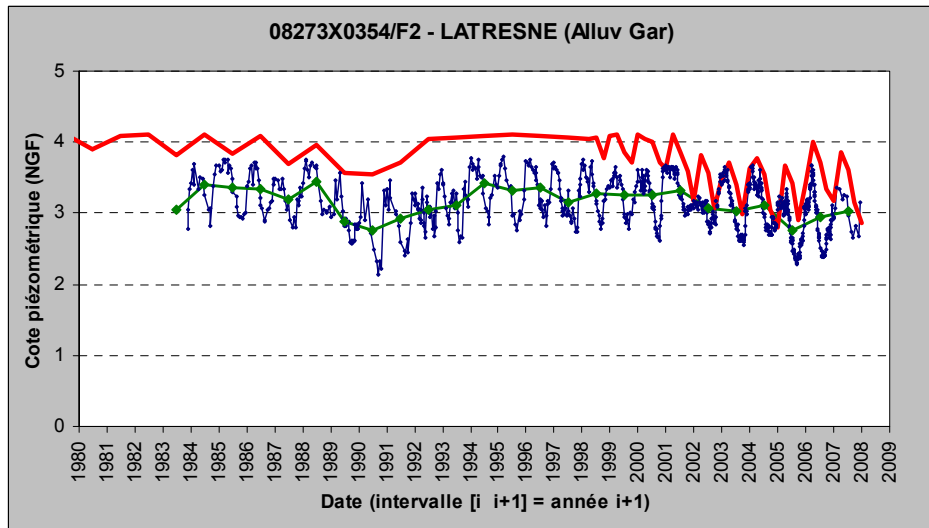
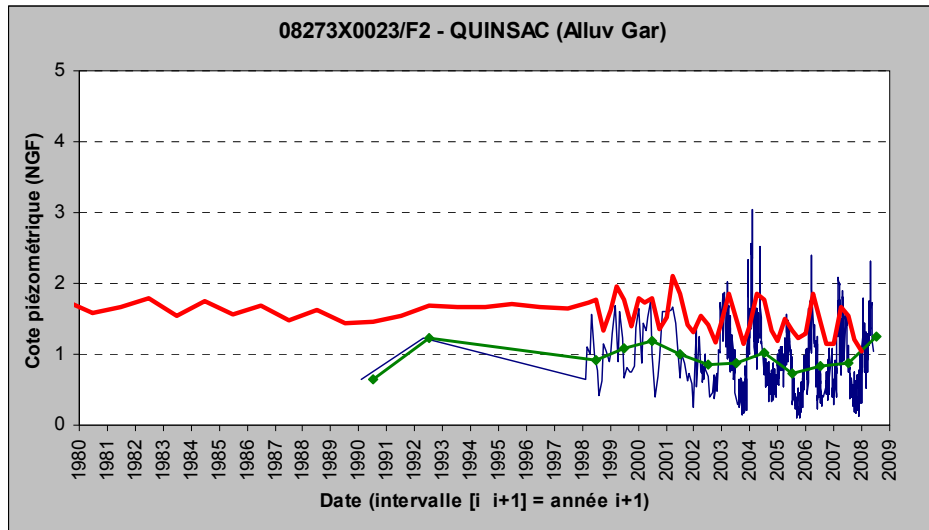


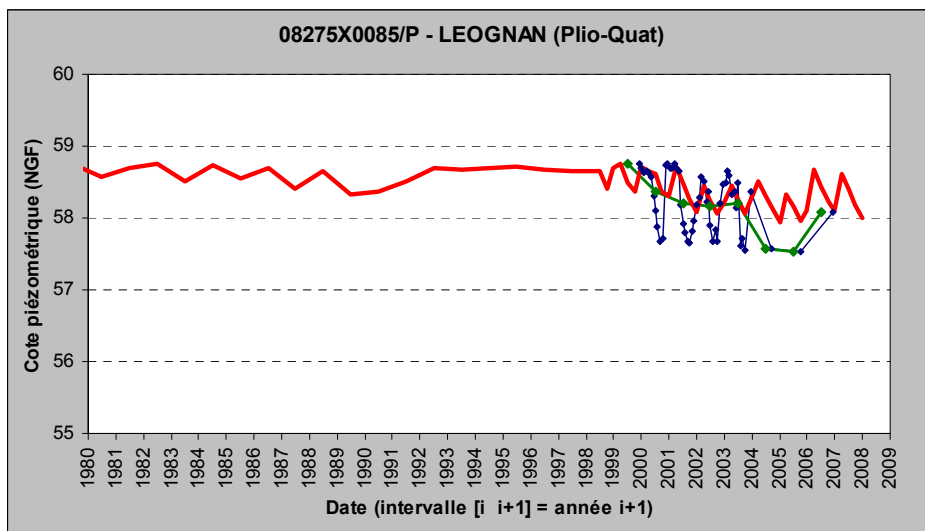
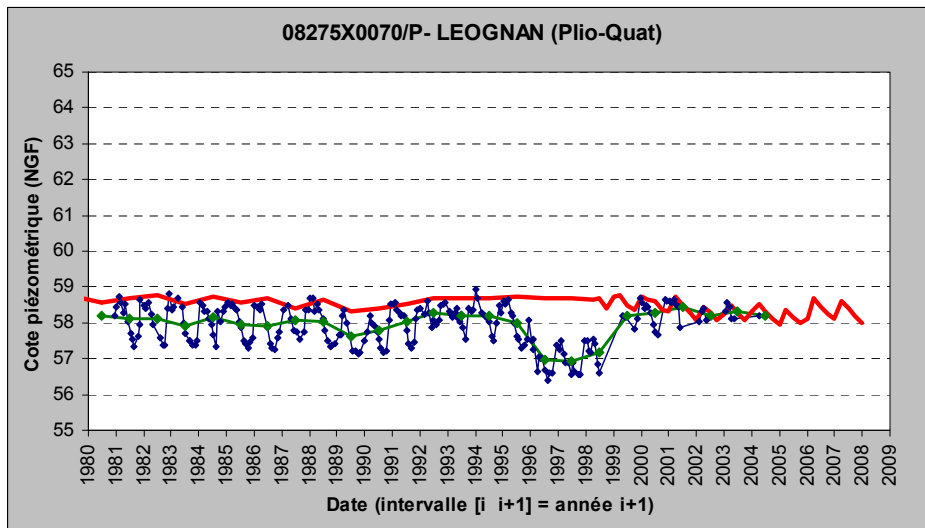
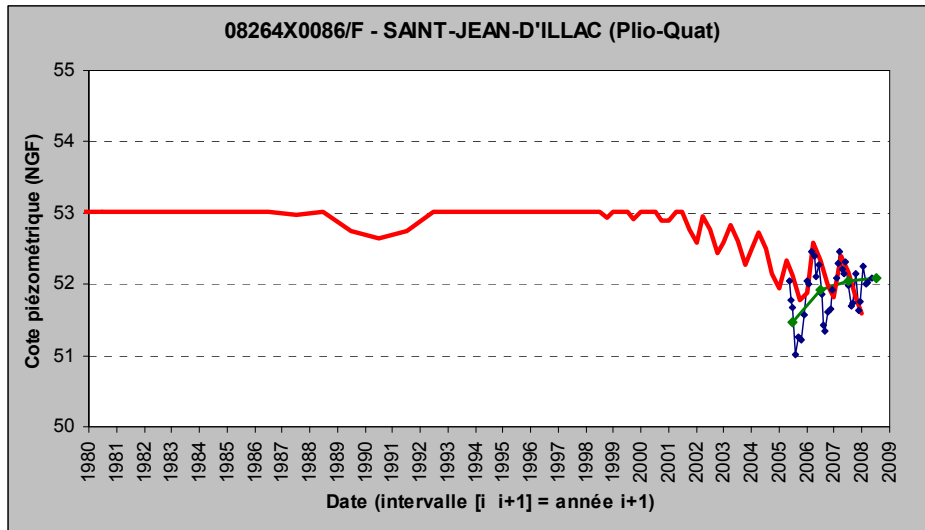


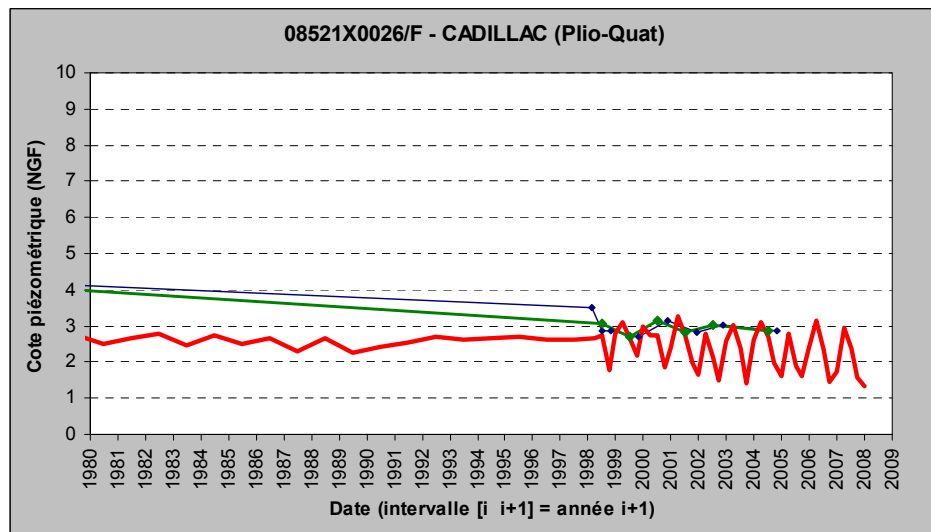
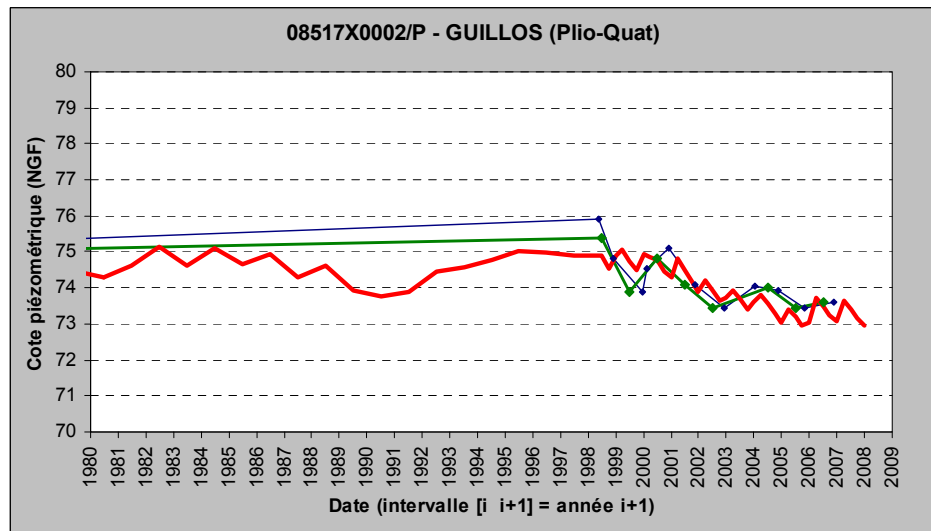
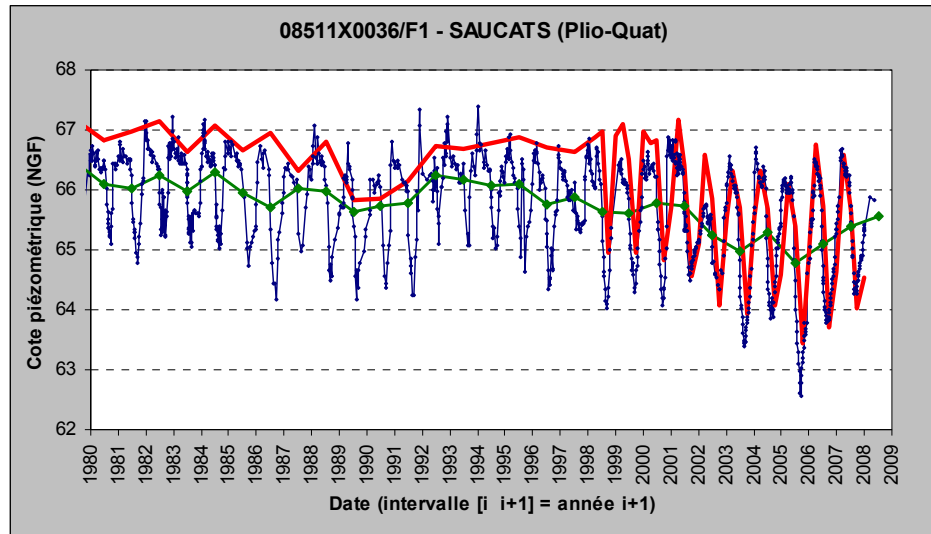
Annexe 4

Chroniques de calage du modèle en régime transitoire

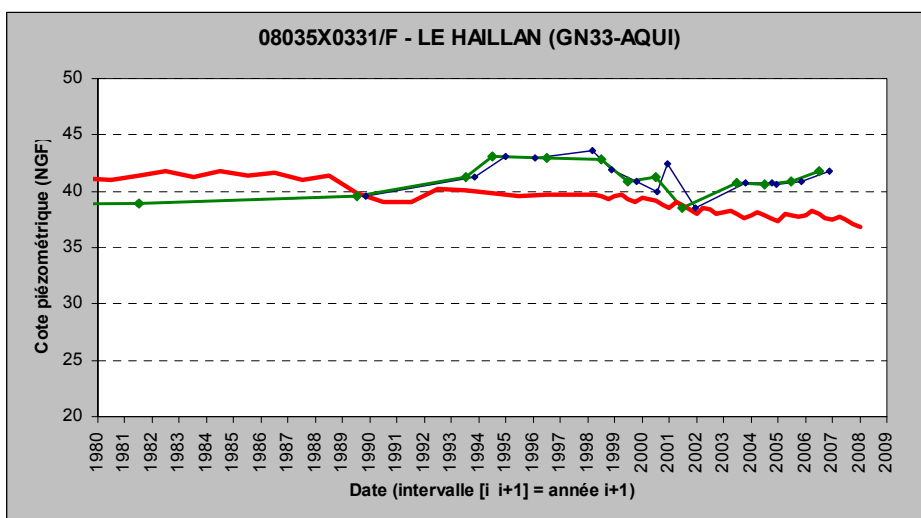
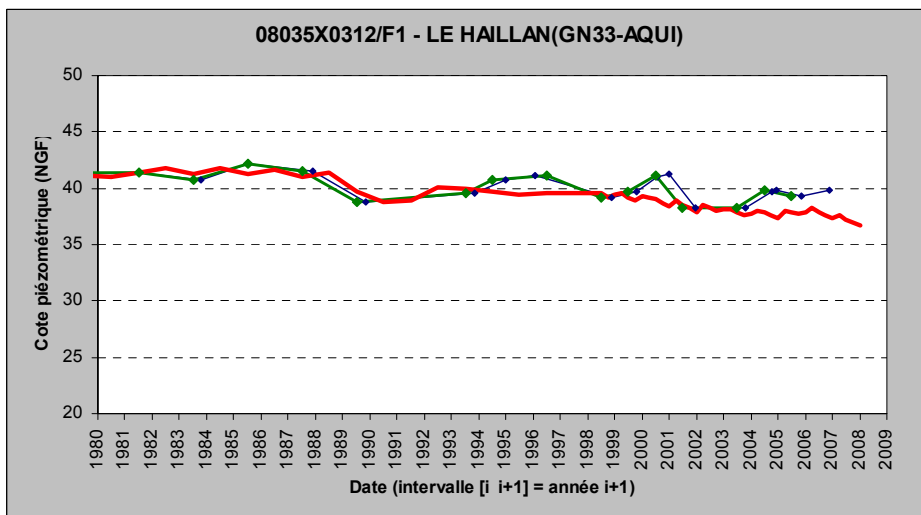
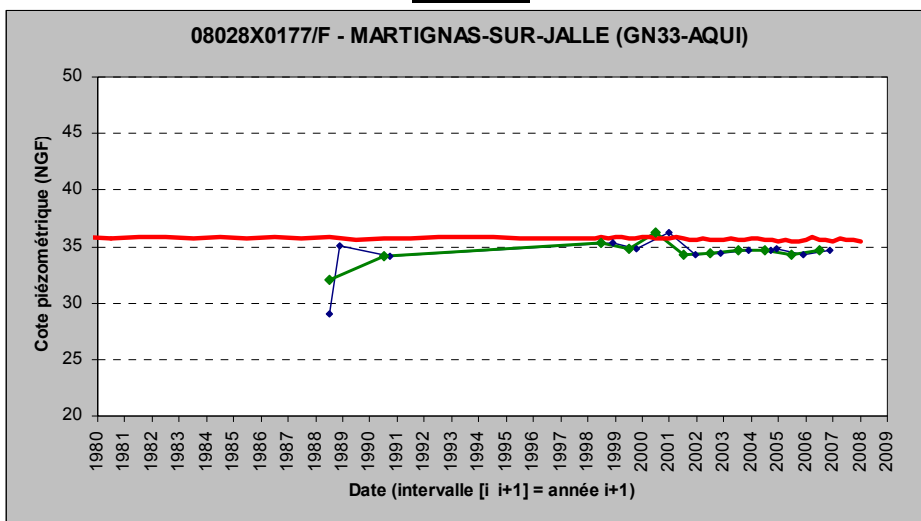
Plio-Quaternaire

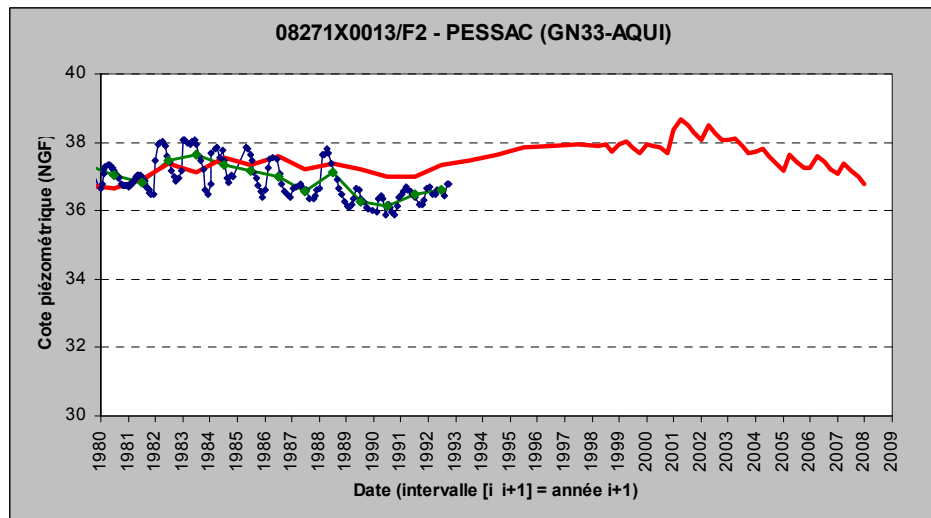
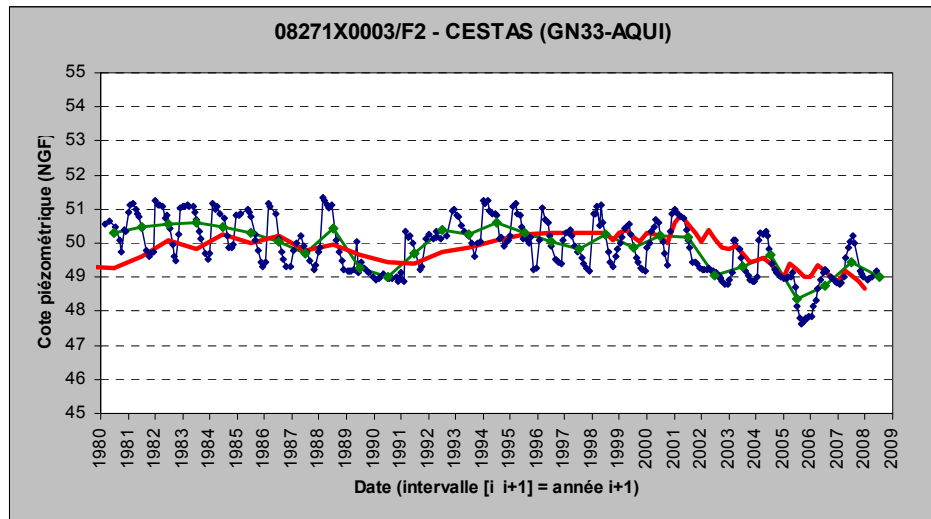
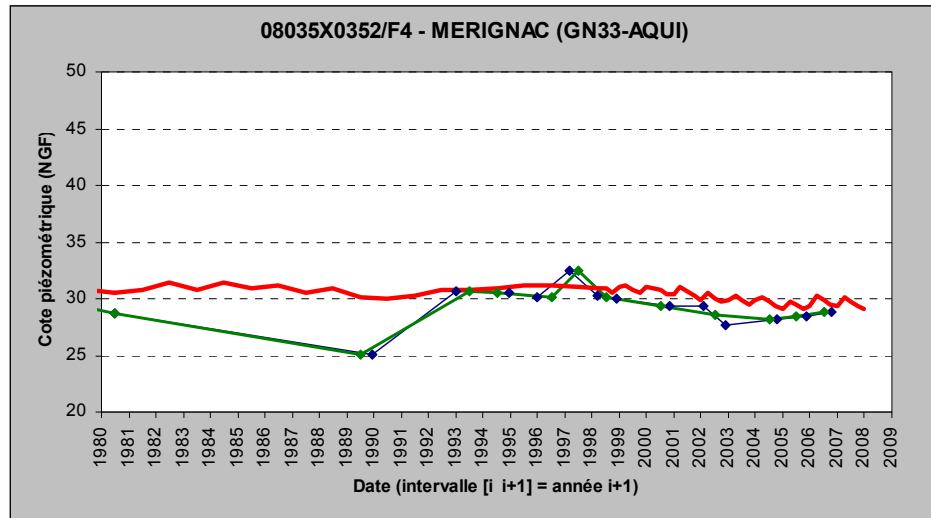


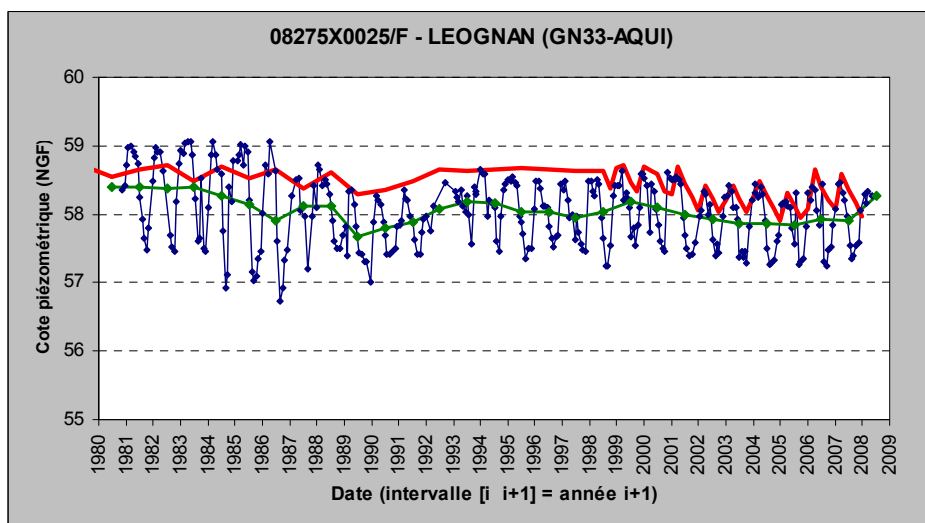
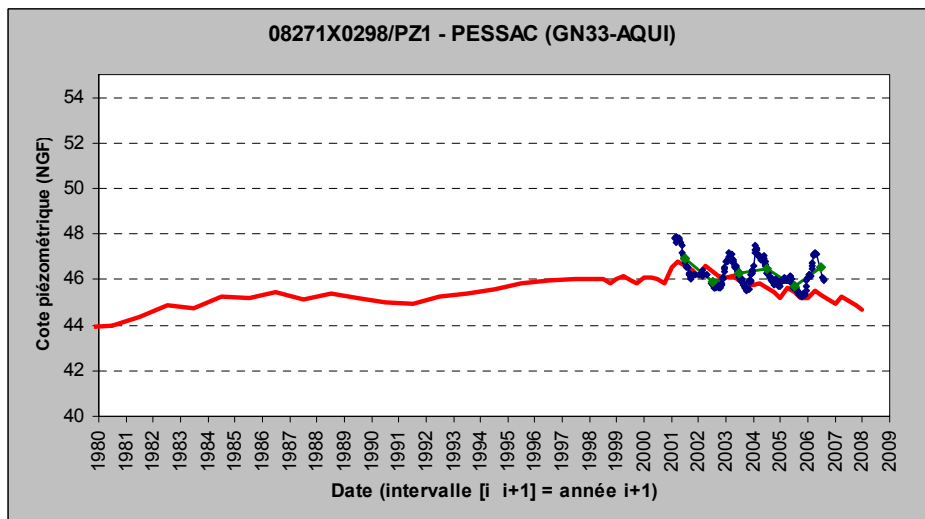
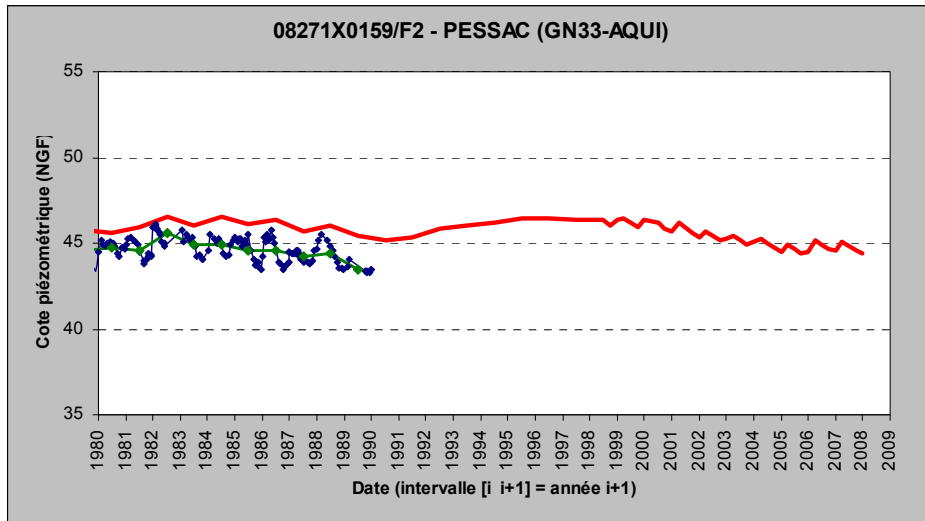


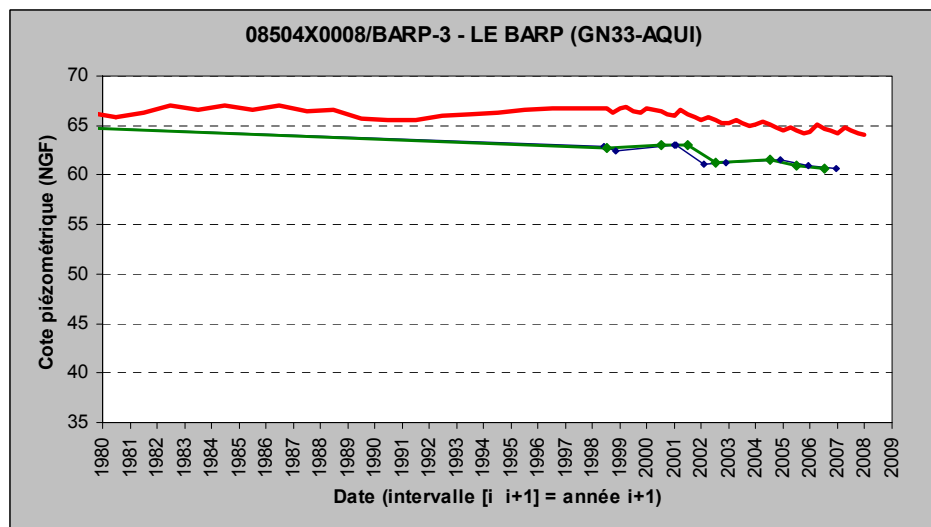
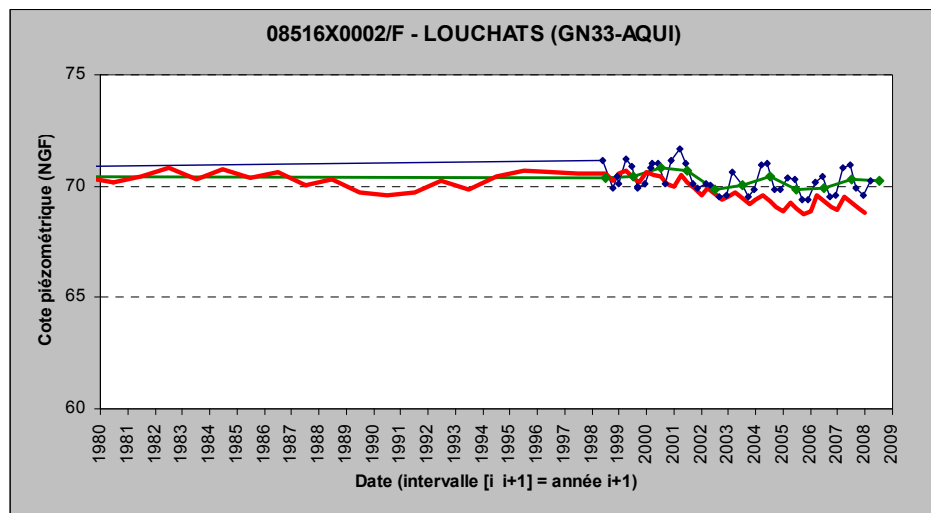
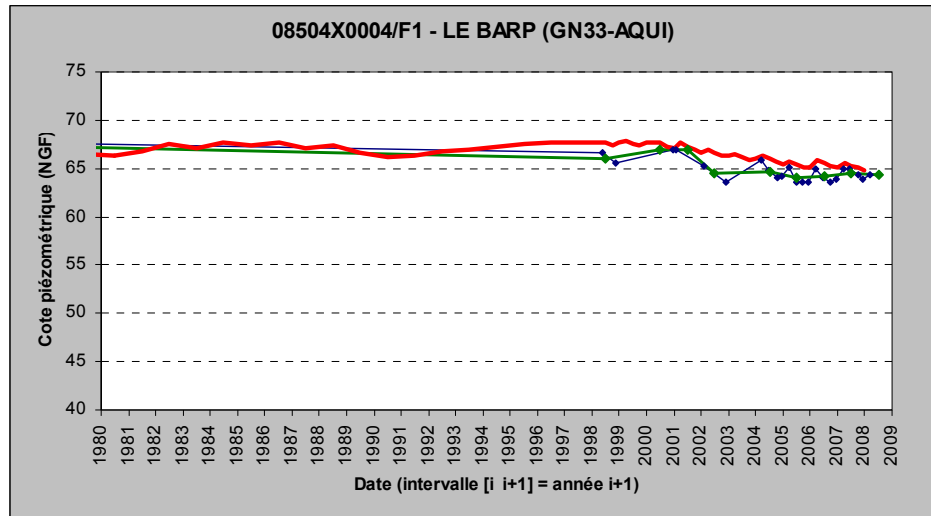


Miocène

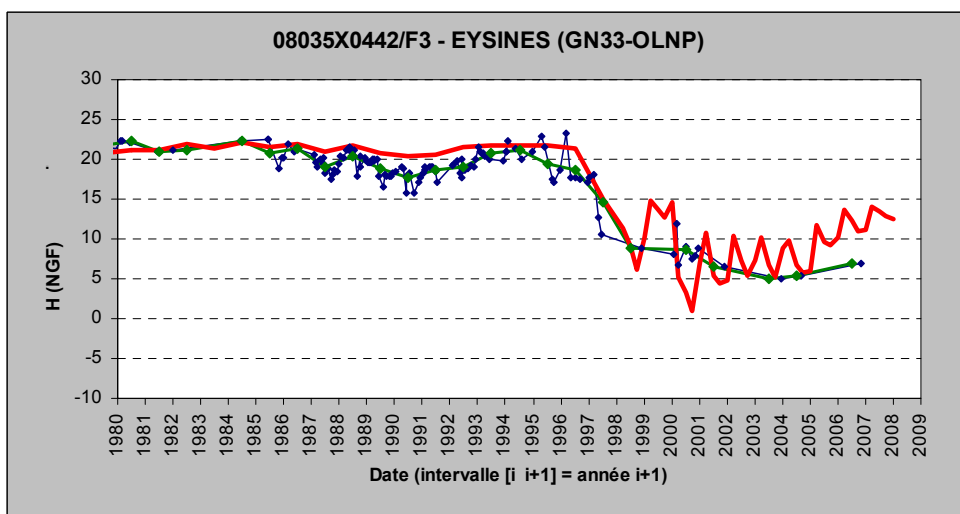
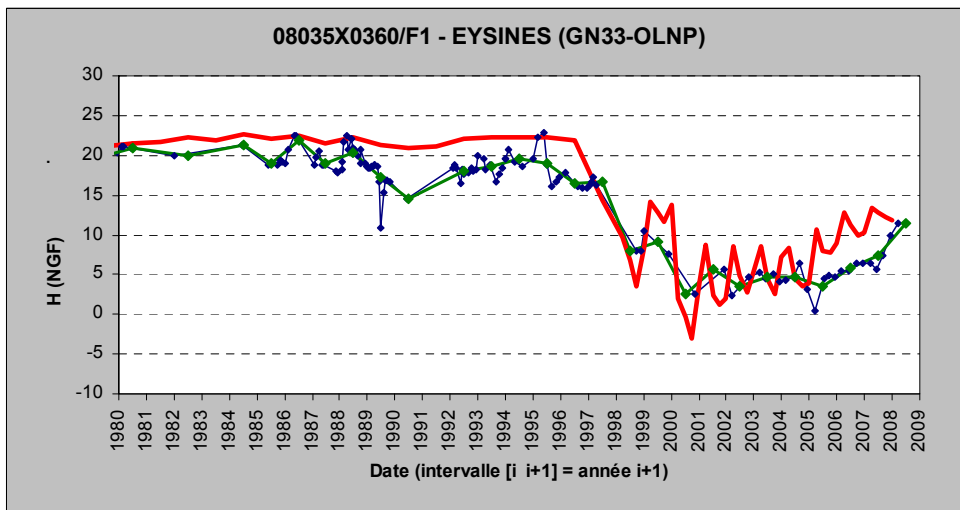
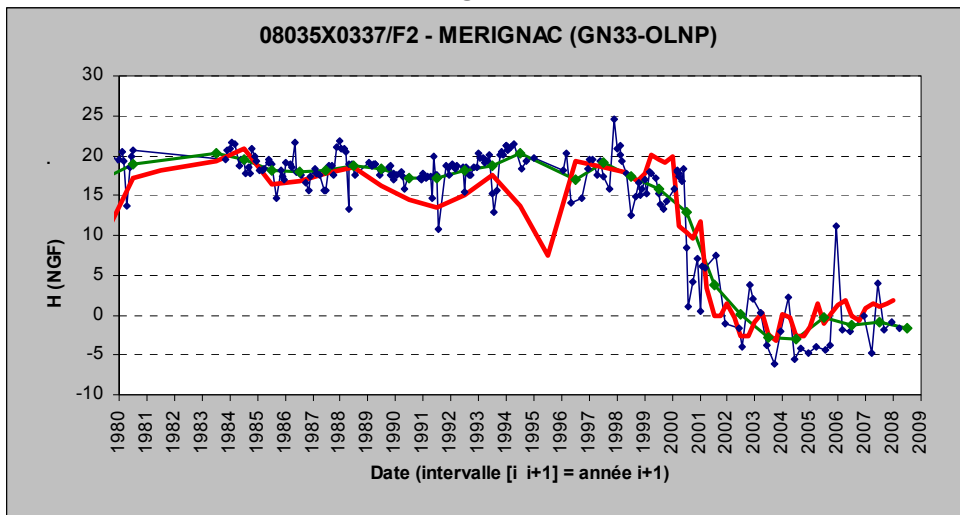


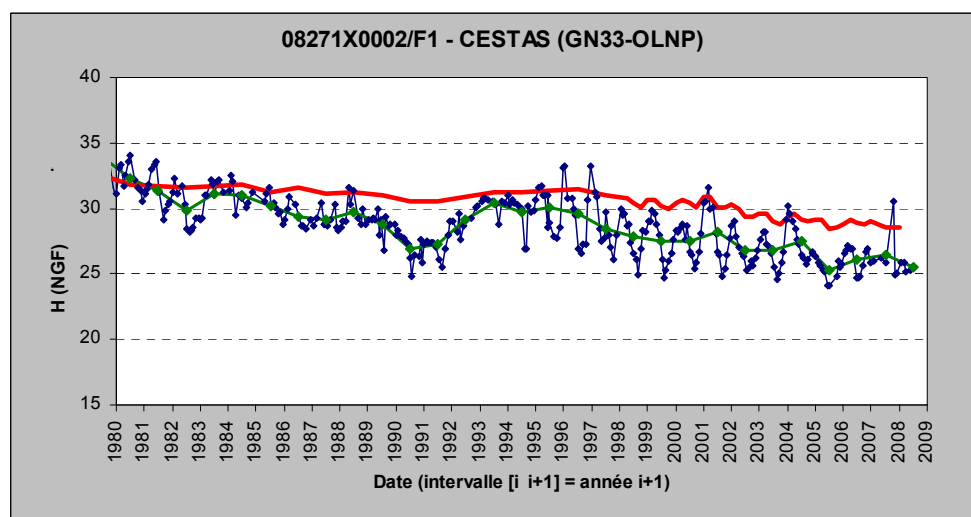
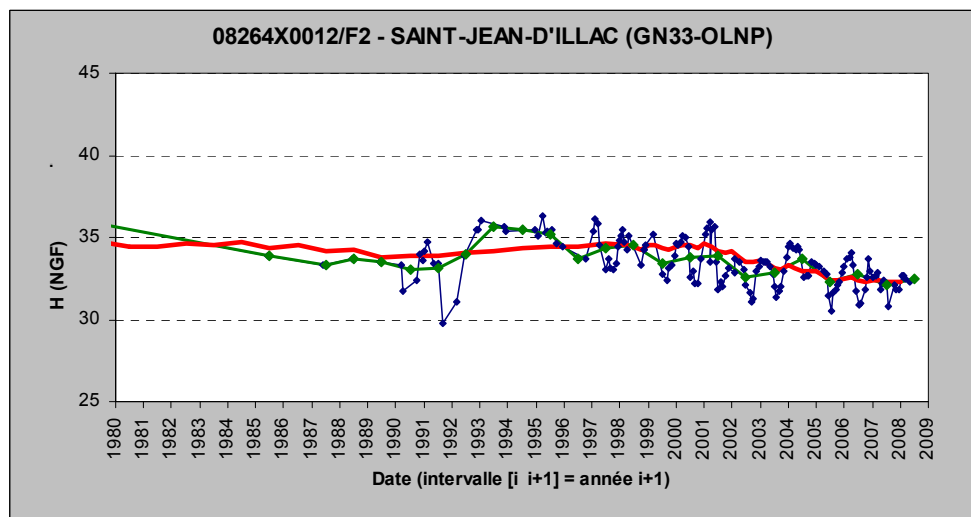
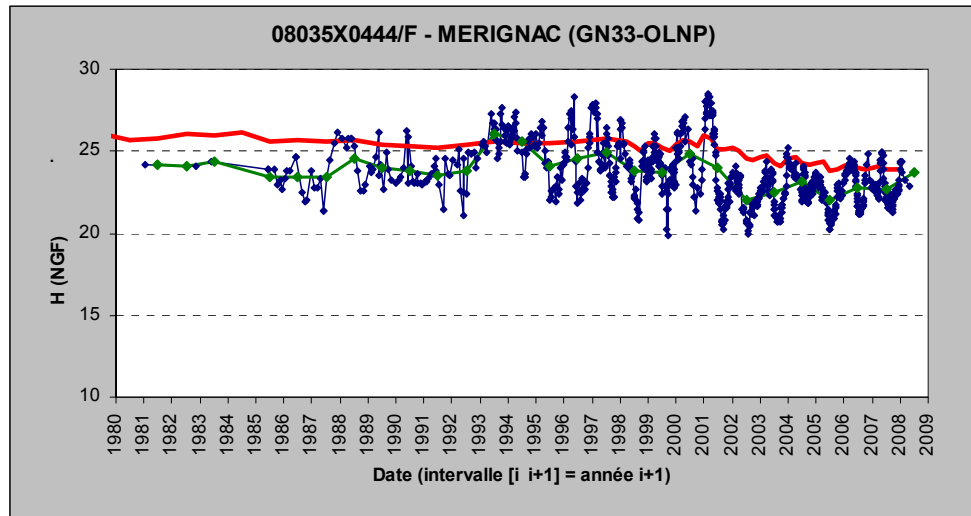


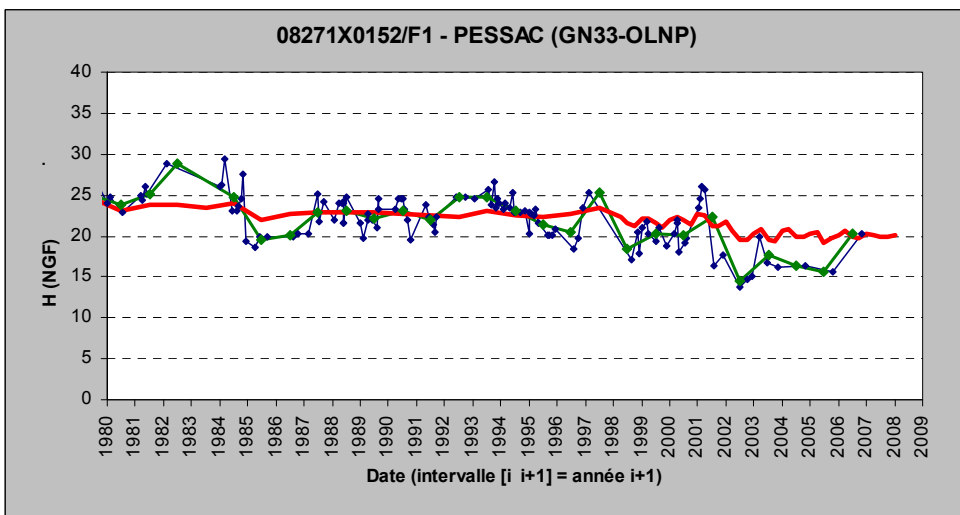
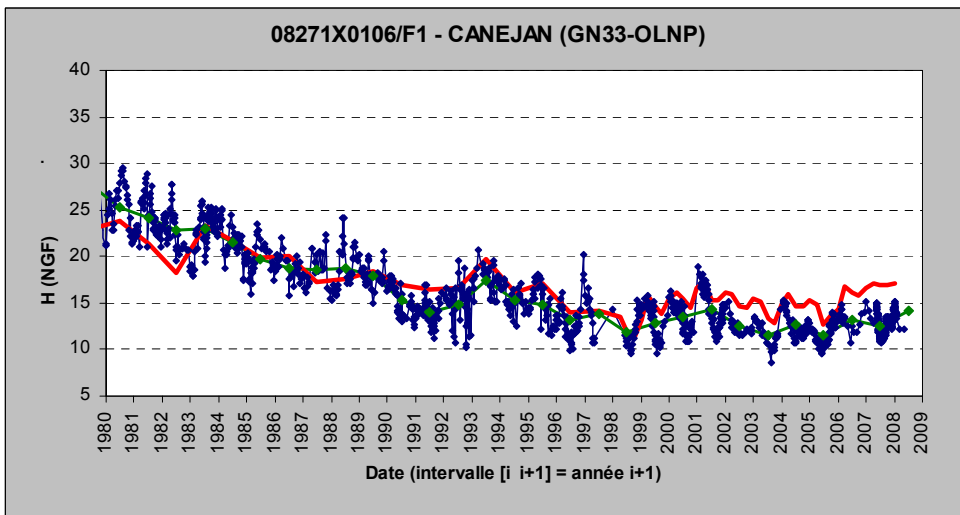
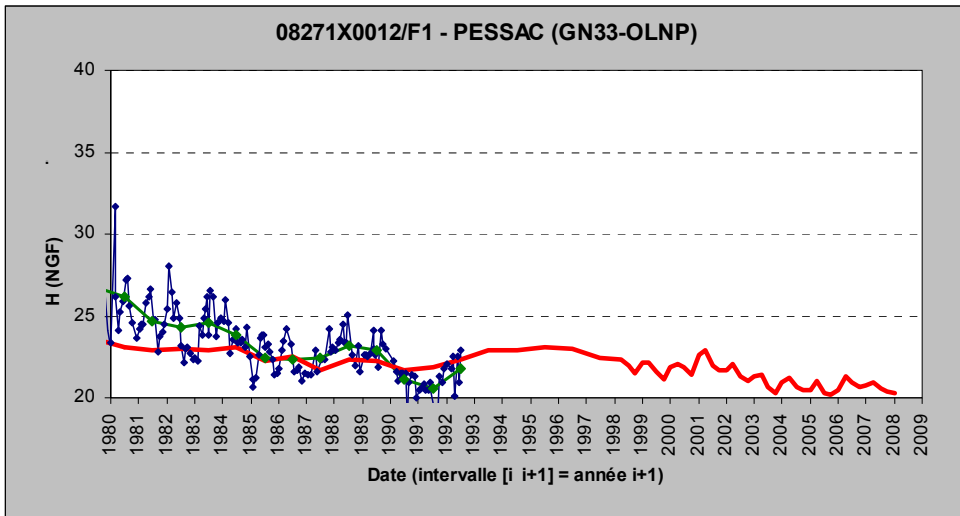


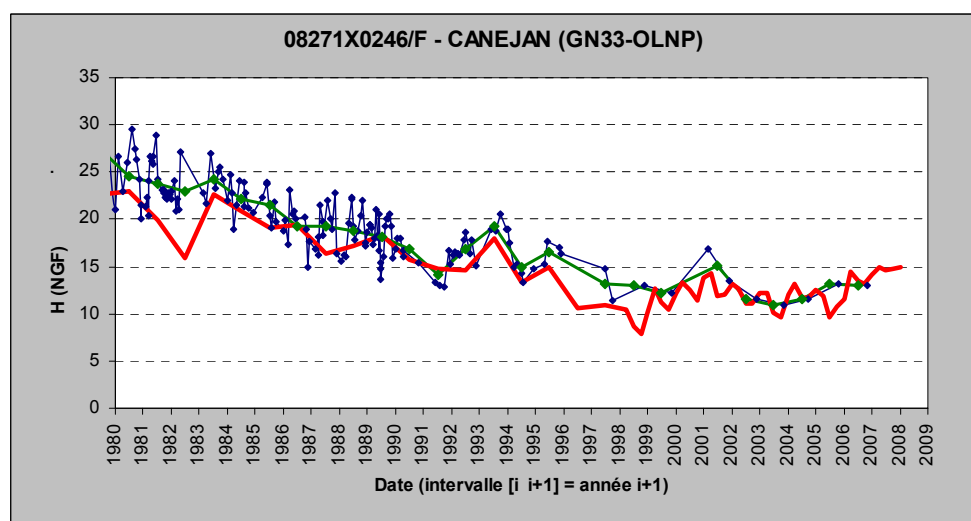
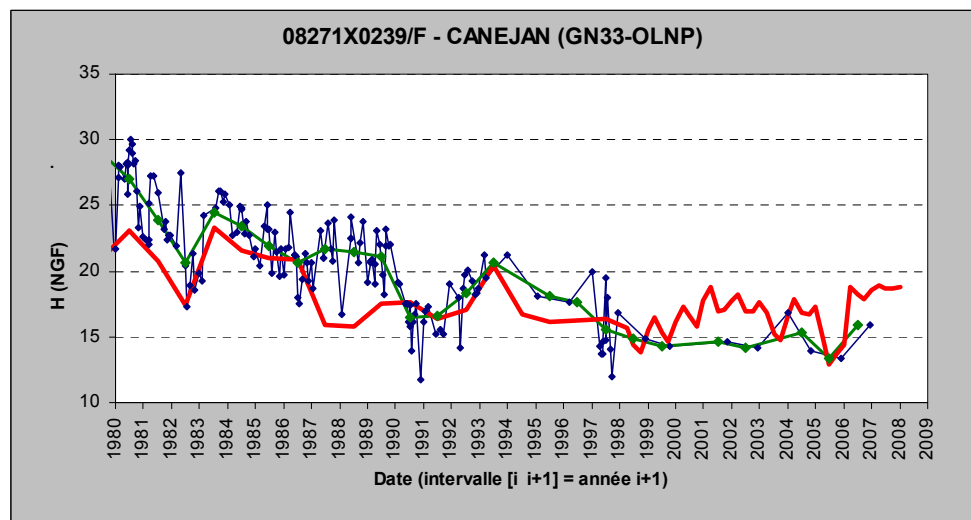
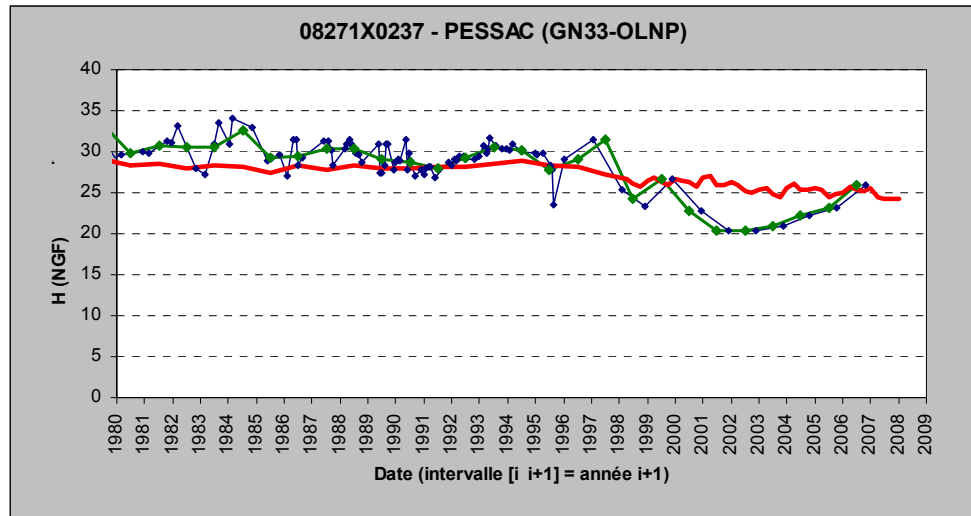


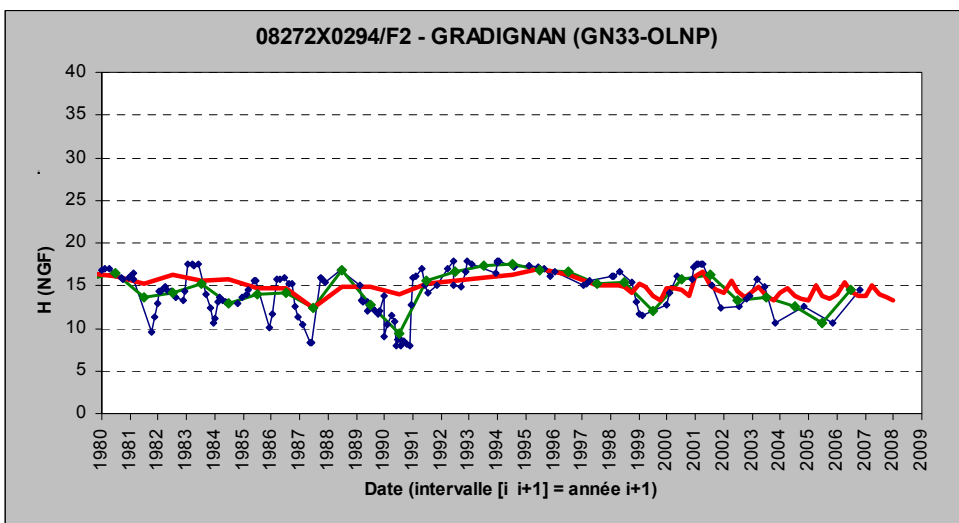
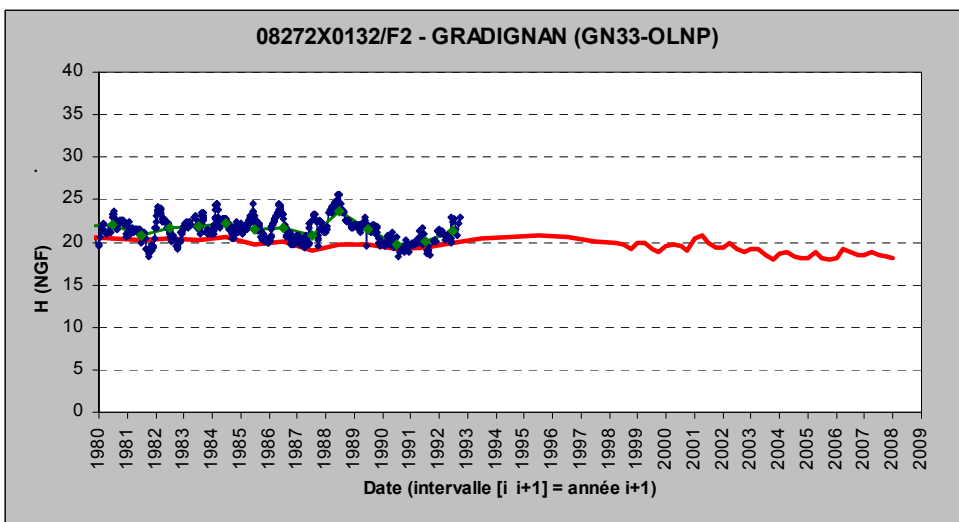
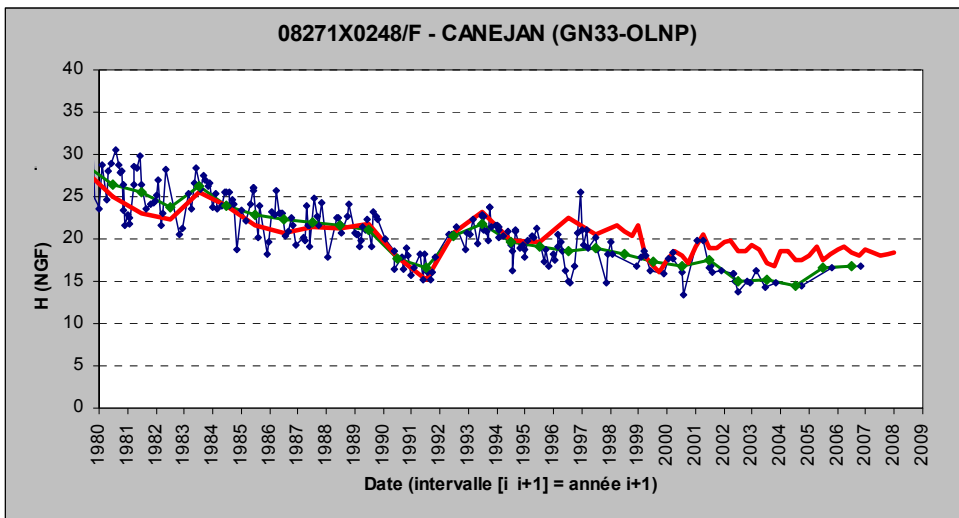
Oligocène

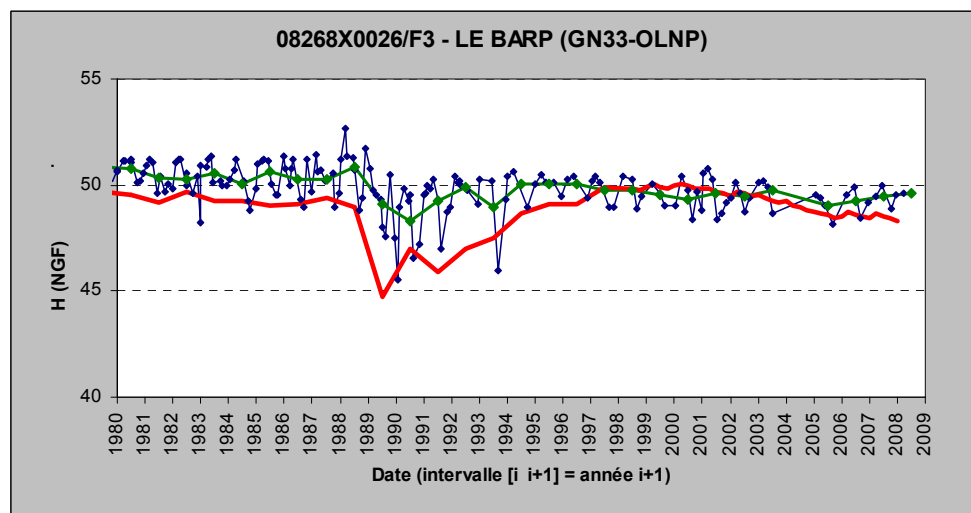
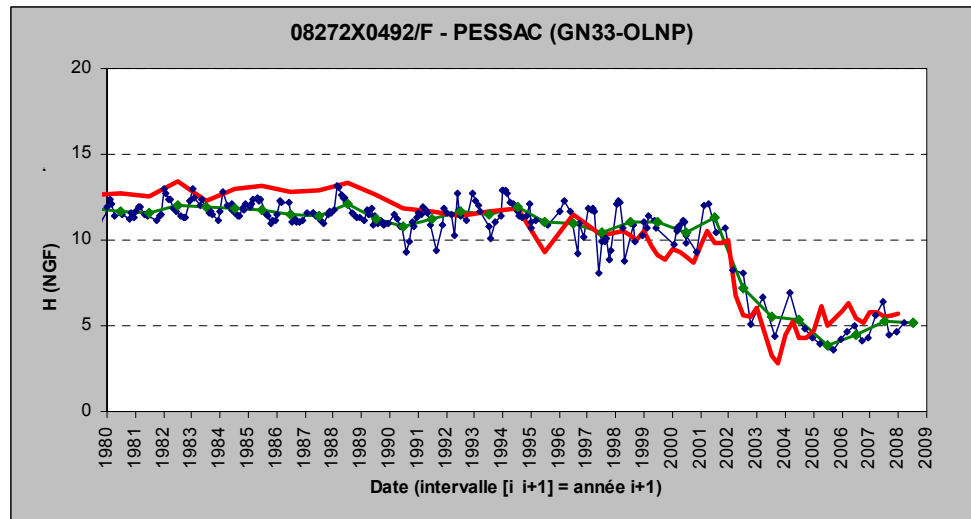
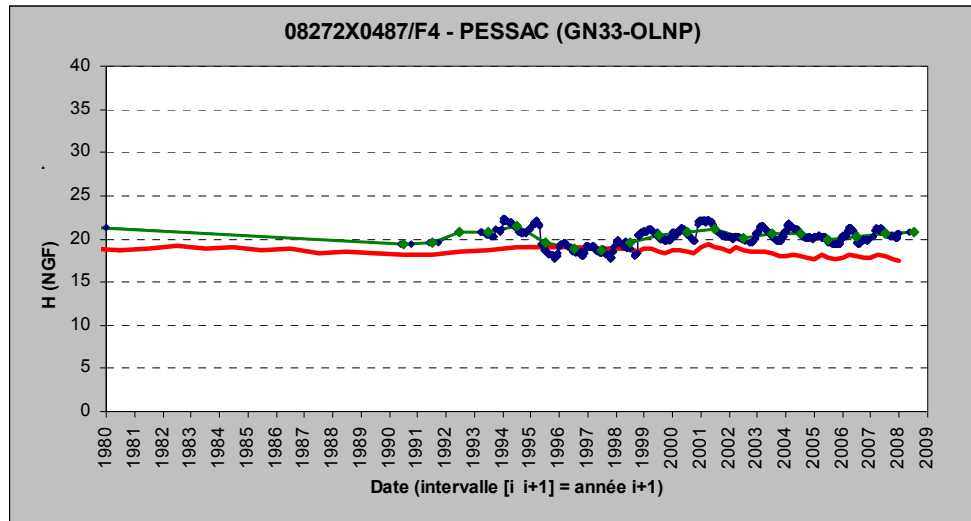


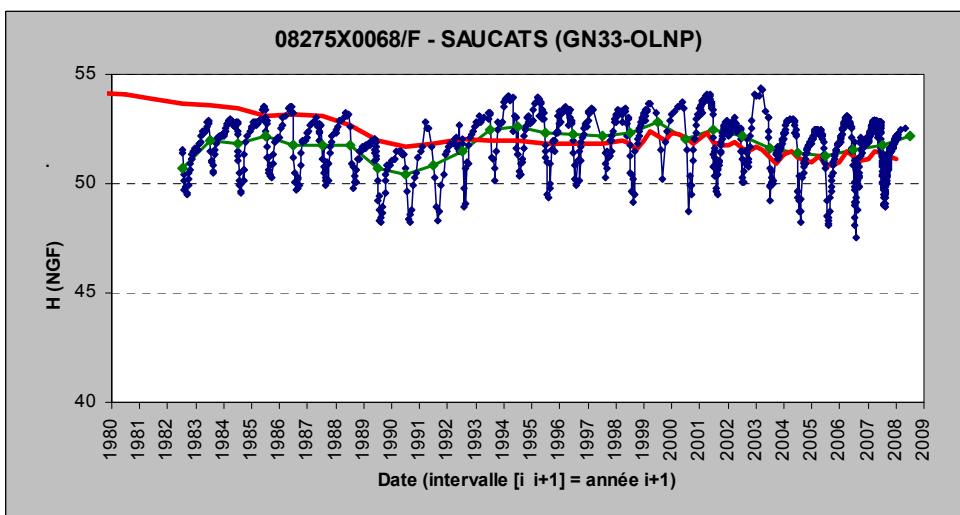
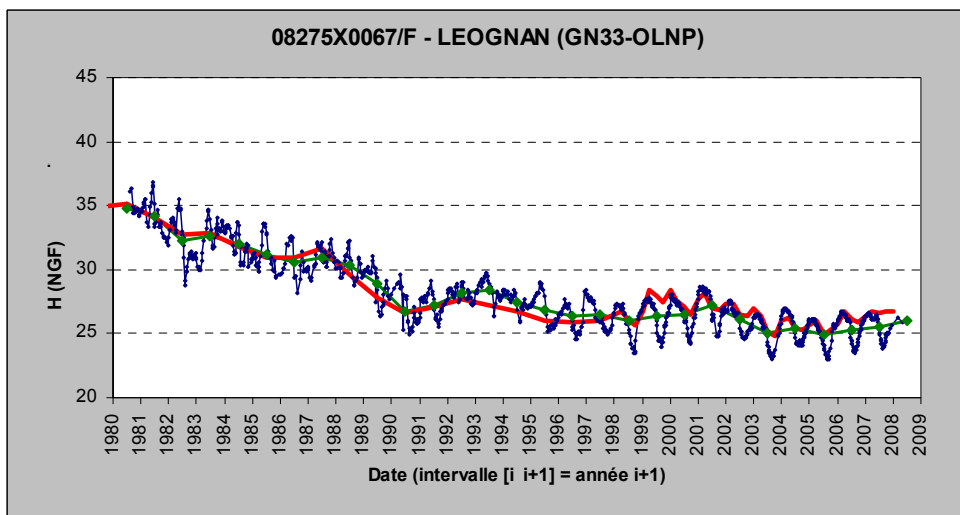
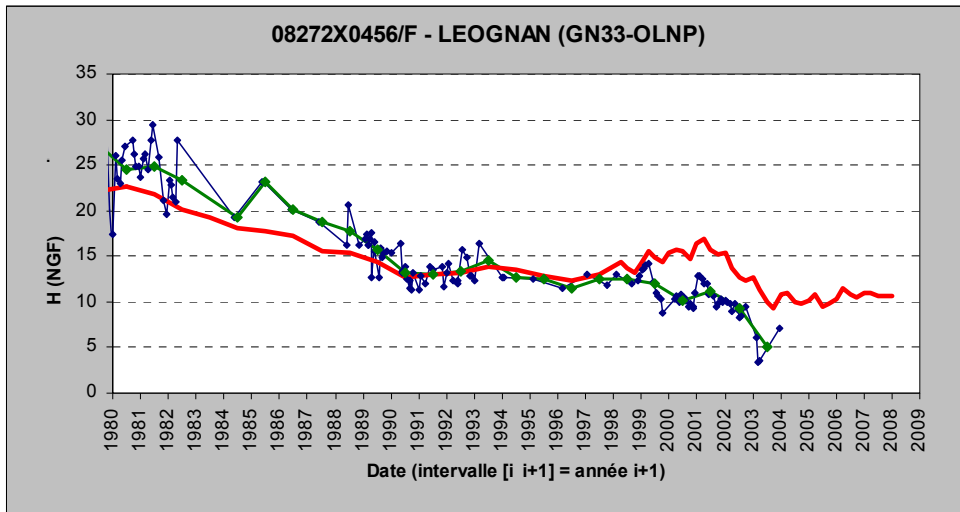


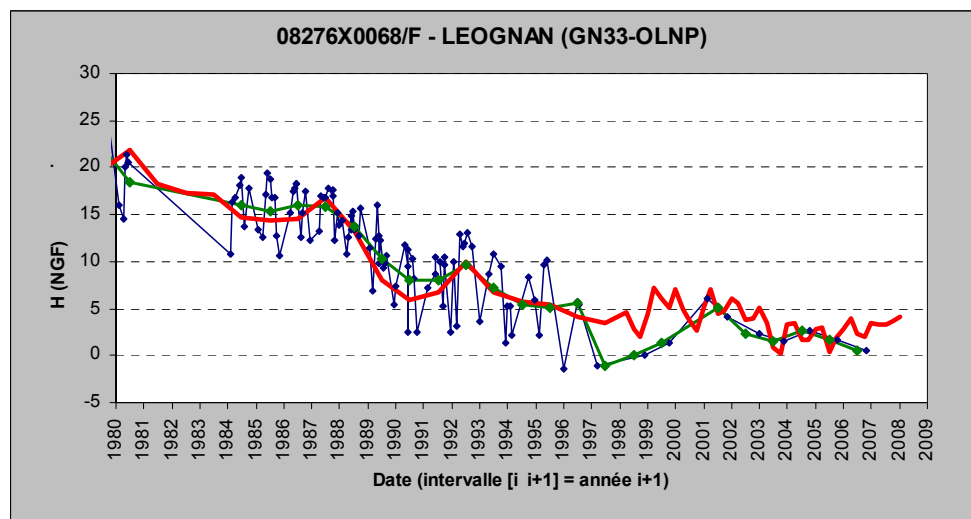
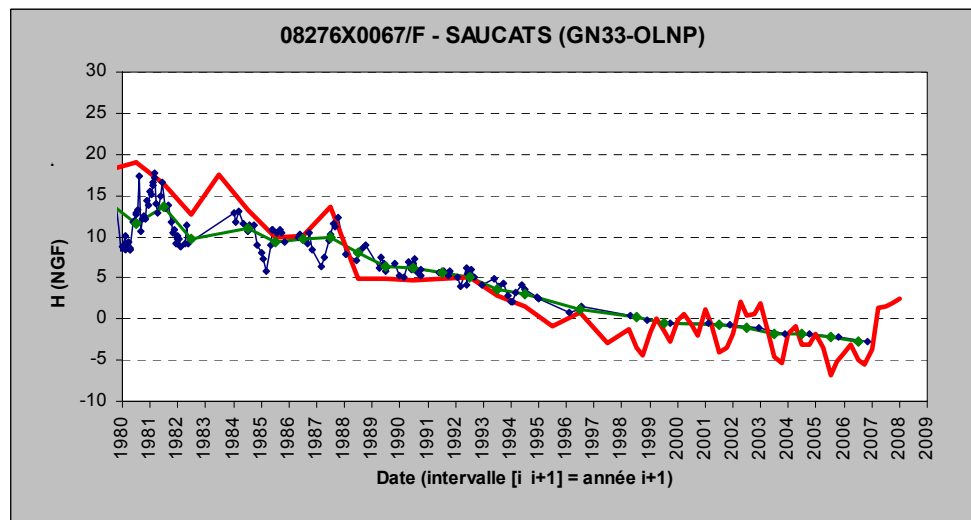
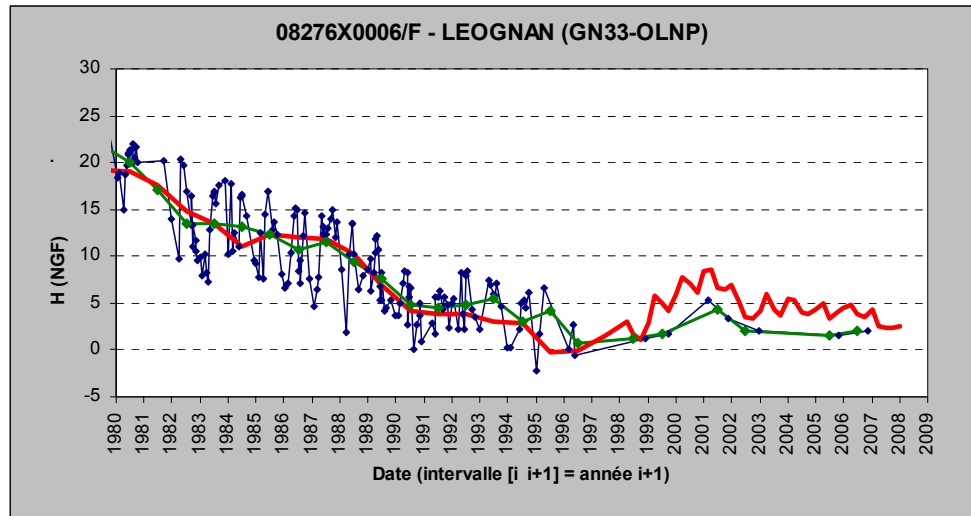


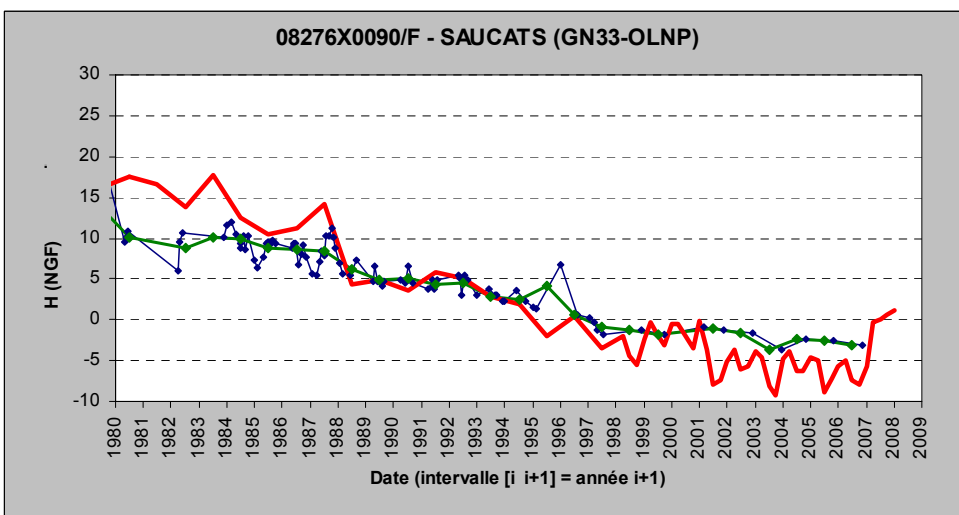
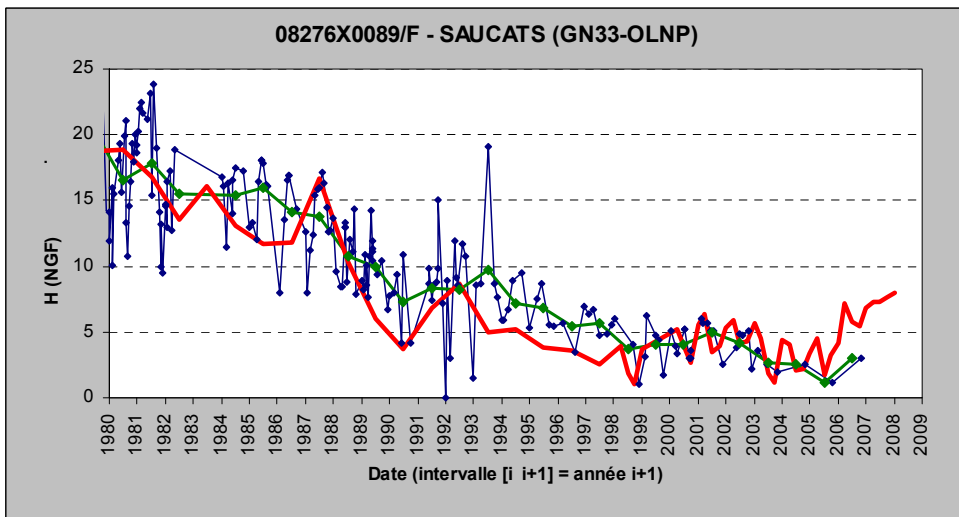
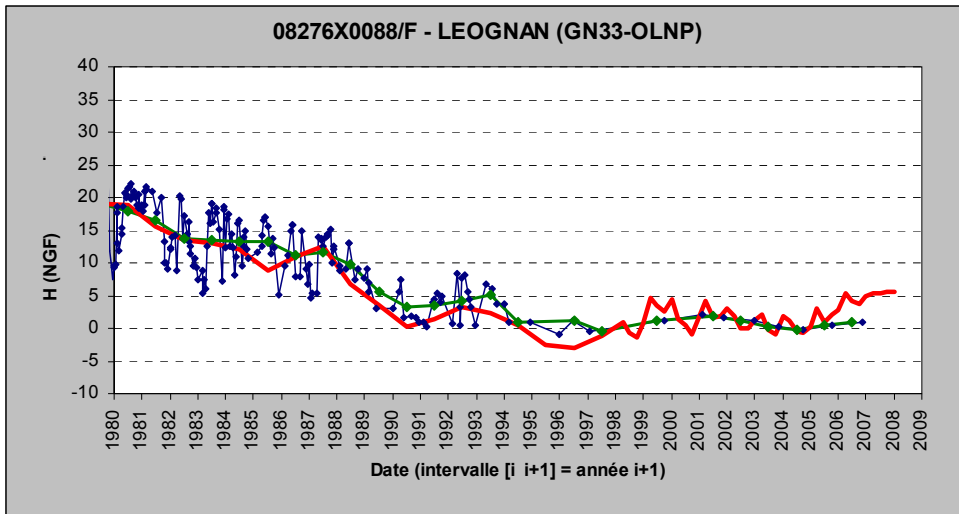


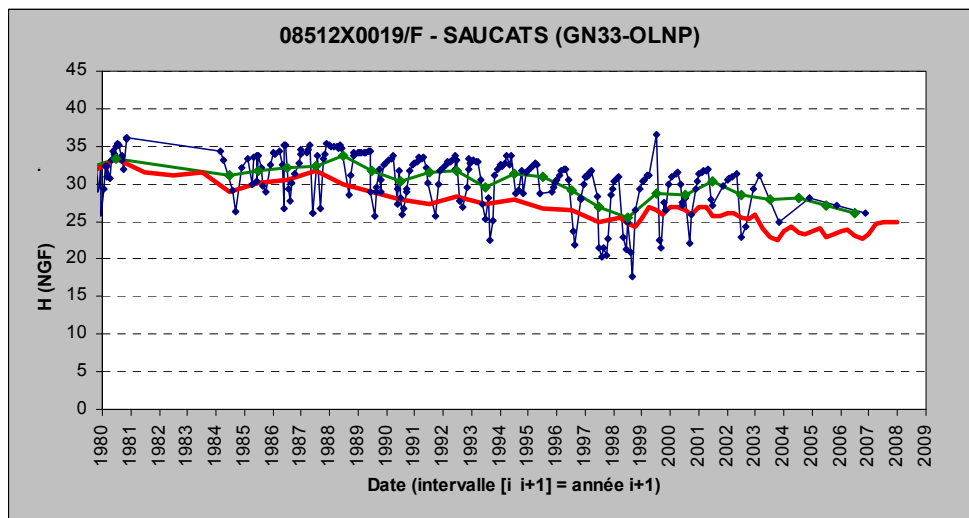
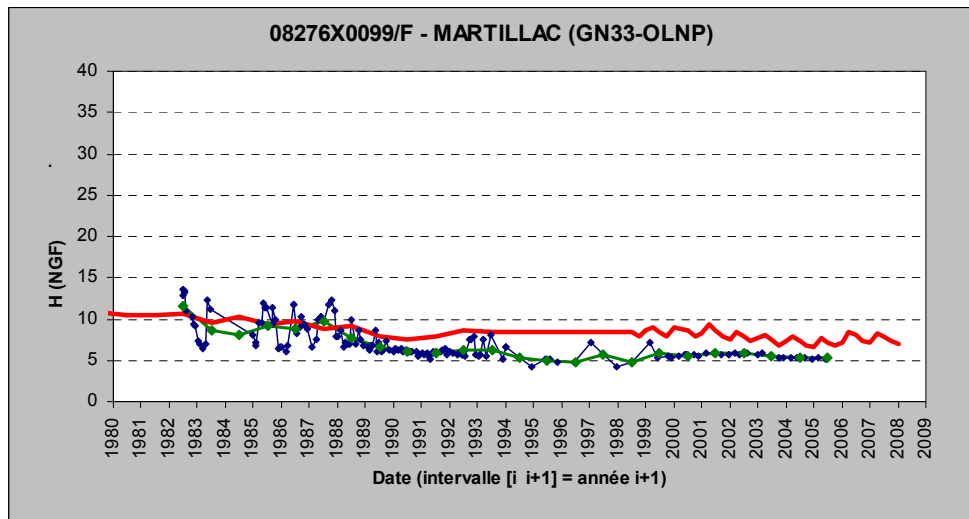
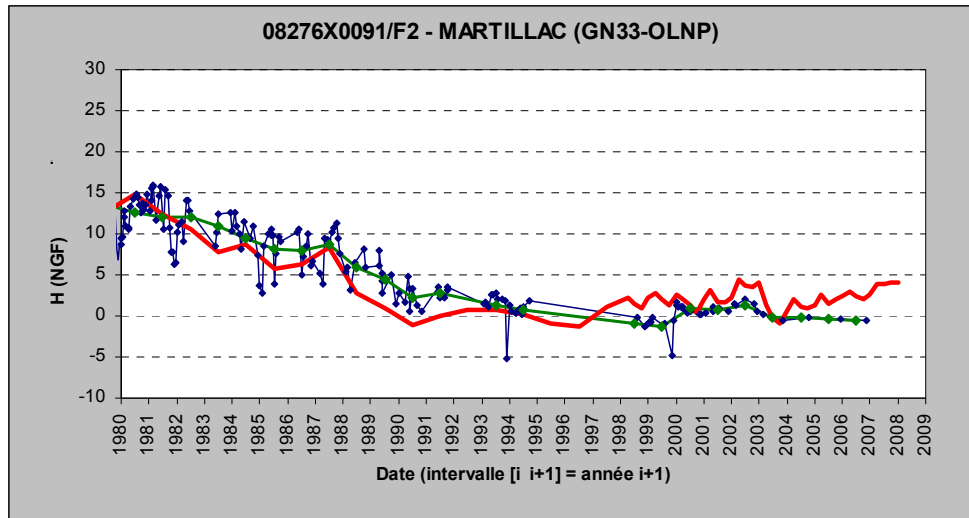


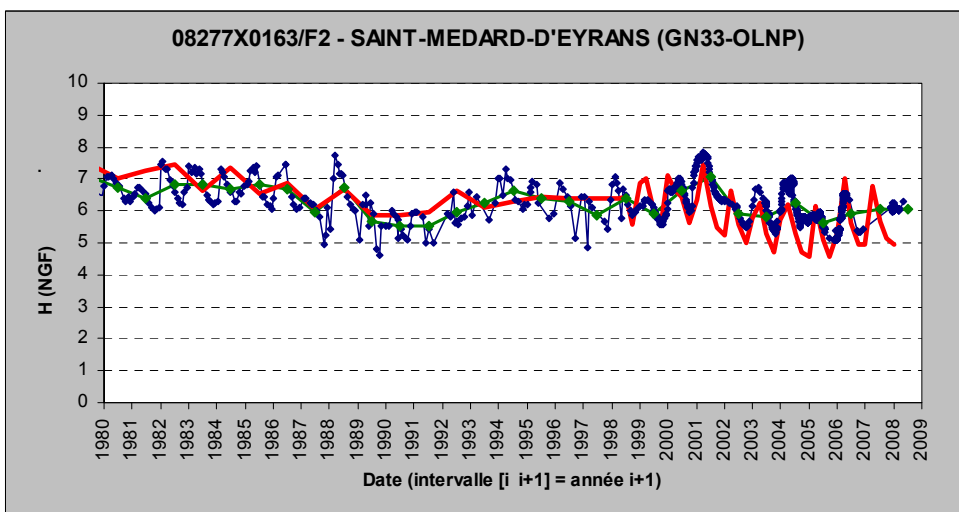
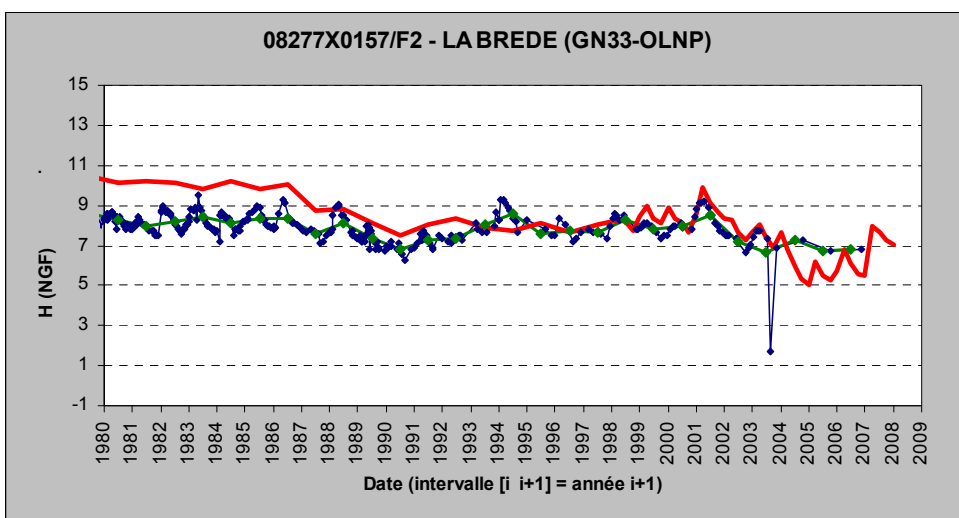
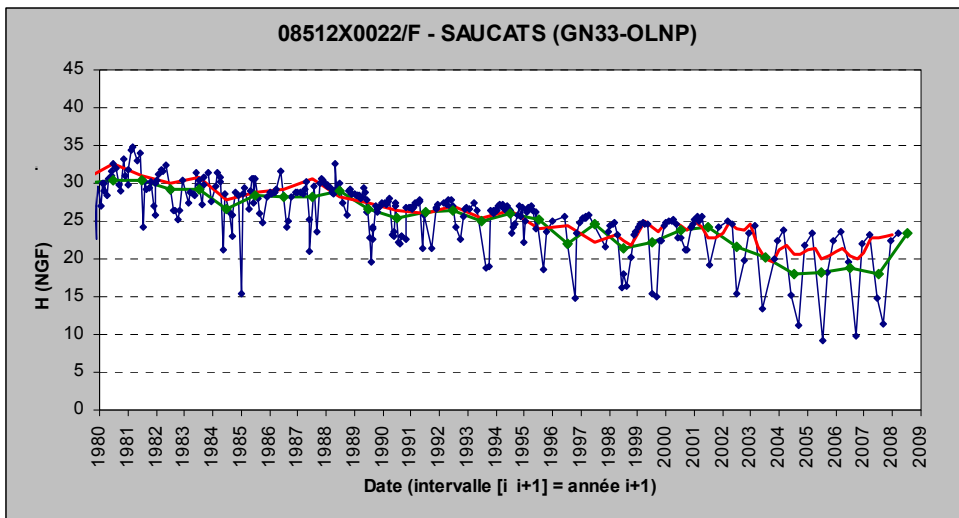


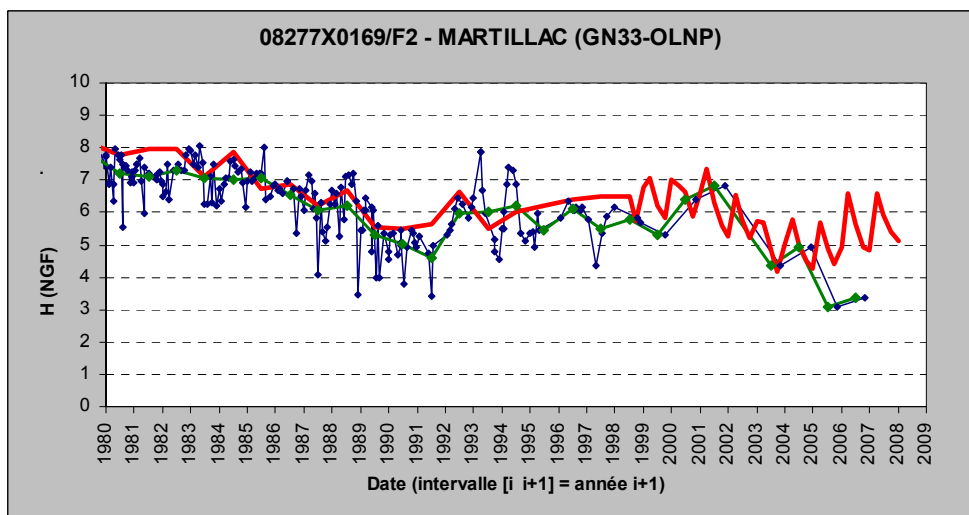
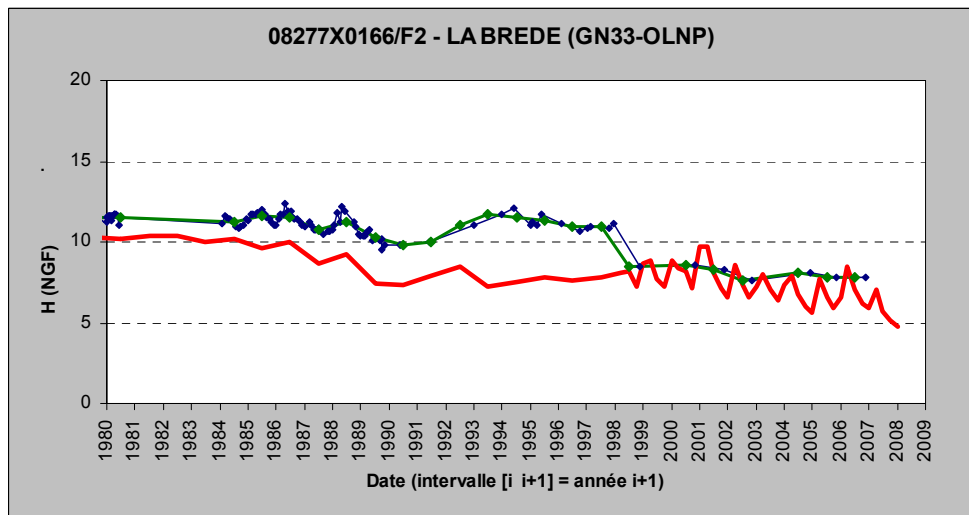
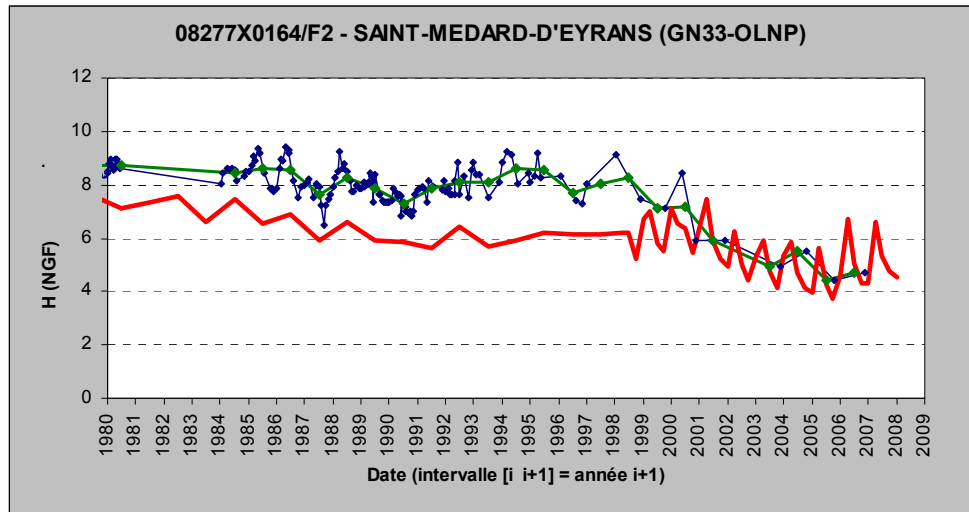


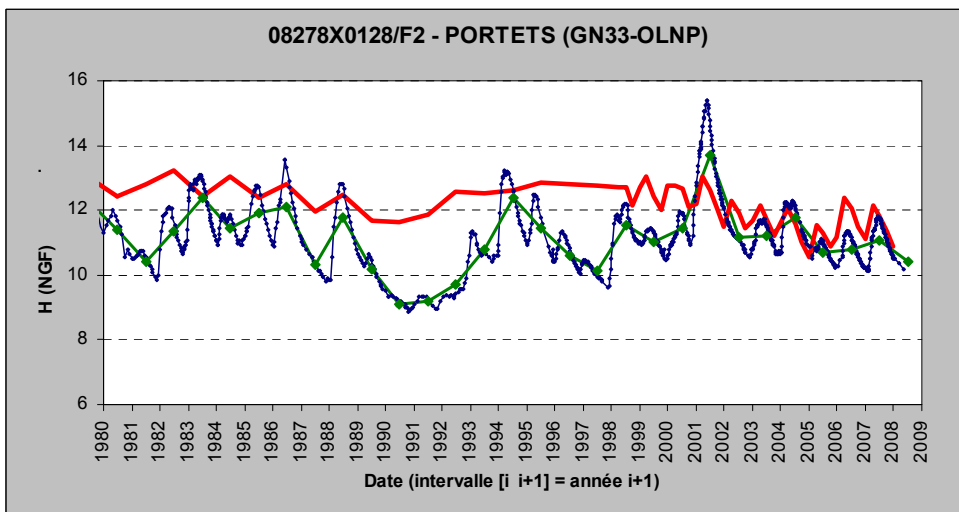
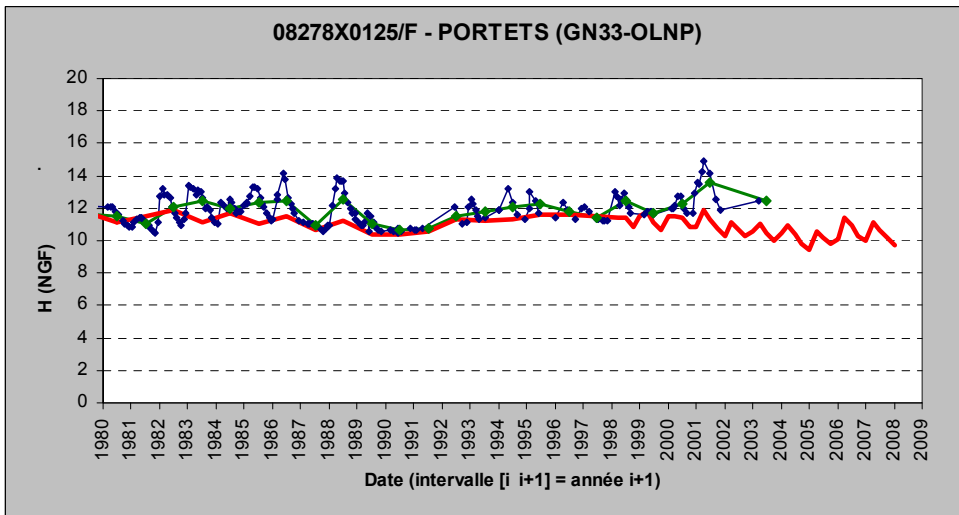
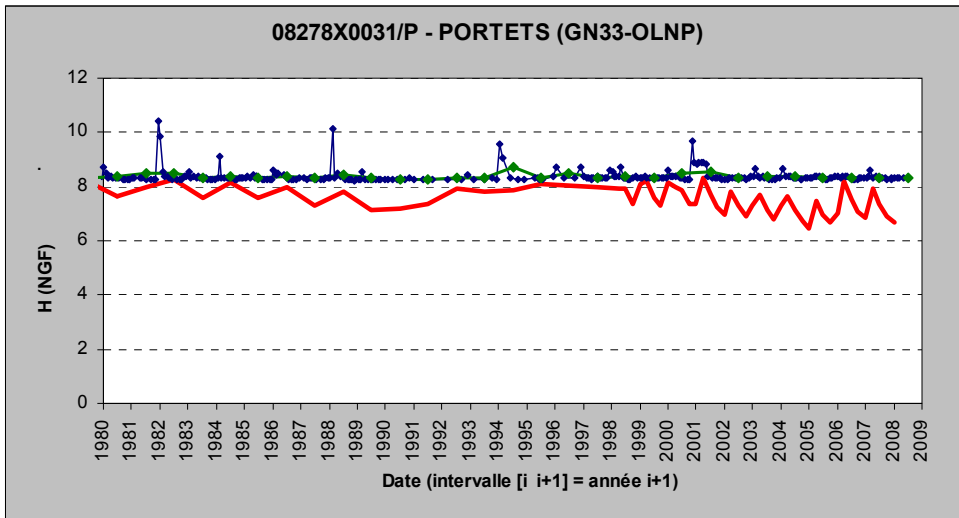


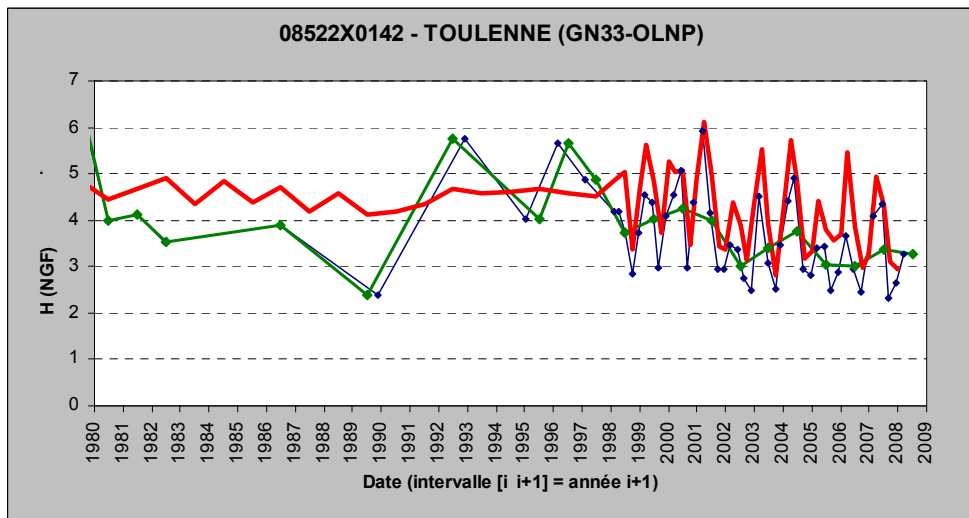
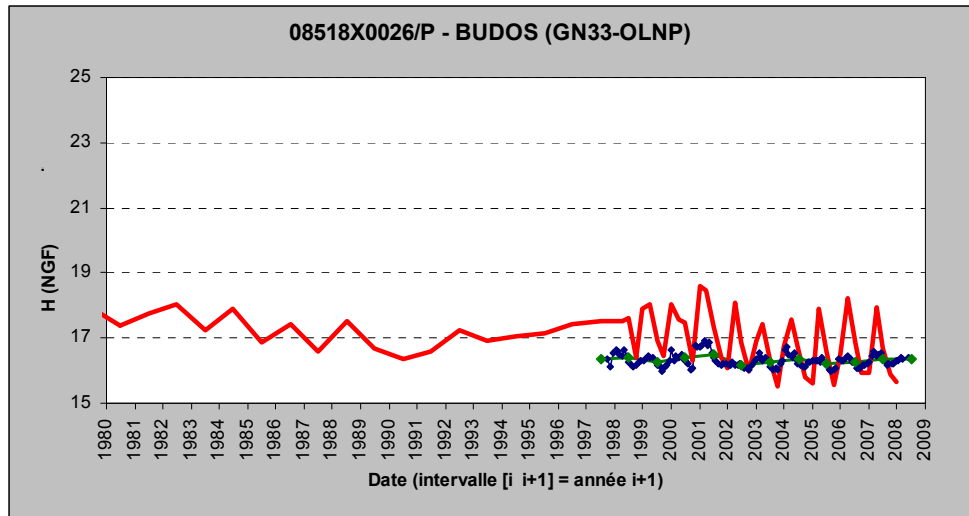






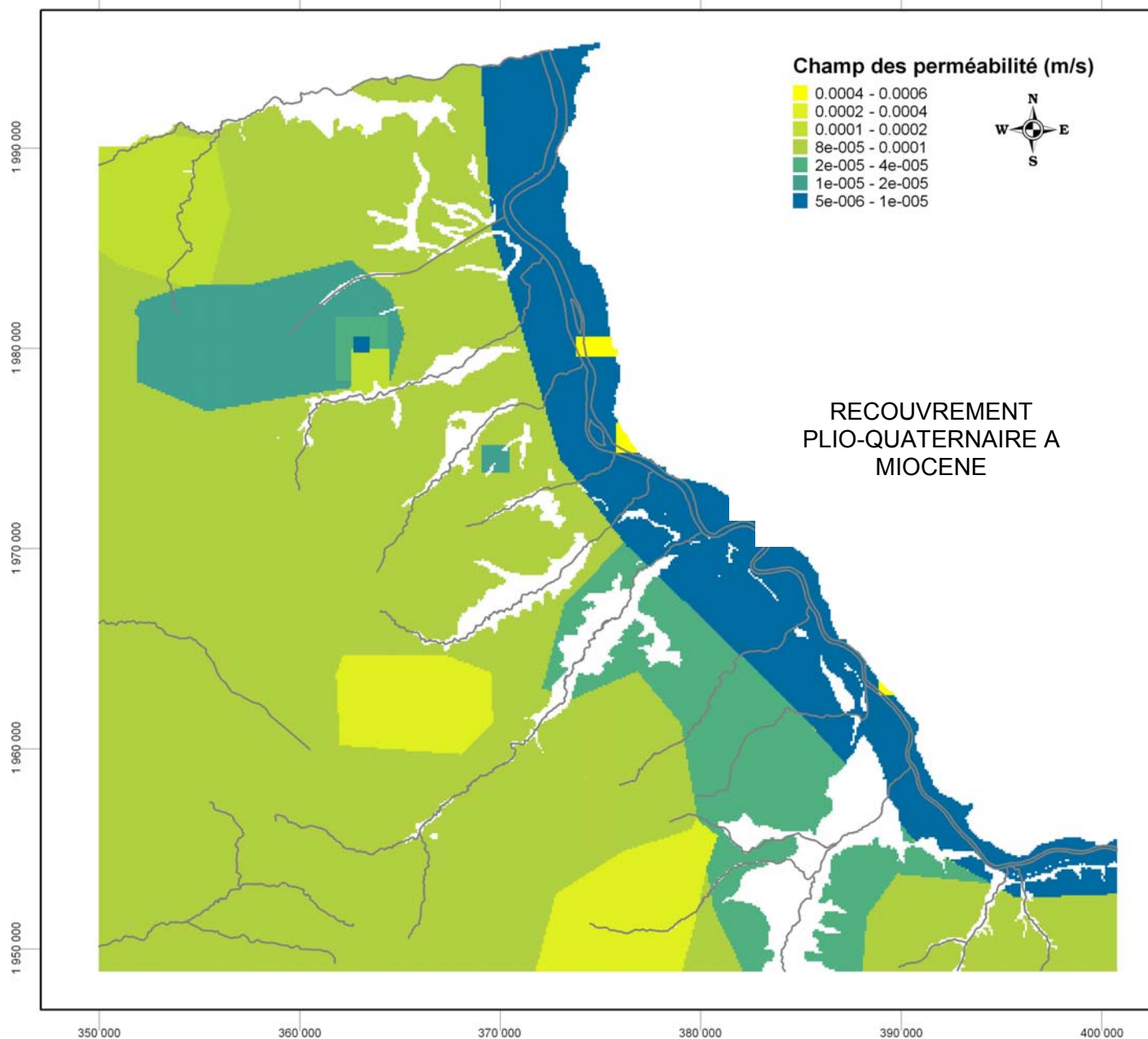


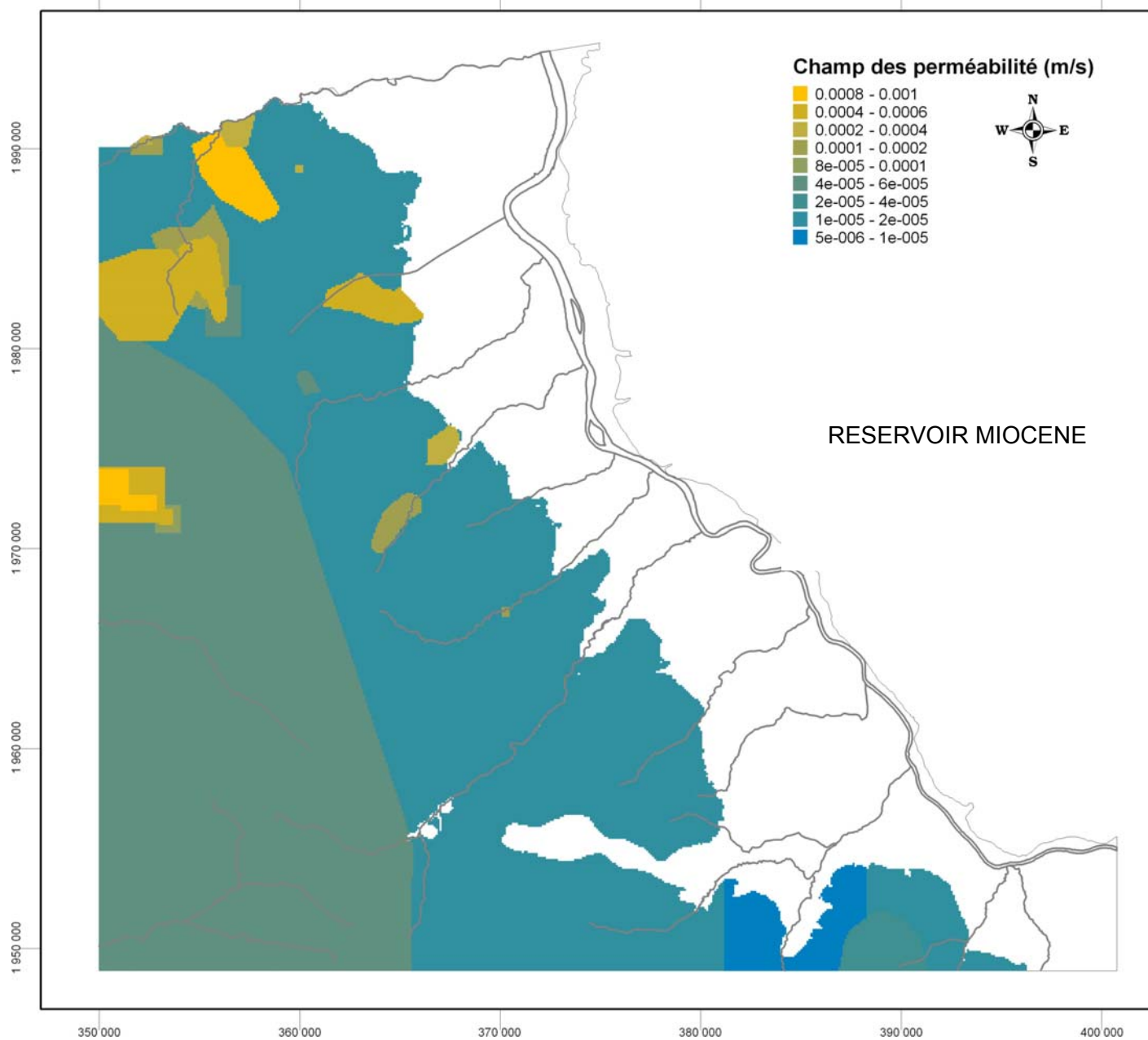


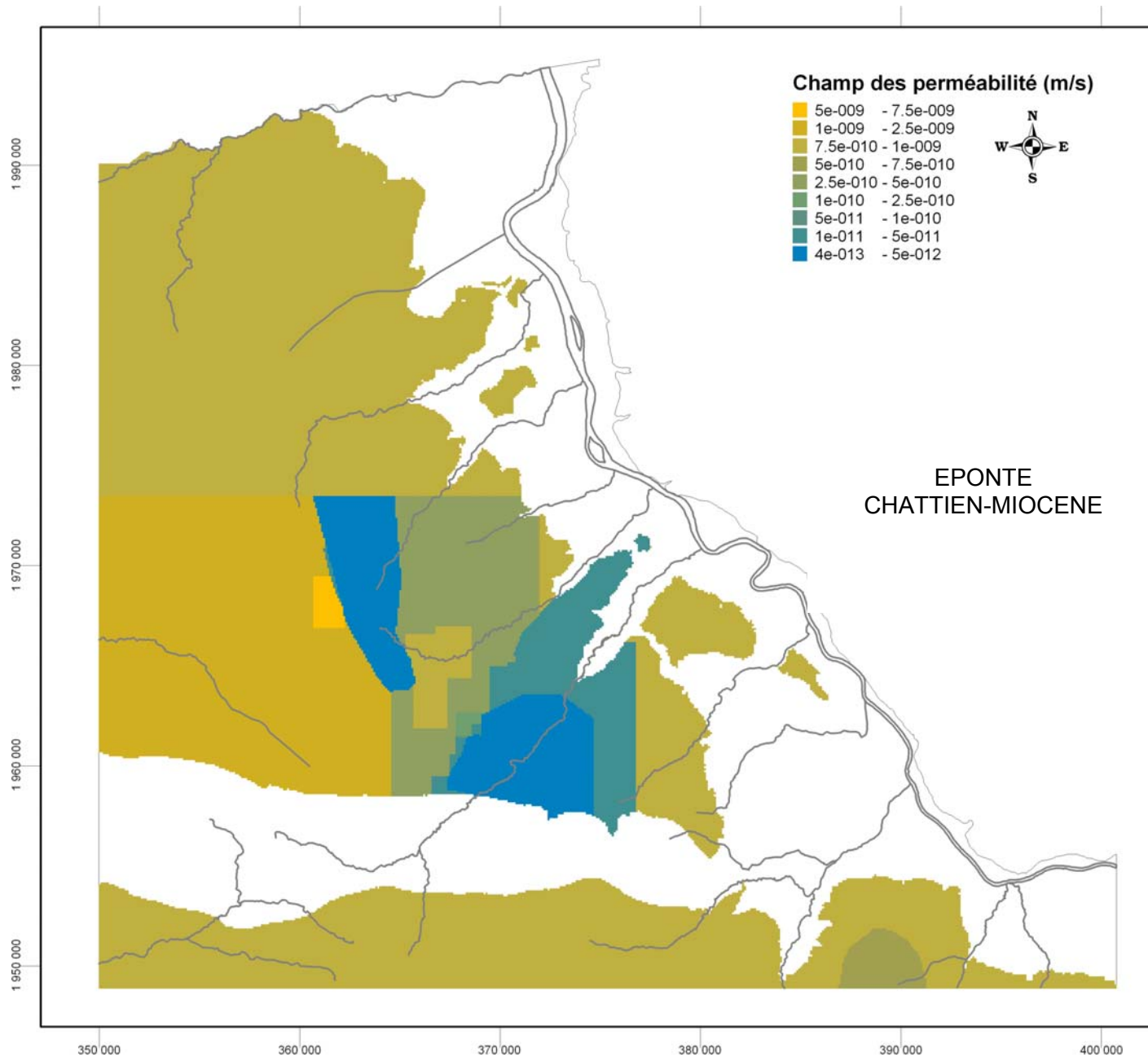


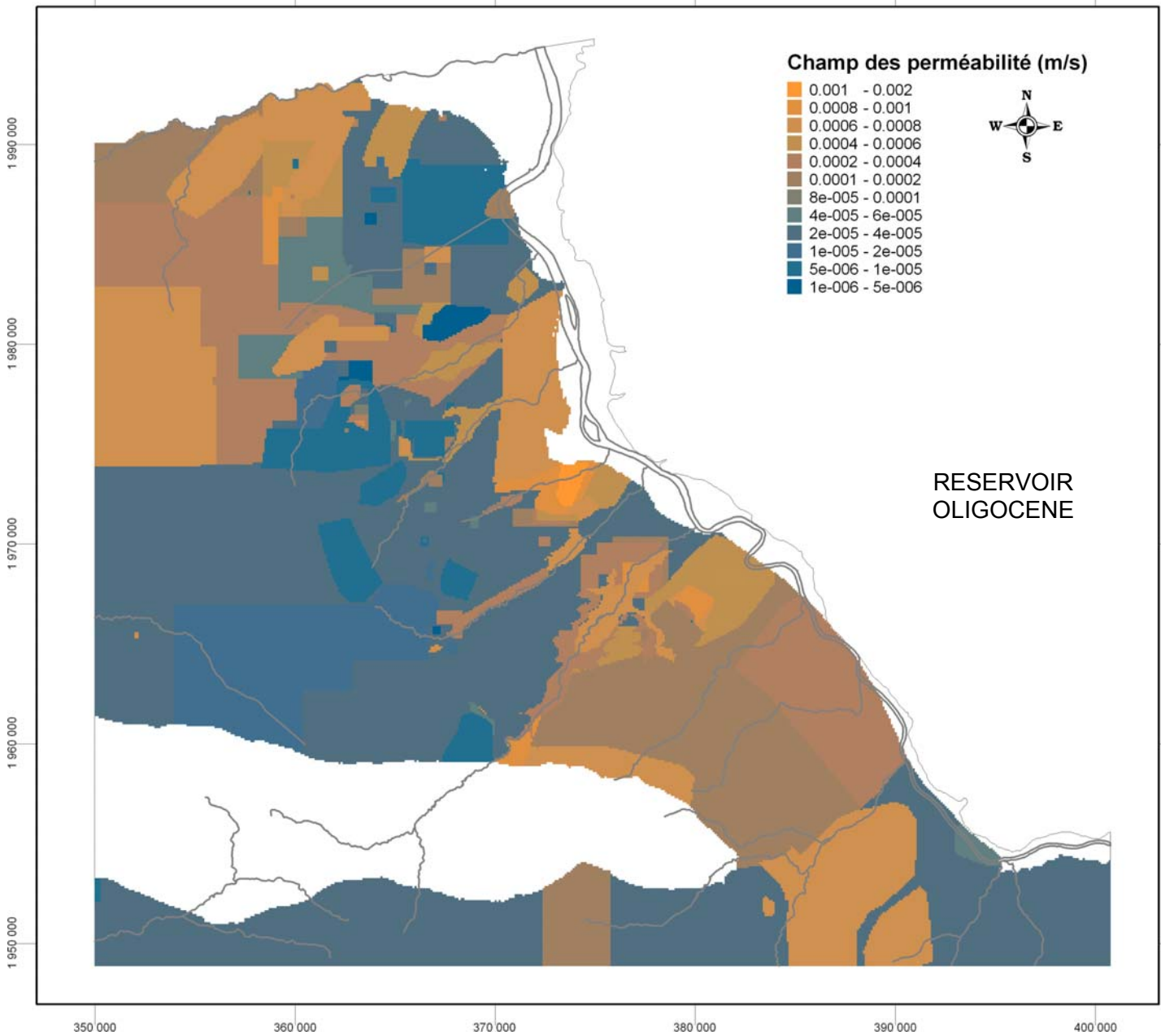
Annexe 5

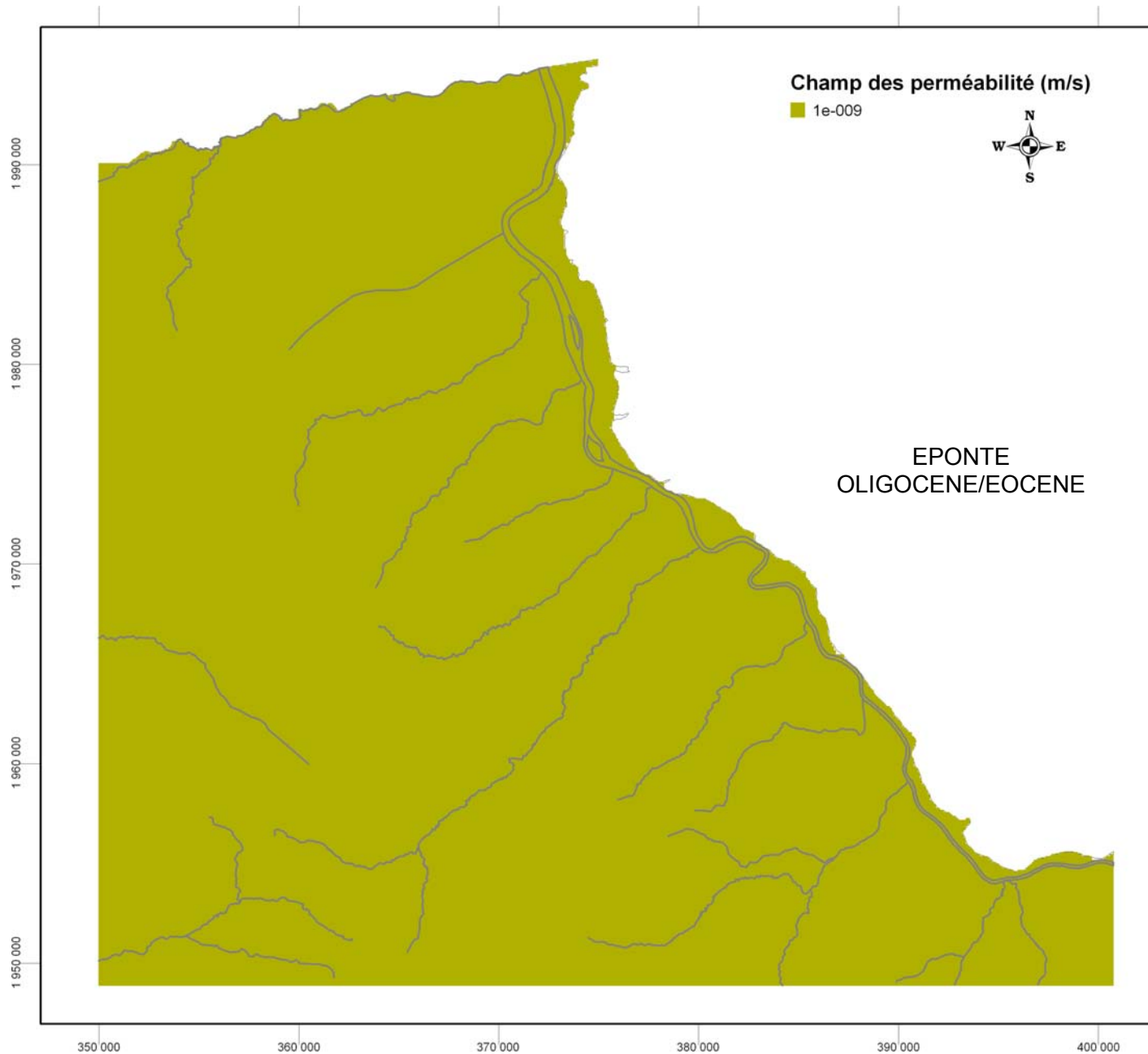
Cartographie des perméabilités issues du calage en régime transitoire

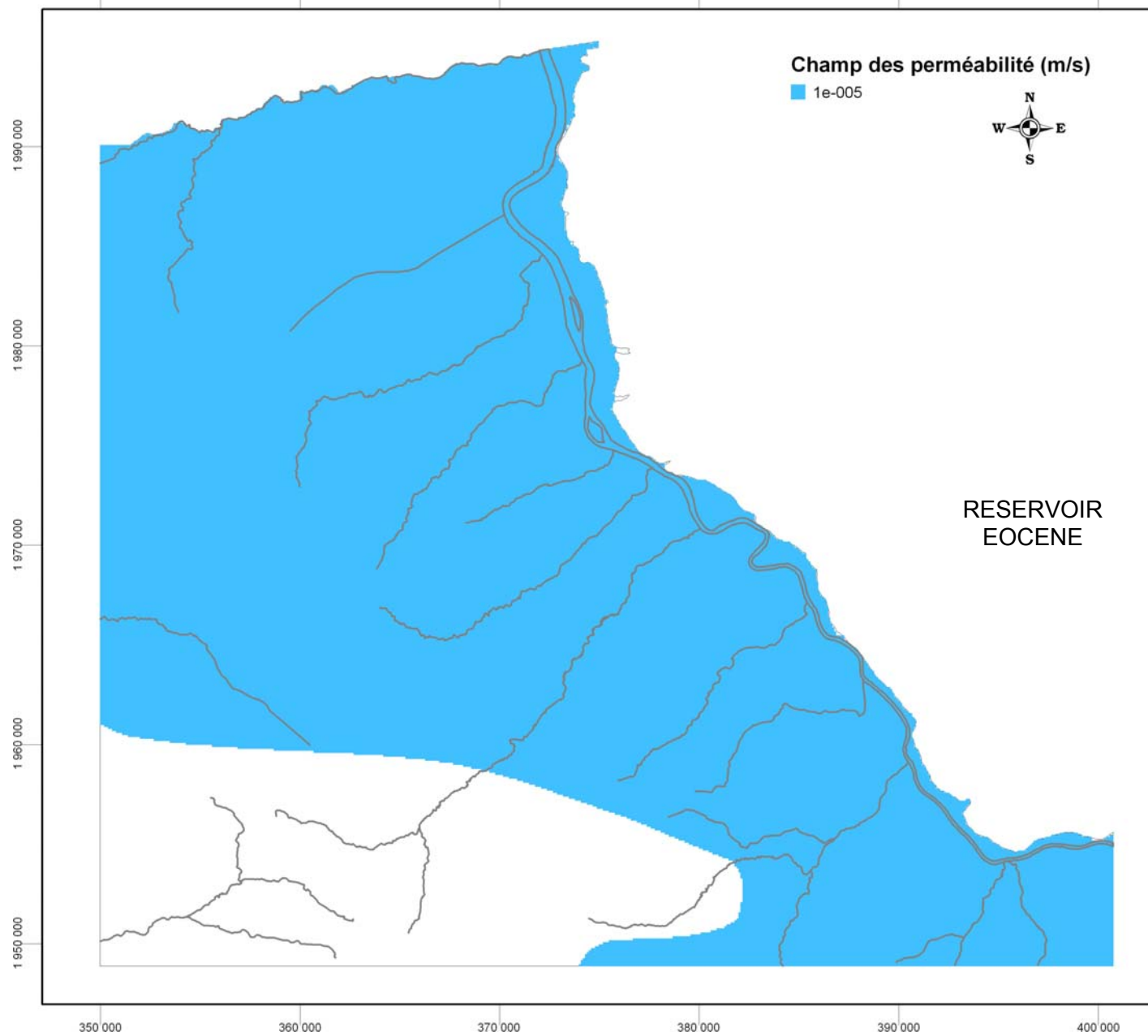












Annexe 6

Évaluation des besoins futurs pour l'AEP



SAGE NAPPES PROFONDES DE GIRONDE

Evaluation des besoins futurs pour l'AEP

Objectif : définir des règles pour l'estimation des besoins futurs en matière d'alimentation en eau potable.

Dans les volumes prélevés pour l'eau potable, on peut distinguer :

- les pertes en distribution "indépendantes" de la consommation ;
- les volumes consommés, eux même répartis entre :
 - ✓ les consommations domestiques dans l'habitat ;
 - ✓ les autres consommations.

Pour estimer les besoins futurs, il est proposé d'estimer séparément chacun des termes suivants :

- le volume des pertes influencé à la baisse par la politique d'économie d'eau imposée par le SAGE et à la hausse par le développement des réseaux de distribution induit par l'augmentation de la population ;
- les volumes consommés dans l'habitat qui dépendent à la fois du nombre d'habitant (à la hausse) et de la consommation unitaire (à la baisse, du fait notamment de la politique d'économies d'eau) ;
- les autres consommations, qui sont à la fois influencés de manières opposées par les politiques d'économies d'eau et par l'augmentation du nombre d'habitants.

RAISONNEMENT :

Bornes de l'évaluation :

- année de référence : 2001 à 2007 et plus particulièrement 2005 (travaux SMEGREG sur usages de l'eau),
- année de projection : 2025.

Données démographiques :

- population moyenne 2001 à 2007 : 1 359 800 habitants,

Calculs :

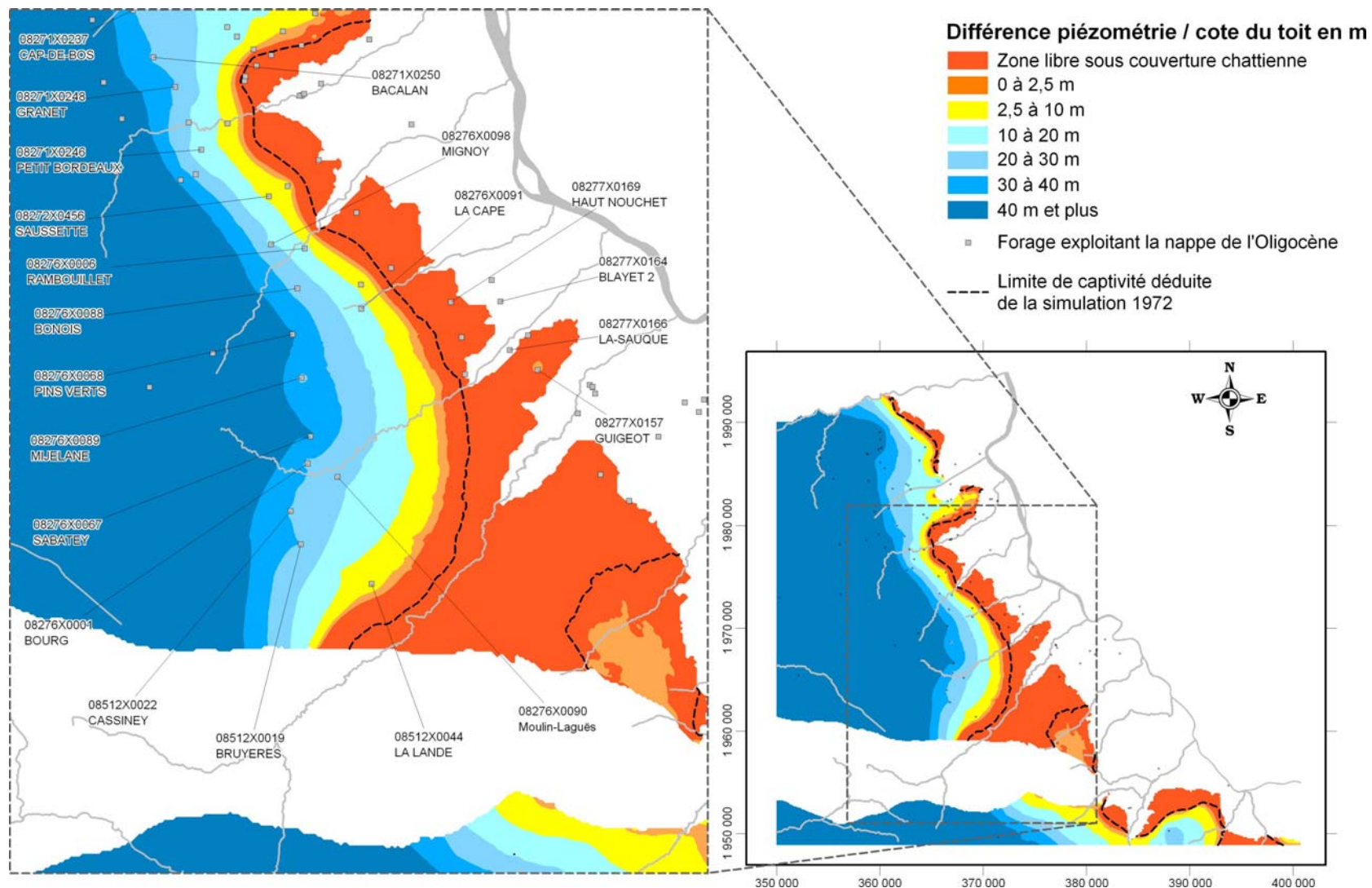
- volume des pertes sur la période 2001-2007 (en m³) : $Pa = Vpa \times 26\%$
- volume des pertes à 2025 (en m³) : $Pf = Pa \times 90\%$
- équivalent habitants sur la période 2001-2007 : $Nha = (Vp - Pa)/64,7$
- équivalent habitants à 2025 : $Nhf = Hha + (Nha \times Tx)$
- volumes consommés à 2025 (en m³) : $Vcf = Nhf \times 62,4$
- volume prélevé à 2025 (en m³) : $Vpf = Pf + Vcf$

Améliorations possibles :

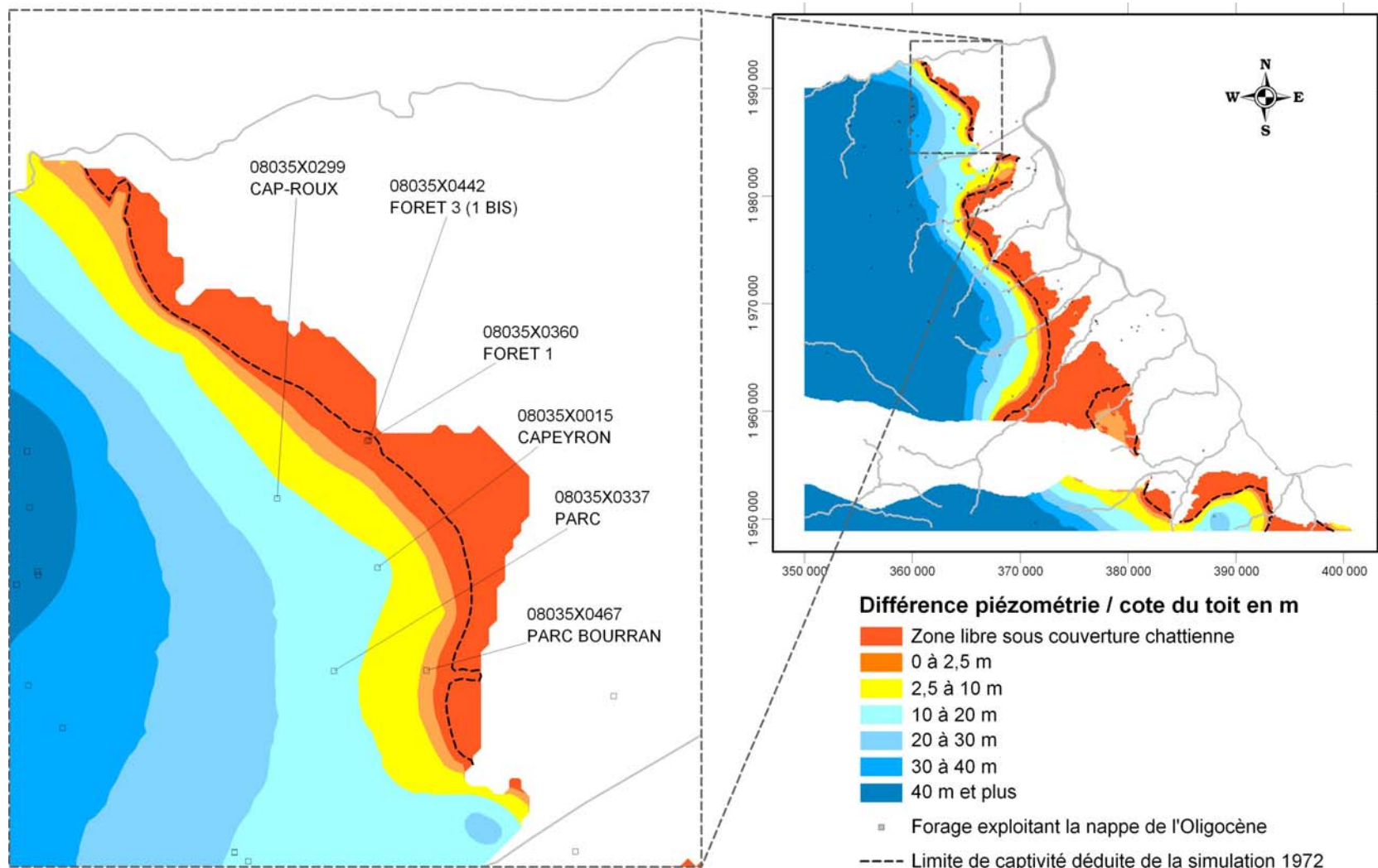
- 1) utiliser les vraies populations légales INSEE et prévisions OMPHALE basées sur les recensements 2006
- 2) utiliser la grille d'analyse de l'ILP pour mieux évaluer le gisement économies d'eau sur les rendements de réseau.

Annexe 7

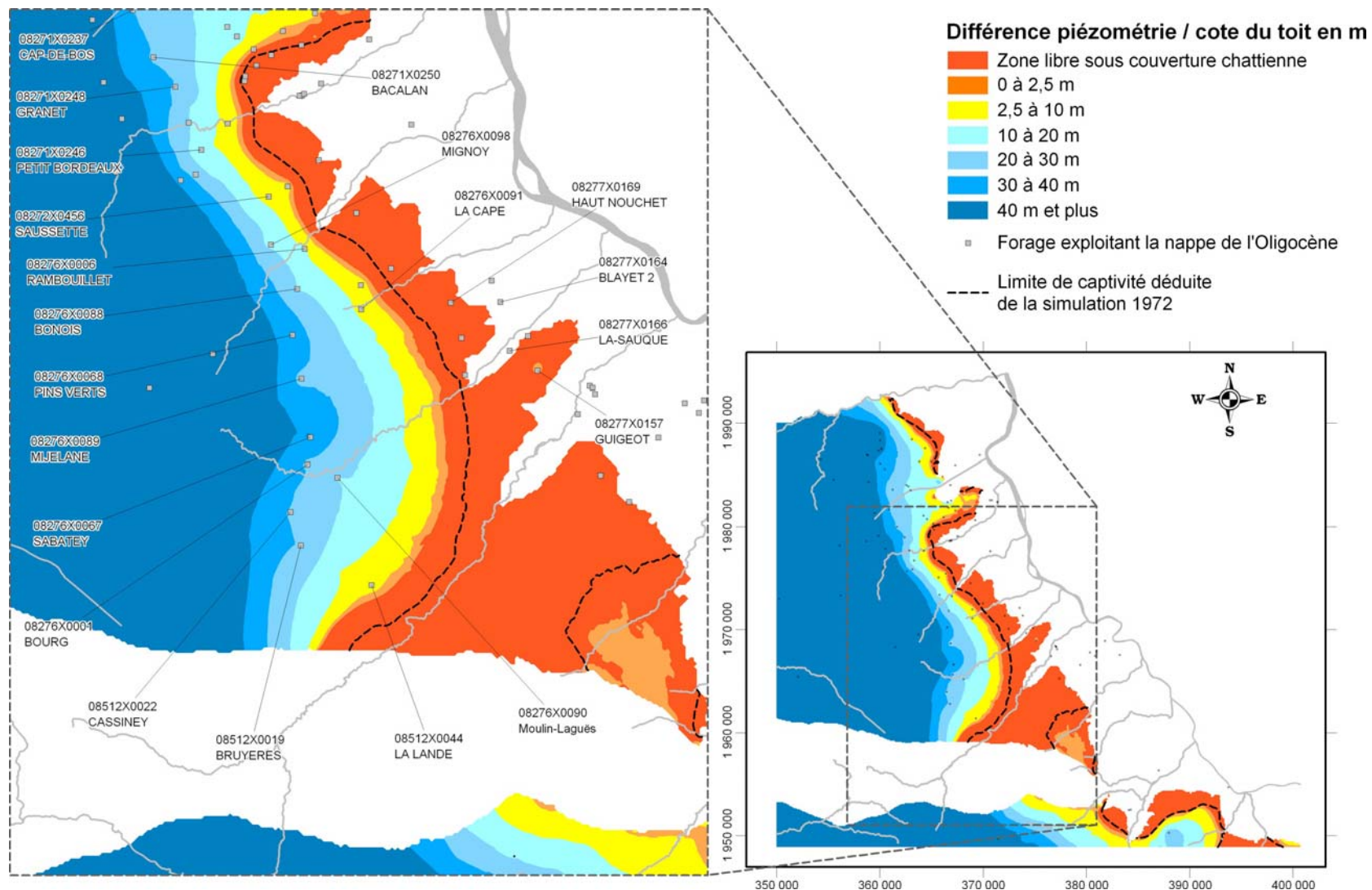
Simulations d'optimisation – Cartes de dénoyage



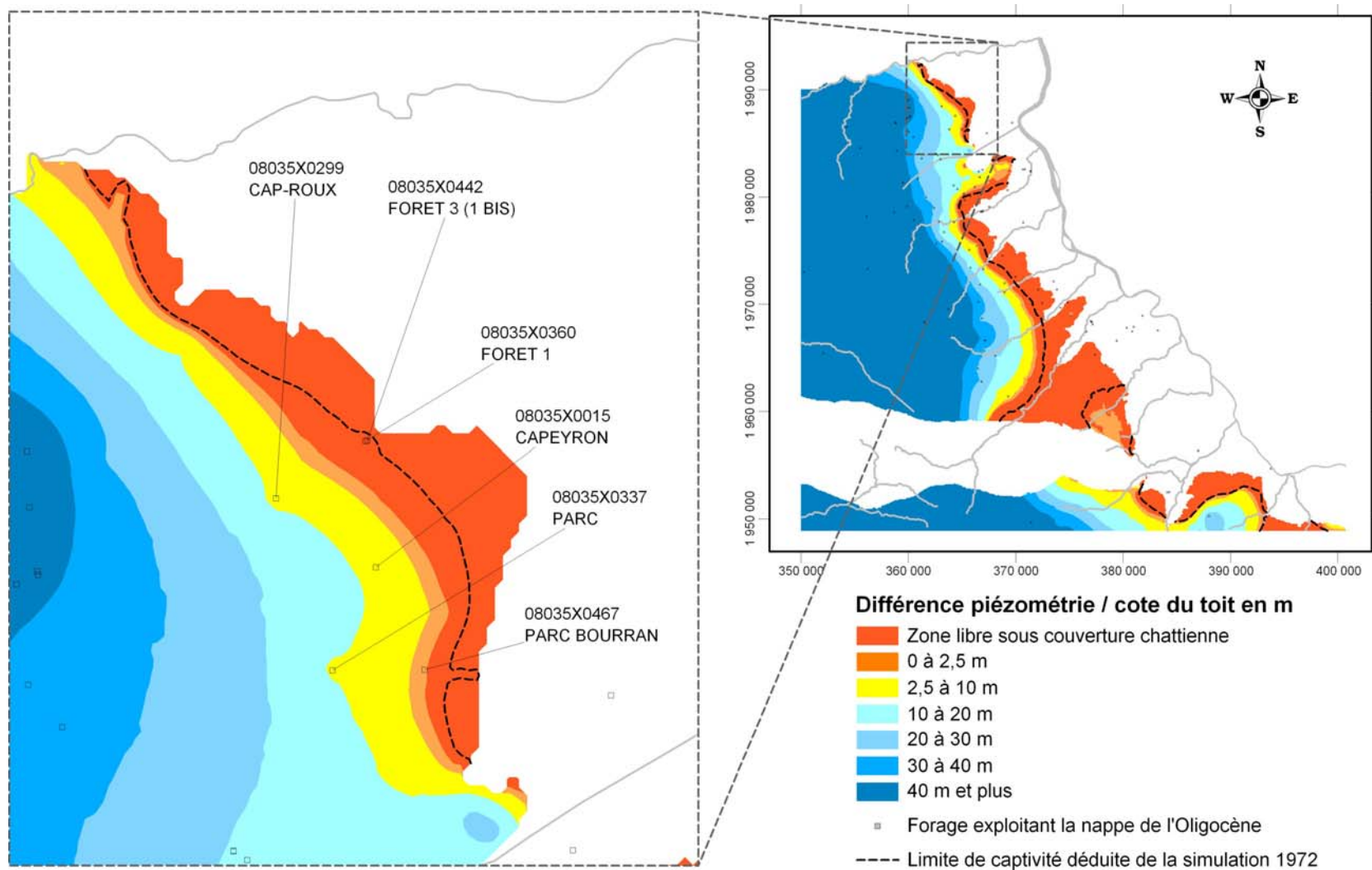
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de la « ligne des 100 000m³/jour »
 Scénario d'optimisation A - année 2025



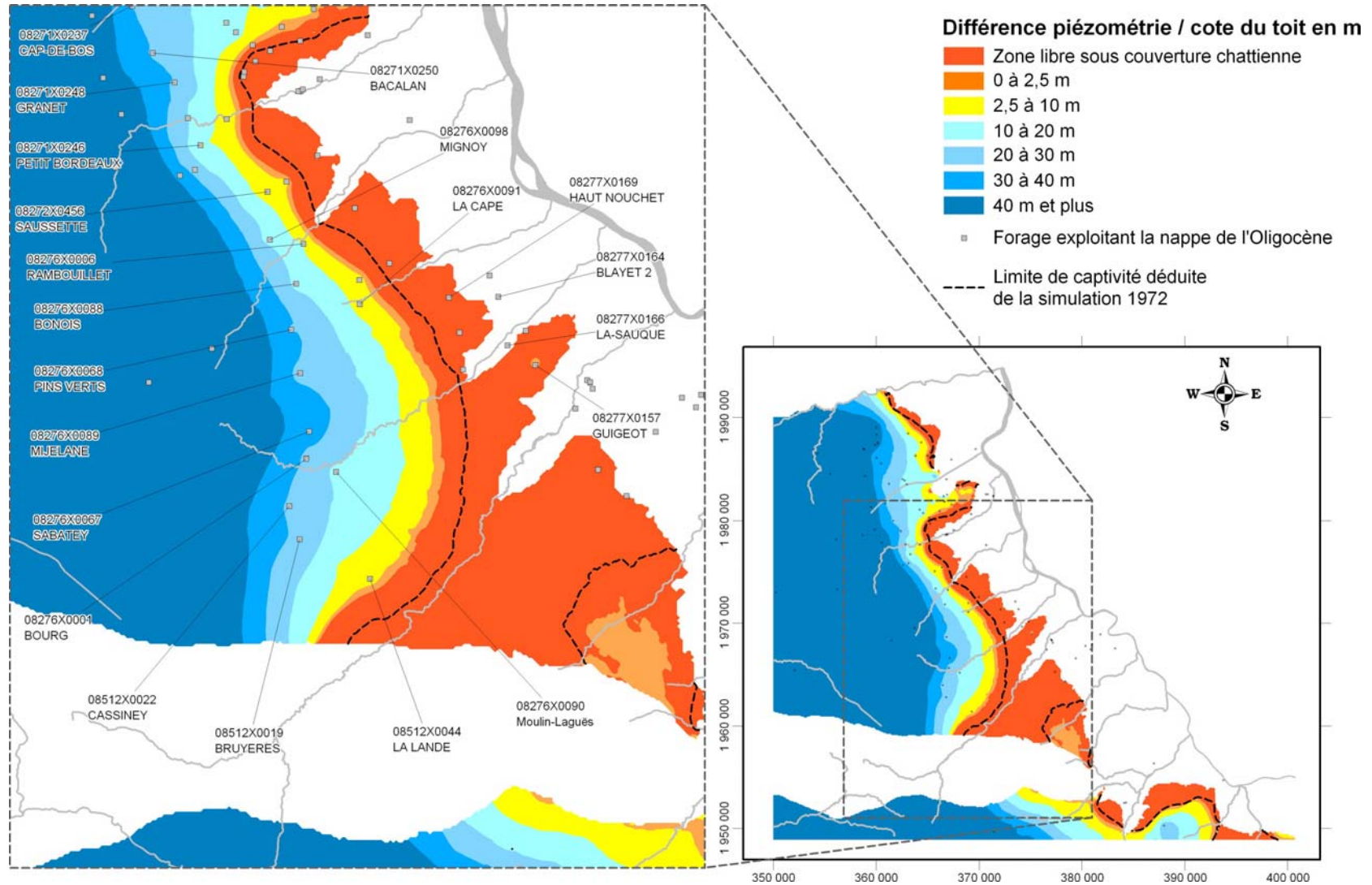
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de Mérignac
 Scénario d'optimisation A - année 2025



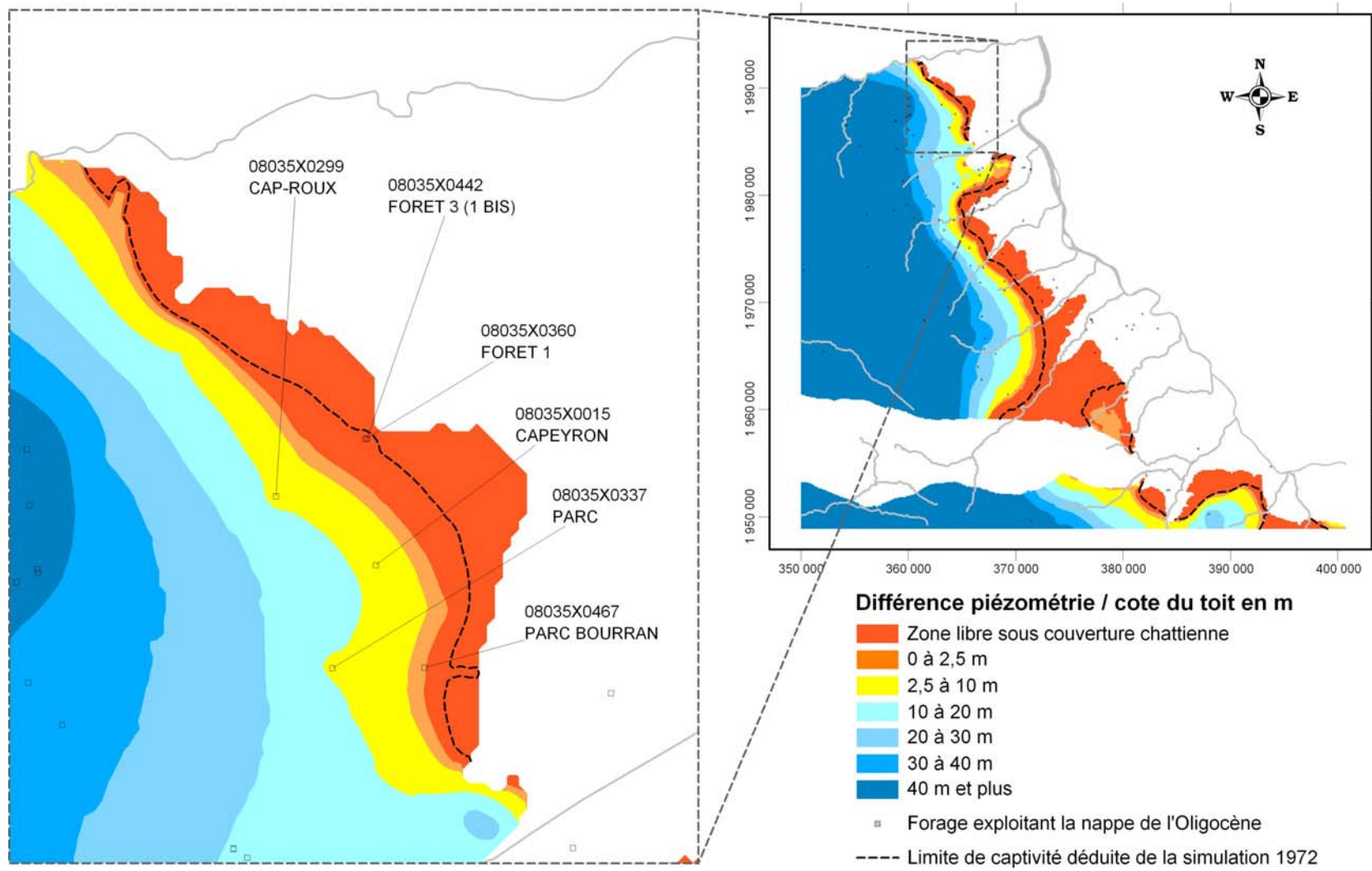
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de la « ligne des 100 000m³/jour »
 Scénario d'optimisation B - année 2025



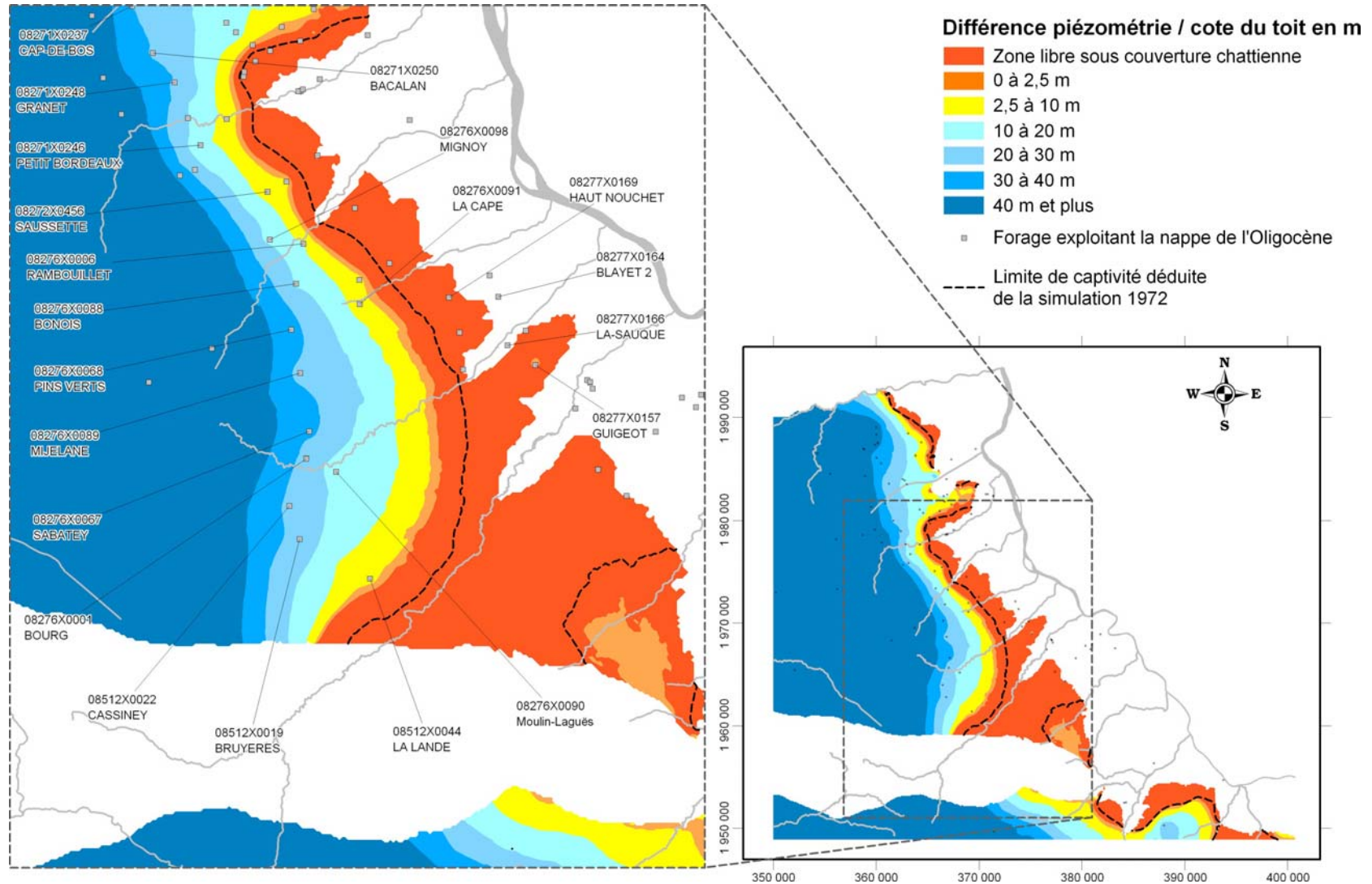
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de Mérignac
Scénario d'optimisation B - année 2025



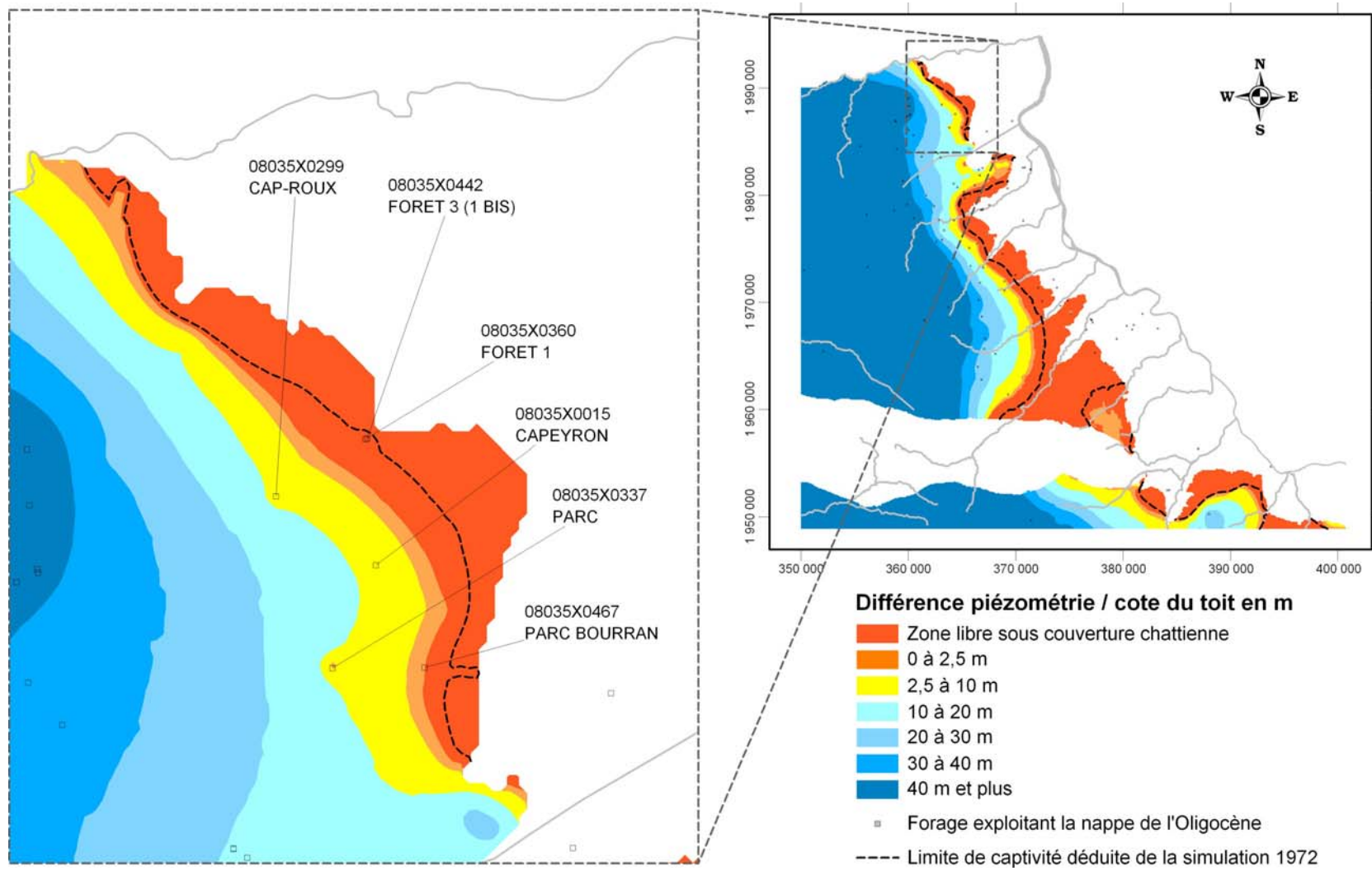
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de la « ligne des 100 000m³/jour »
 Scénario d'optimisation C - année 2025



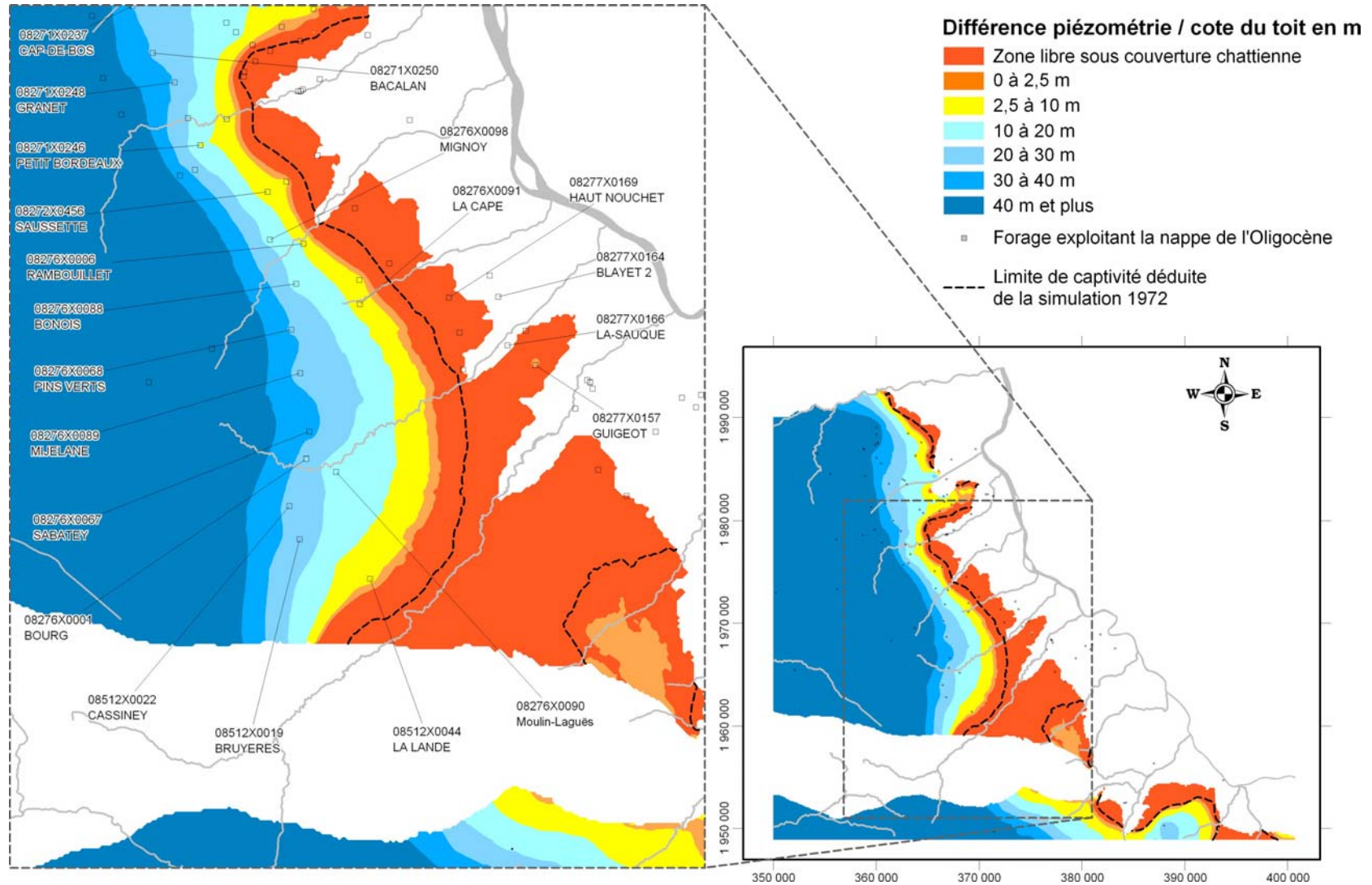
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de Mérignac
 Scénario d'optimisation C - année 2025



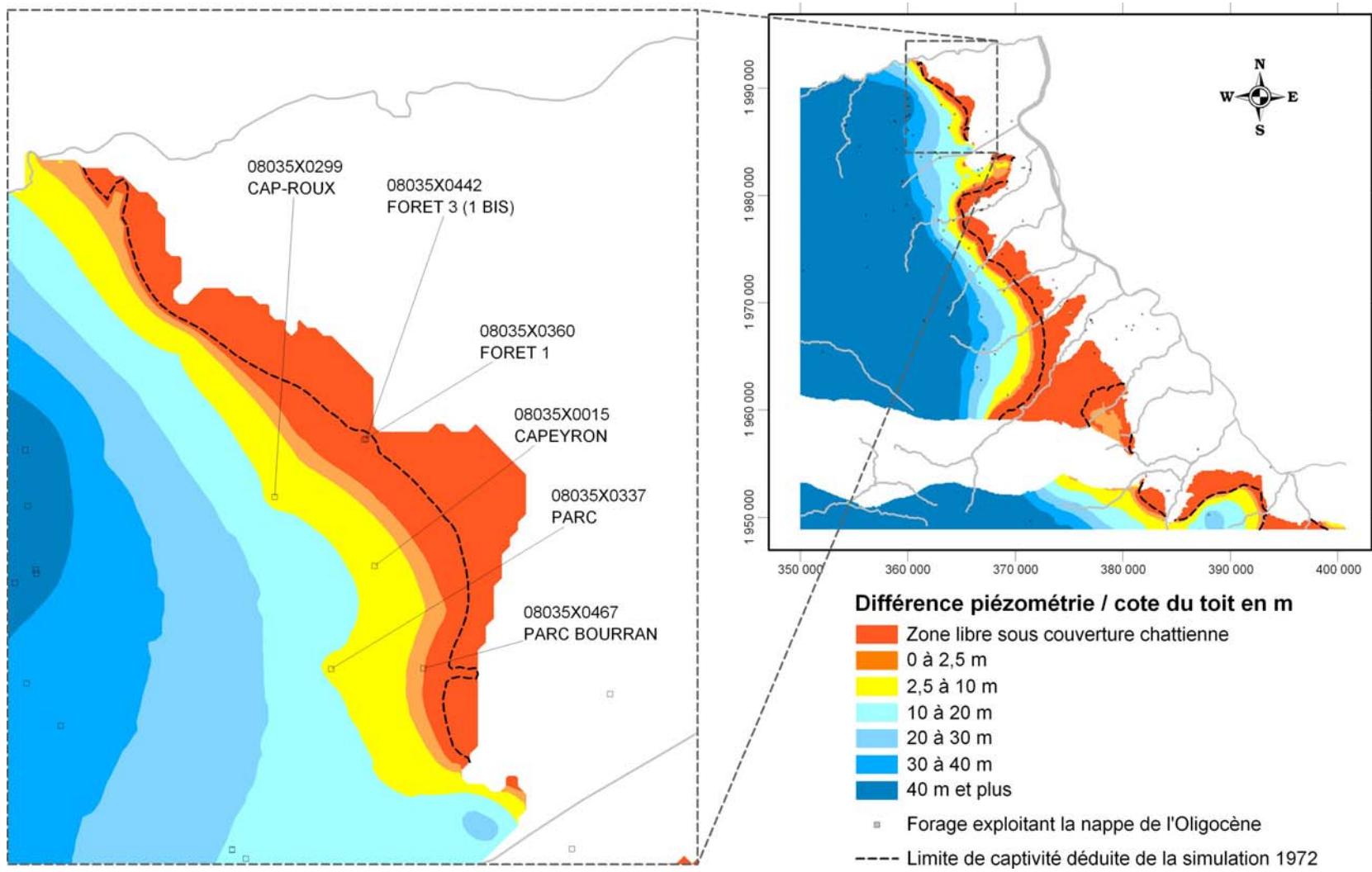
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de la « ligne des 100 000m³/jour »
 Scénario d'optimisation D - année 2025



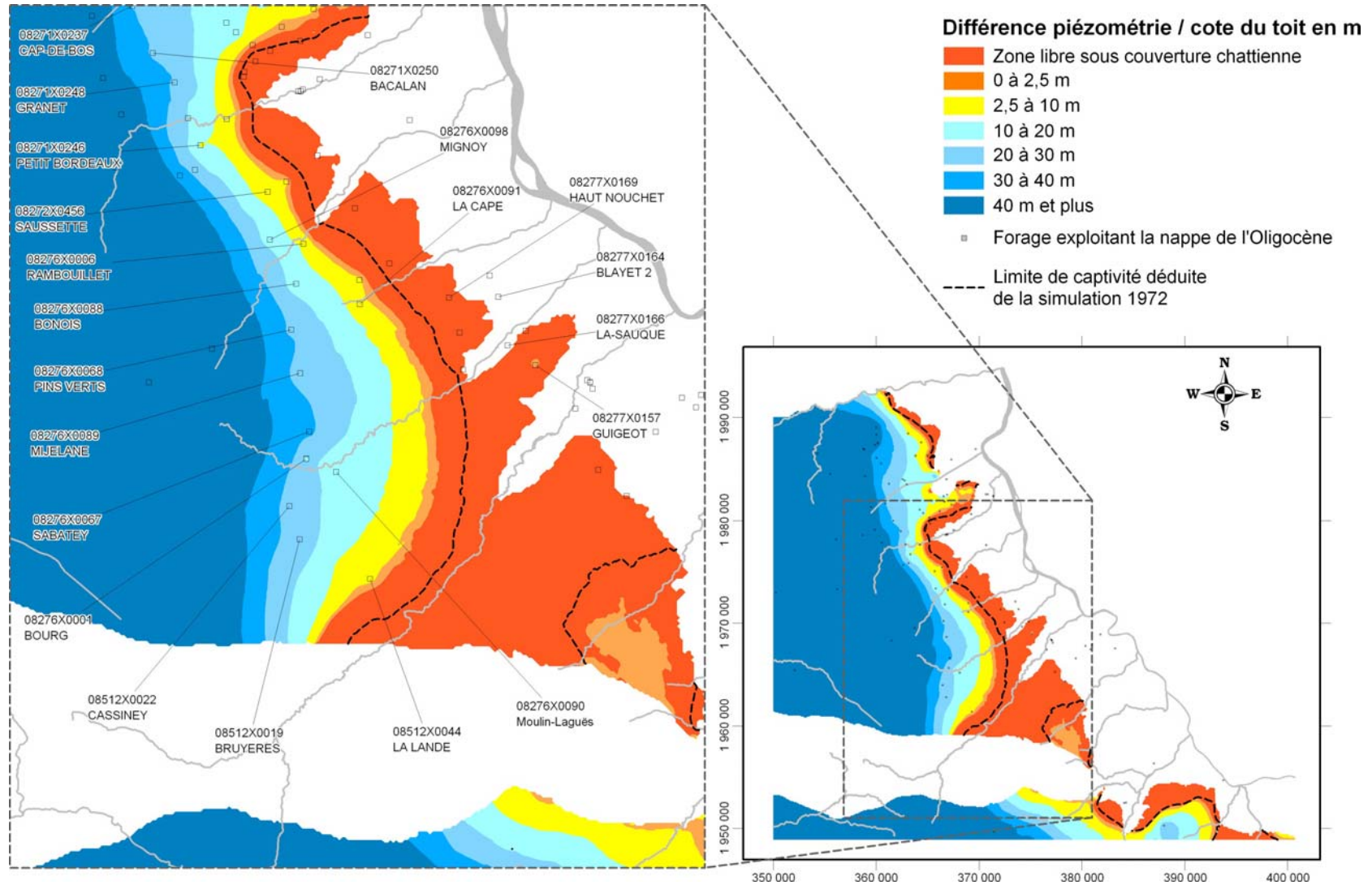
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de Mérignac
 Scénario d'optimisation D - année 2025



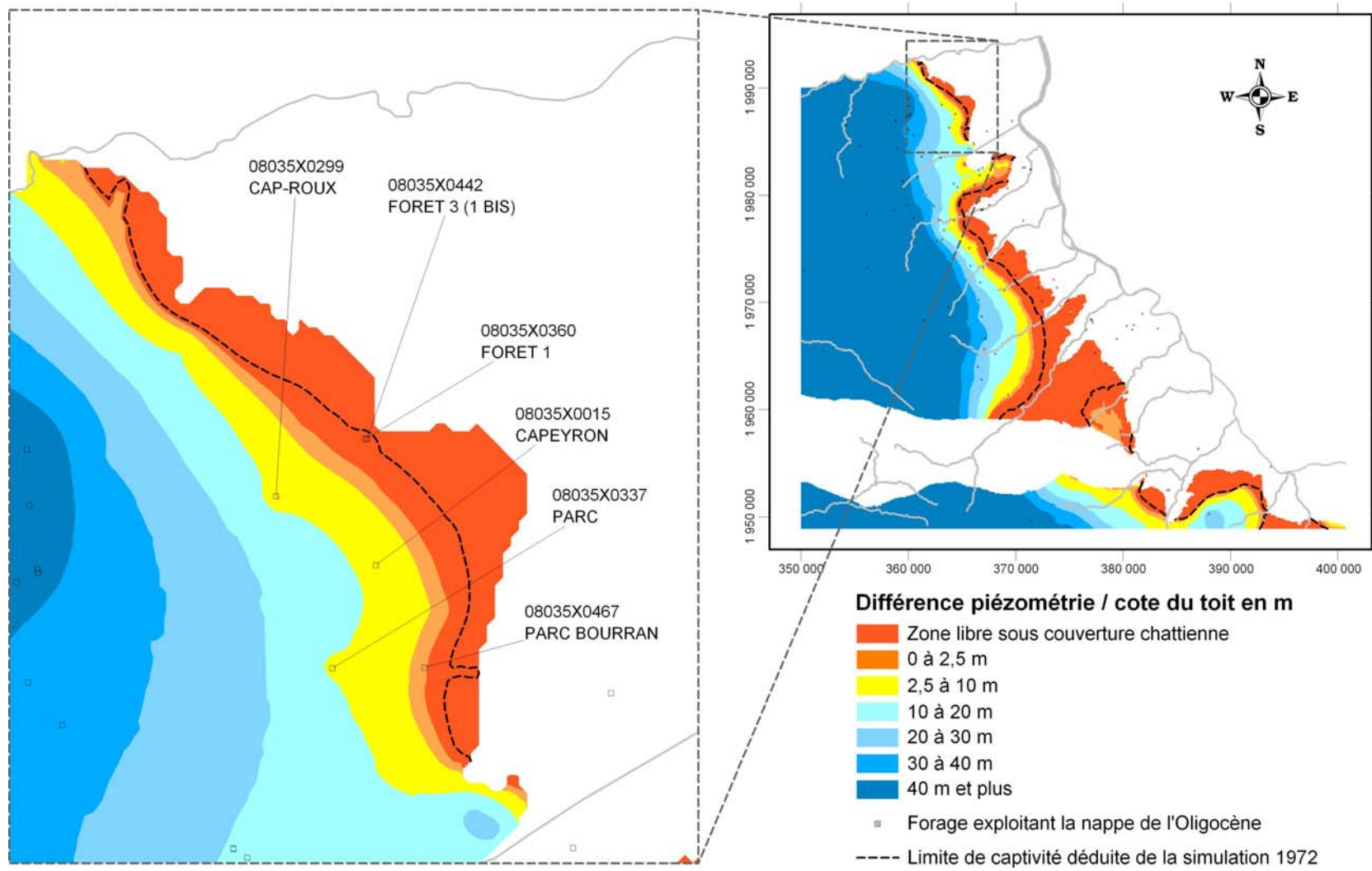
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de la « ligne des 100 000m³/jour »
 Scénario d'optimisation E - année 2025



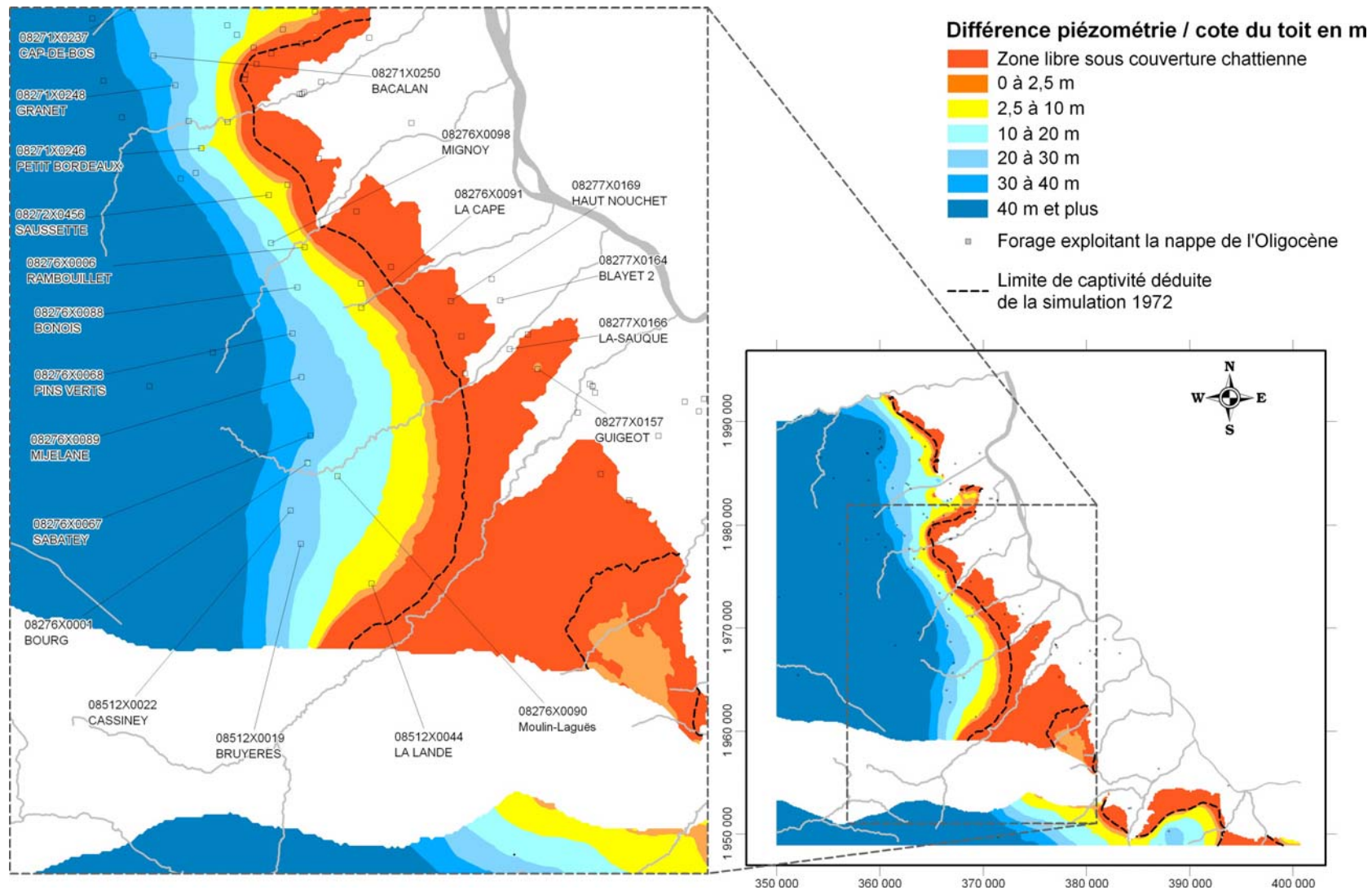
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de Mérignac
 Scénario d'optimisation E - année 2025



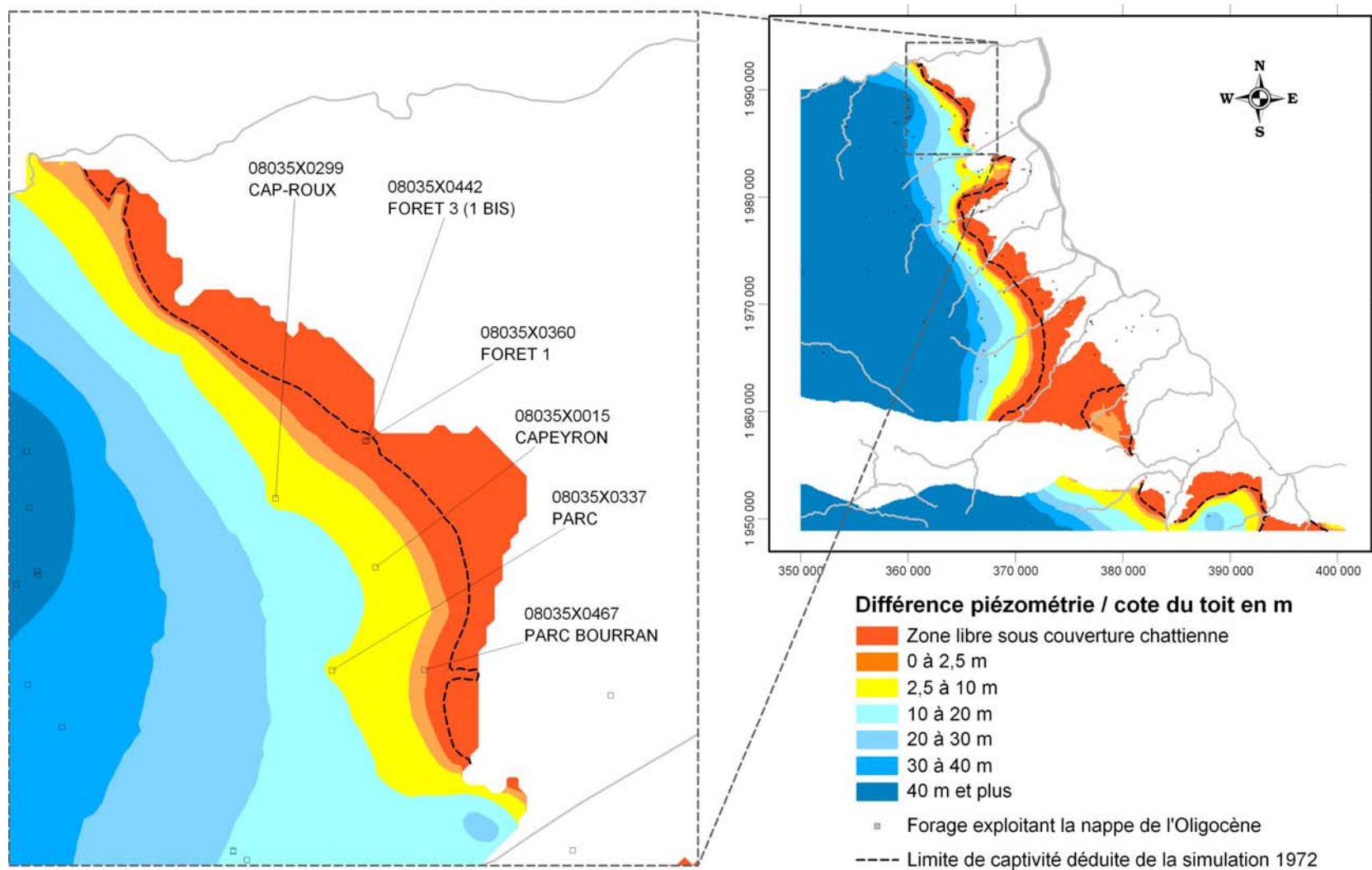
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de la « ligne des 100 000m³/jour »
 Scénario d'optimisation F - année 2025



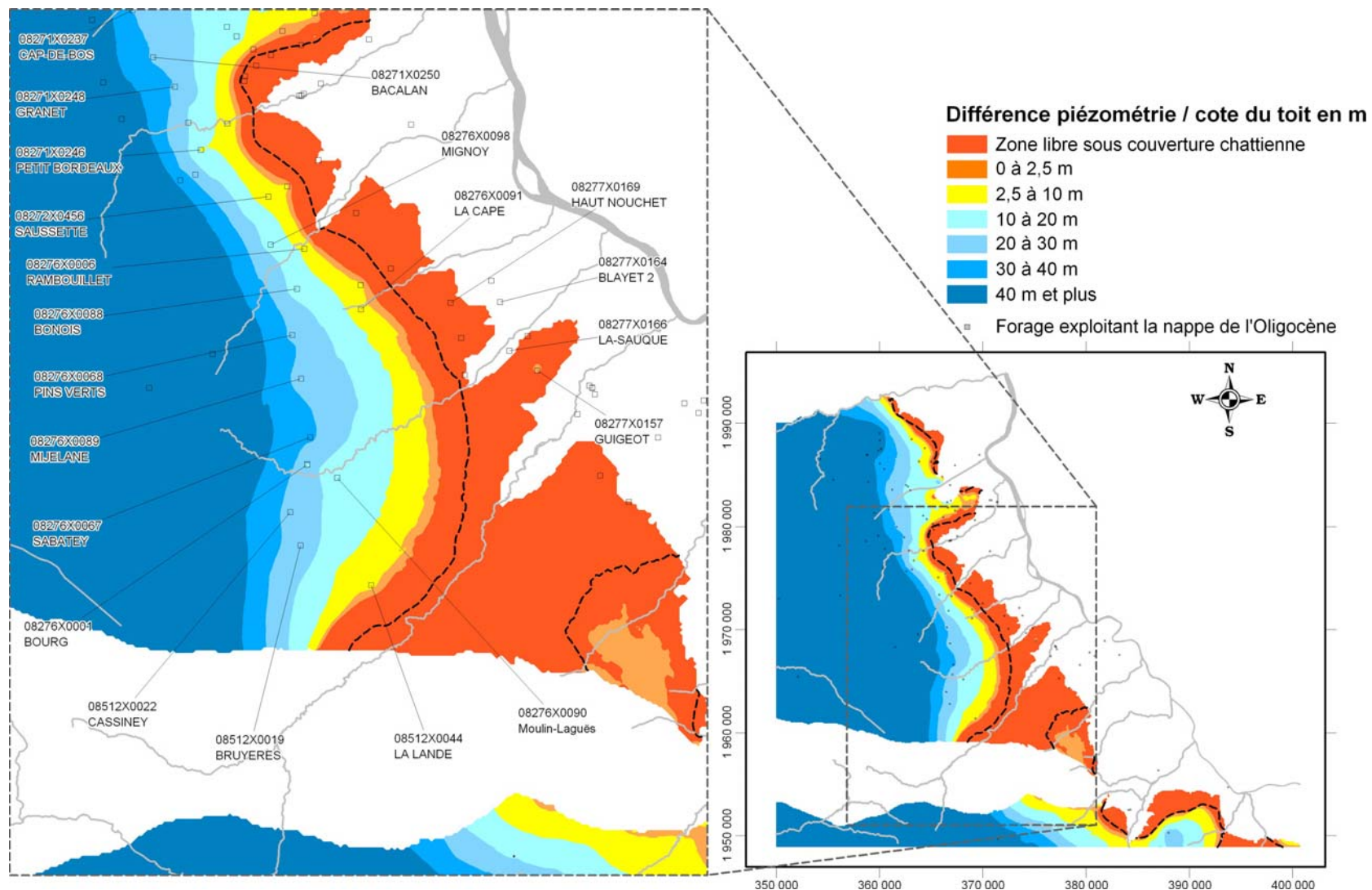
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de Mérignac
 Scénario d'optimisation F - année 2025



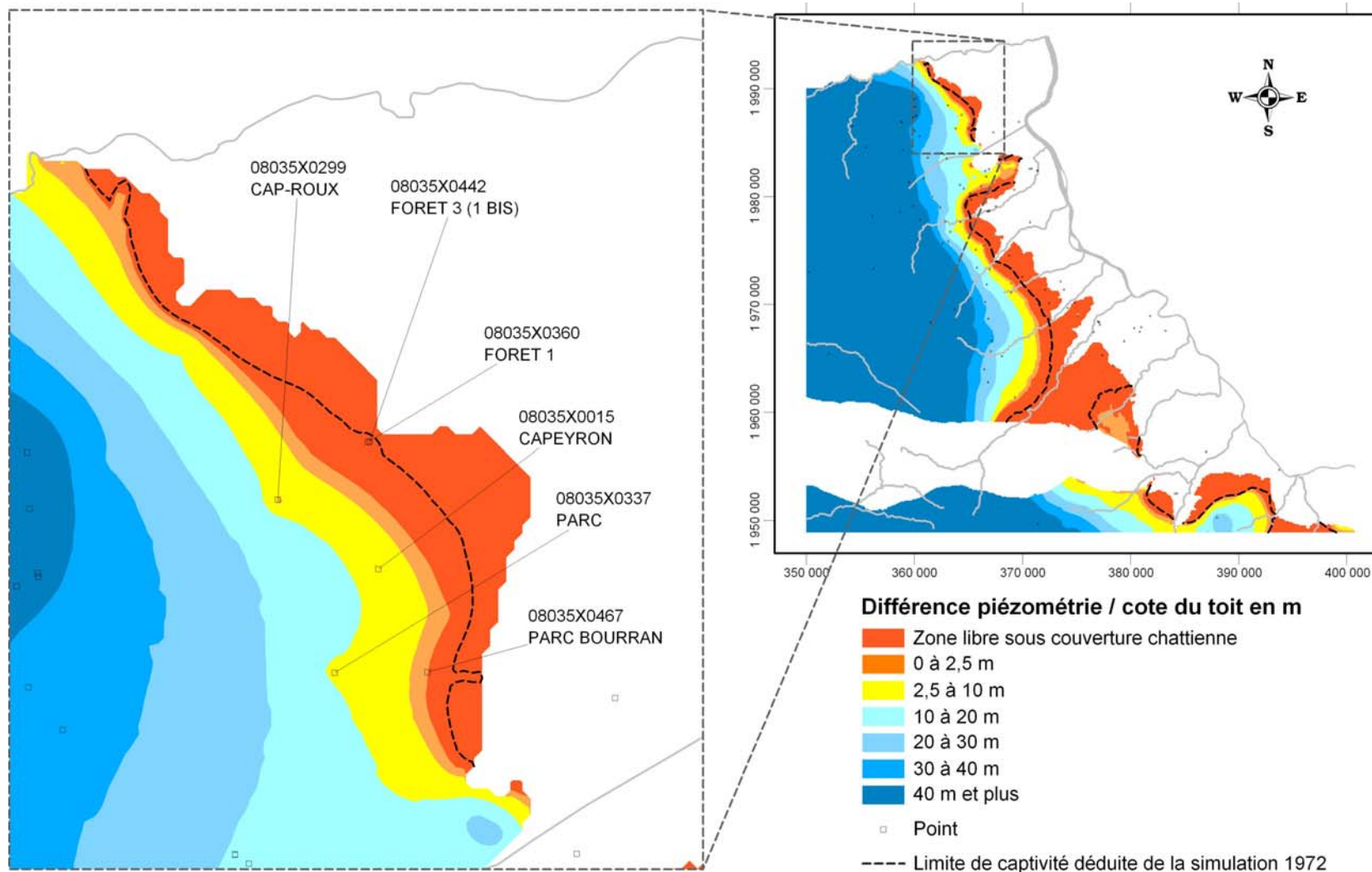
Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de la « ligne des 100 000m³/jour »
 Scénario d'optimisation G - année 2025



Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de Mérignac
Scénario d'optimisation G - année 2025



Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de la « ligne des 100 000m³/jour »
 Scénario d'optimisation H - année 2025



Extension de la zone dénoyée estimée à partir du modèle – Secteur de Mérignac
 Scénario d'optimisation H - année 2025



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

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