





# Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde

## Utilisation de méthodes géostatistiques pour la valorisation et la comparaison de données piézométriques

Rapport final

**BRGM/RP-60146-FR**  
Août 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 10EAUJ02

**Corbier P., Pédron N. et Bourgine B.**  
avec la collaboration de Bourdonné R.

**Vérificateur :**

Nom : J.J. SEGUIN

Date :

Signature :

**Approbateur :**

Nom : N. LENOTRE

Date :

Signature :

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 AF AQ ISO 9001:2008**

**Relecture Conseil Général 33 : N. Briche et C. Debrieu-Levrat**

**Mots-clés** : Crétacé, dérive externe, eaux souterraines, Eocène, forages, géostatistiques, Gironde, Jurassique, krigeage, Miocène, nappes, Oligocène, piézométrie, Plio-Quaternaire.

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

**Corbier P., Pédron N. et Bourguin B avec la collaboration de Bourdonné R.** - Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde – Utilisation de méthodes géostatistiques pour la valorisation et la comparaison des données piézométriques. BRGM/RP-60146-FR, 65 p., 46 illustrations, 1 annexe.

© BRGM, 2011, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du Conseil Général de la Gironde et du BRGM.

## Synthèse

Le 7<sup>ième</sup> point du programme « Gestion des nappes de Gironde 2010 » (PSP10AQI 11, partenariat Conseil Général de la Gironde / BRGM) concernait l'utilisation de méthodes géostatistiques pour la valorisation et la comparaison de données piézométriques. Il se proposait d'approcher la variabilité des niveaux piézométriques au moyen d'outils développés dans le cadre de la Convention Régionale « Eaux souterraines » (module 2).

Dans le cadre du module 2, la méthode qui a été jugée la plus adaptée à la valorisation des données piézométriques est celle dite du « krigeage avec dérive externe ». Elle a été utilisée pour traiter les données piézométriques acquises lors de ces 35 dernières années (1975-2010) en Gironde.

Pour chaque aquifère étudié (Crétacé, Eocène, Oligocène et Miocène), la méthode a consisté à sélectionner les données, à les préparer, à les vérifier et à les traiter. Dans tous les cas, la dérive externe utilisée correspond à la piézométrie issue du modèle MONA de l'année n-2 (première année disponible : 1972).

Les résultats obtenus pour la nappe du Crétacé n'ont pas été jugés satisfaisants (données disponibles trop peu nombreuses). Pour cet aquifère, la référence restera donc la carte manuelle.

Pour l'Eocène, l'Oligocène et le Miocène, 5 cartes piézométriques relatives aux années 1975, 1985, 1995, 2005 et 2010 ainsi que 5 cartes représentant les indices de confiance (écart-type des valeurs interpolées) ont pu être obtenues.

Dans un premier temps, les cartes piézométriques et les cartes d'indice de confiance ont été comparées entre elles pour mettre en évidence d'éventuelles évolutions au fil du temps. Les cartes piézométriques ont ensuite été comparées aux cartes manuelles établies pour l'année 2009. Les volumes compris entre les différentes surfaces piézométriques ont enfin été calculés de façon à identifier les tendances d'évolution (amélioration ou dégradation) au travers des décennies.

De façon globale, on observe une amélioration de la fiabilité des cartes au fil du temps en lien direct avec le développement des réseaux (prise en compte d'un nombre d'observations de plus en plus important et rationalisation). Le travail qui a été réalisé a aussi permis de mettre en évidence des structures qui n'étaient pas prises en compte sur les cartes manuelles (dôme piézométrique à l'est de Sainte-Hélène par exemple).

Les tendances d'évolution sont, quant à elles, variables d'un aquifère à l'autre pour un même laps de temps car liées à des facteurs qui influencent plus ou moins les réservoirs (conditions météorologiques, prélèvements...).

A l'avenir, les cartes piézométriques du programme « Gestion des nappes de Gironde » seront tracées soit de façon semi-automatique selon la méthodologie décrite dans ce rapport, soit de façon manuelle en tenant compte des résultats obtenus.



## Sommaire

<b>1. Introduction.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Méthodologie utilisée .....</b>	<b>11</b>
2.1. SELECTION DES DONNEES .....	11
2.1.1. Données piézométriques.....	11
2.1.2. Points d'affleurement de la nappe.....	12
2.2. PREPARATION DES DONNEES .....	13
2.3. VERIFICATION DES DONNEES.....	15
2.3.1. Examen des moyennes des mesures piézométriques.....	15
2.3.2. Examen des points d'affleurement de la nappe .....	16
2.3.3. Examen de l'histogramme de répartition des résidus .....	16
2.3.4. Calcul du variogramme .....	18
2.3.5. Validation croisée .....	19
2.4. TRAITEMENT DES DONNEES.....	27
2.4.1. Données utilisées .....	27
2.4.2. Résultats obtenus.....	28
2.5. BILAN	33
<b>3. Nappe de l'Eocène.....</b>	<b>35</b>
<b>4. Nappe du Crétacé .....</b>	<b>45</b>
<b>5. Nappe de l'Oligocène .....</b>	<b>51</b>
<b>6. Nappe du Miocène .....</b>	<b>57</b>
<b>7. Conclusion .....</b>	<b>63</b>
<b>8. Bibliographie.....</b>	<b>65</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Tableau d'échantillonnage des données traitées .....	11
Illustration 2 : Structure des données mises en forme dans un tableau Excel.....	12
Illustration 3 : Carte des cours d'eau à l'affleurement de l'Eocène .....	13
Illustration 4 : Carte des points pris en compte pour établir la carte piézométrique 2010 de l'Eocène .....	15
Illustration 5 : Carte des données piézométriques et des points d'affleurement de l'année 2010 pour l'aquifère de l'Eocène .....	16
Illustration 6 : Histogramme des résidus de l'année 2010 (piézomètre d'Eymet pris en compte) .....	17
Illustration 7 : Histogramme des résidus de l'année 2010 (piézomètre d'Eymet exclu).....	17
Illustration 8 : Fenêtre de définition de l'ajustement du modèle de variogramme dans GDM.....	19
Illustration 9 : Variogramme du résidu de l'année 2010 (piézomètre d'Eymet exclu) .....	19
Illustration 10 : Principe de la validation croisée .....	20
Illustration 11 : Fenêtre de validation croisée dans GDM.....	22
Illustration 12 : Carte des erreurs réduites .....	23
Illustration 13 : Représentation des erreurs réduites en fonction des résidus .....	24
Illustration 14 : Histogramme après vérification .....	25
Illustration 15 : Variogramme après vérification .....	25
Illustration 16 : Validation croisée après vérification .....	26
Illustration 17 : Corrélation entre la piézométrie 2008 MONA et la piézométrie 2010 (piézomètre d'Eymet exclu) .....	27
Illustration 18 : Fenêtre de GDM indiquant les paramètres de l'interpolation et de calcul de variogramme.....	28
Illustration 19 : Carte piézométrique 2010 de la nappe de l'Eocène.....	29
Illustration 20 : Carte des indices de confiance.....	29
Illustration 21 : Carte de localisation des coupes .....	30
Illustration 22 : Coupe A1-A2.....	31
Illustration 23 : Coupe B1-B2.....	31
Illustration 24 : Coupe C1-C2 .....	32
Illustration 25 : Coupe D1-D2 .....	32
Illustration 26 : Extension des formations de l'Eocène en Aquitaine et codes des masses d'eau afférents.....	35
Illustration 27 : Carte piézométrique 2009 pour la nappe de l'Eocène inférieur à moyen.....	36
Illustration 28 : Carte piézométrique 2009 pour la nappe de l'Eocène inférieur à moyen (zoom sur l'agglomération bordelaise) .....	37

Illustration 29 : Volumes compris entre les surfaces piézométriques pour la nappe de l'Eocène inférieur à moyen.....	39
Illustration 30 : Cartes piézométriques et cartes d'indices de confiance issues du traitement géostatistique pour la nappe de l'Eocène et pour les années 1975, 1985 et 1995 .....	41
Illustration 31 : Cartes piézométriques et cartes d'indices de confiance issues du traitement géostatistique pour la nappe de l'Eocène et pour les années 2005 et 2010.....	42
Illustration 32 : Piézométrie de l'Eocène 2010, zoom sur la zone de l'estuaire de la Gironde.....	43
Illustration 33 : Extension des formations du Crétacé en Aquitaine et codes des masses d'eau afférents .....	45
Illustration 34 : Carte piézométrique 2009 pour la nappe du Crétacé terminal .....	46
Illustration 35 : Cartes piézométriques issues du traitement géostatistique pour la nappe du Crétacé et pour les années 2005 (haut) et 2010 (bas) .....	47
Illustration 36 : Carte piézométrique 2010 pour la nappe du Crétacé terminal .....	49
Illustration 37 : Extension des formations de l'Oligocène en Aquitaine et codes masses d'eau afférents .....	51
Illustration 38 : Carte piézométrique 2009 pour la nappe de l'Oligocène .....	52
Illustration 39 : Cartes piézométriques et cartes d'indices de confiance issues du traitement géostatistique pour la nappe de l'Oligocène et pour les années 1975, 1985 et 1995 .....	53
Illustration 40 : Cartes piézométriques et cartes d'indices de confiance issues du traitement géostatistique pour la nappe de l'Oligocène et pour les années 2005 et 2010.....	54
Illustration 41: Volumes compris entre les surfaces piézométriques pour la nappe de l'Oligocène .....	56
Illustration 42 : Extension des formations du Miocène en Aquitaine et codes masses d'eau afférents .....	57
Illustration 43 : Carte piézométrique 2009 pour la nappe de l'Aquitainien .....	58
Illustration 44 : Cartes piézométriques et cartes d'indices de confiance issues du traitement géostatistique pour la nappe du Miocène et pour les années 1975, 1985 et 1995 .....	59
Illustration 45 : Cartes piézométriques et cartes d'indices de confiance issues du traitement géostatistique pour la nappe du Miocène et pour les années 2005 et 2010 .....	60
Illustration 46 : Volumes compris entre les surfaces piézométriques pour la nappe du Miocène.....	62

## Liste des annexes

Annexe 1 : Vérification des données .....	67
---	----



# 1. Introduction

Le 7<sup>ième</sup> point du devis estimatif du programme « Gestion des nappes de Gironde 2010 » (PSP10AQI 11, partenariat Conseil Général de la Gironde / BRGM) concernait l'utilisation de méthodes géostatistiques pour la valorisation et la comparaison de données piézométriques.

Il proposait d'approcher la variabilité des niveaux piézométriques en Gironde au moyen d'outils développés dans le cadre de la Convention Régionale « Eaux souterraines » (module 2) et devait comporter le recueil, la sélection et le traitement géostatistique des données piézométriques disponibles pour les différents aquifères sur la période 1958-2009 en vue de la comparaison d'au moins 5 états piézométriques (1 tous les 10 ans).

Sur la période 2010/début 2011 (année 1 d'investigation), le module 2 a consisté :

- à réaliser une analyse bibliographique des derniers travaux basés sur les méthodes géostatistiques, à analyser les succès ou les échecs et à en tirer les enseignements nécessaires pour les travaux à venir ;
- à appliquer des méthodes « standard » (krigeage direct des niveaux piézométriques, krigeage avec dérive externe, krigeage avec dérive polynomiale) sur des cas réels (nappe captive de l'Eocène Bordelais et nappe libre du Turonien en Dordogne) afin de bien mettre en évidence leur applicabilité et leurs limites d'utilisation en fonction du contexte hydrogéologique ;
- à rédiger un rapport de synthèse détaillant les techniques à mettre en oeuvre pour répondre aux objectifs, les données ou paramètres nécessaires pour pouvoir les appliquer, les conditions et précautions d'utilisation ainsi que les résultats obtenus sur 2 aquifères de la région Aquitaine (cf. rapport BRGM RP-60153-FR).

A partir de septembre 2011 (année 2 d'investigation), les travaux du module 2 se focaliseront sur l'application de nouvelles méthodes spécifiques (krigeage sous contrainte ou cokrigeage des différences, krigeage avec données de gradient) pour les cas non standards ou non traités par les logiciels géostatistiques actuels.

Une réflexion sera aussi menée pour une diffusion la plus large possible des méthodes testées et mises en oeuvre. Les cartes et indicateurs produits pour les aquifères retenus comme exemples dans le module seront par exemple mis à disposition dans le SIGES Aquitaine.

Dans le cadre du présent rapport (projet « Gestion des nappes de Gironde 2010 »), les résultats sont présentés nappe par nappe après une description de la méthodologie utilisée.



## 2. Méthodologie utilisée

A l'issue des travaux menés en 2010-2011 dans le cadre du module 2, la méthode choisie pour traiter les données de Gironde est celle dite du « krigeage avec dérive externe », cette dernière étant représentée par la piézométrie issue du modèle nord-aquitain (MONA). Pour plus de détails, on pourra se référer au rapport BRGM/RP-60153-FR.

La méthode se décompose en 4 étapes : la sélection des données (1), leur préparation (2), leur vérification (3) et leur traitement (4). Ces étapes vont être décrites dans les paragraphes suivants.

### 2.1. SELECTION DES DONNEES

Les données nécessaires à la réalisation des cartes piézométriques sont les données piézométriques et les points d'affleurement de la nappe (sources ou réseau hydrographique superficiel).

#### 2.1.1. Données piézométriques

La BSS (base de données du sous-sol) recense tous les ouvrages souterrains déclarés au titre du code minier et permet d'accéder aux caractéristiques des ouvrages (coordonnées géographiques, profondeur, usage, nappe captée,...) ainsi qu'aux données piézométriques relatives à ces points d'eau.

L'objectif a été d'identifier les ouvrages présentant des données piézométriques sur le dernier trimestre de l'année pour la période 1972\* à 2010 sur le département de la Gironde (objet de l'étude) et sur les départements limitrophes (points supplémentaires dont certains seront utilisés pour contraindre les modèles) (1 726 ouvrages identifiés dans les 4 départements dont 1 380 en Gironde). Au final, cette étape a permis de sélectionner 58 736 données piézométriques en Gironde (illustration 1).

Département	Nombre d'ouvrages en BSS	Nombre de données piézométriques en BSS	Nombre d'ouvrages retenus	Nombre de données piézométriques retenues
33	1 599	221 962	1 380	58 736
24	203	50 509	147	14 389
47	89	503 91	84	11 580
40	327	214 96	115	5 576
Total	2 218	344 358	1 726	90 281

Illustration 1 : Tableau d'échantillonnage des données traitées

\* : 1972 correspond à la première carte piézométrique générée par le modèle MONA (Modèle Nord Aquitain)

Une fois extraites, les données ont fait l'objet d'un premier traitement qui a permis de calculer pour le dernier trimestre de chaque année (illustration 2) :

- le nombre de mesures prises en compte,
- la moyenne des mesures piézométriques,
- le minimum des mesures piézométriques observé,
- le maximum des mesures piézométriques observé.

Trois colonnes relatives à la stratigraphie, à la stratigraphie simplifiée et au type de point (département concerné + nature du point) ont été rajoutées au tableau.

Numéro BSS	X L2E	Y L2E	Année 1 (1972)				...				Année 38 (2010)				Strati	Strati simplifiée	Type
			Nbre de mes.	Moy	Max	Min	...	...	...	...	Nbre de mes.	Moy	Max	Min			
...	X1	Y1	Nb 1	Moy 1	Max 1	Min 1	...	...	...	...	Nb 38	Moy 38	Max 38	Min 38	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	Xn	Yn	Nb n	Moy n	Max n	Min n	...	...	...	...	Nb nn	Moy nn	Max nn	Min nn	...	...	...

Illustration 2 : Structure des données mises en forme dans un tableau Excel

### 2.1.2. Points d'affleurement de la nappe

Pour chaque aquifère traité, il a été considéré que les cours d'eau situés dans la partie affleurante de la formation représentaient les affleurements de la nappe.

La sélection des tronçons répondant à ce critère a été opérée au moyen de la BD LISA (extension des aquifères, version en cours de développement) et de la BD Carthage (cartographie des cours d'eau) (illustration 3).

A l'issue de cette sélection, les tronçons ont été discrétisés (transformation des tracés continus en séries de points distants de 2 km dans le cas de la présente étude).

Ces points considérés comme des affleurements de la nappe permettront de contraindre, de la même façon que les points situés à l'extérieur du département, les modèles.

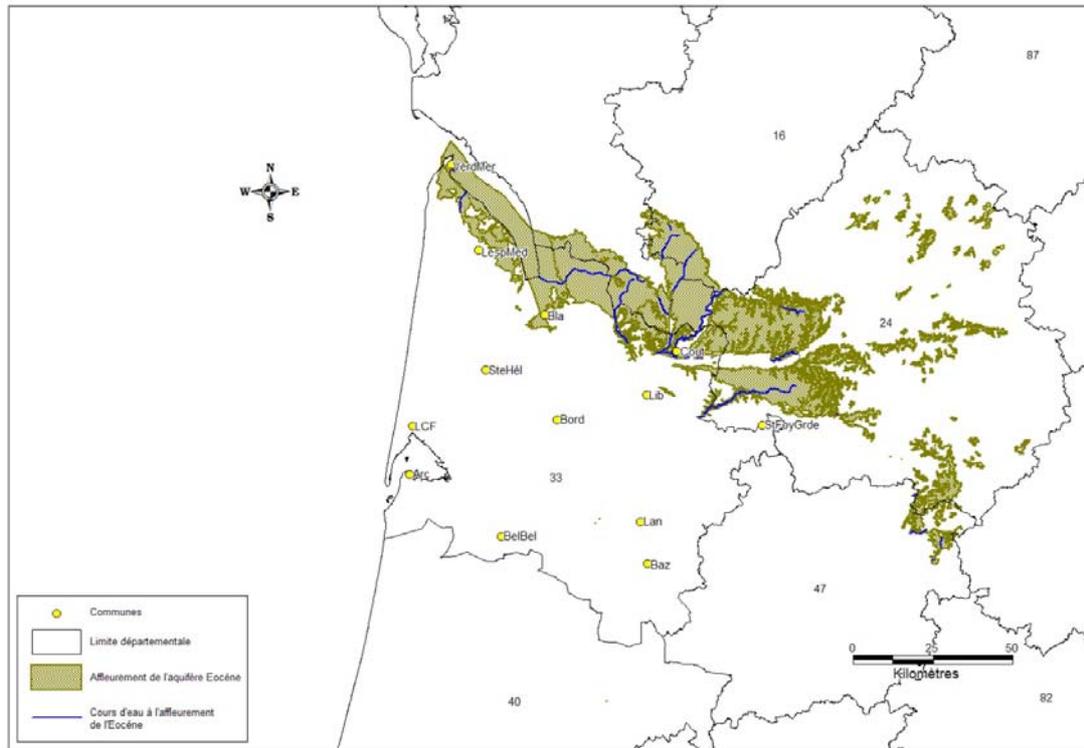


Illustration 3 : Carte des cours d'eau à l'affleurement de l'Eocène

## 2.2. PREPARATION DES DONNEES

Le fichier Excel initialement préparé a été mis en lien avec une base Access lisible par le logiciel BRGM GDM (**G**eological **D**ata **M**anagement). Ainsi, lorsqu'une donnée est corrigée dans Excel, elle l'est automatiquement dans GDM.

Les points d'affleurement des nappes ont aussi été importés dans GDM par l'intermédiaire d'un outil d'échange avec MapInfo.

Un programme a ensuite été développé pour structurer les données avant la phase d'interpolation. Ce programme comporte 3 étapes successives :

### 1) Traitement des moyennes des mesures piézométriques

La méthode d'interpolation utilisée (krigeage avec dérive externe) se base sur les corrélations entre la cote piézométrique  $P_n$  mesurée à l'année  $n$  et la cote piézométrique  $M_k$  (dérive « externe ») calculée par MONA à l'année  $k=n-2$ .

Ce décalage de deux ans correspond au laps de temps nécessaire à la récupération des données de prélèvements et de recharge et à la mise à jour du modèle MONA. En d'autres termes, au moment où l'on mesure la cote piézométrique  $P_n$ , la dernière carte piézométrique disponible calculée par le MONA est celle de l'année  $n-2$ .

Pour réaliser l'interpolation, on doit étudier le résidu  $R_n$  correspondant à la différence entre la cote piézométrique mesurée à l'année  $n$  et la cote piézométrique  $M_k$  avec  $R_n = P_n - M_k$ .

Le programme créé permet de valoriser automatiquement les colonnes  $P_n$ ,  $M_k$  et  $R_n$  pour chaque piézomètre et toutes les années. Une colonne supplémentaire permet de préciser l'altitude du MNT  $Z_{sol}$  (au pas de 50 m) au droit du piézomètre.

## 2) Traitement des points d'affleurement de la nappe

Un traitement similaire a été appliqué aux points discrétisés qui représentent les cours d'eau mais aussi les affleurements de la nappe.

Comme pour les piézomètres, des valeurs de  $P_n$ ,  $M_k$ ,  $R_n$  et  $Z_{sol}$  ont été associées à chacun des points pour chaque année.

Un traitement spécifique a été appliqué aux points d'affleurement situés en dehors de la zone où le modèle MONA est disponible : pour ces points, on a considéré que la cote piézométrique MONA était égale à la cote topographique et par conséquent que le résidu valait 0.

## 3) Concaténation des deux tables

Les tables des moyennes des mesures piézométriques et des points d'affleurement ont été concaténées dans un nouveau fichier dont le nom est formé des noms des deux tables + du nom de l'aquifère (exemple « piézomètres + affleurement - Eocène »).

En fin de traitement on dispose donc de 3 tables de même structure :

- Piézomètres,
- Points d'affleurement,
- Piézomètres + points d'affleurement.

Ces trois tables peuvent être utilisées pour différentes opérations (contrôle des piézomètres seuls, contrôle des points d'affleurement seuls, interpolation finale prenant en compte l'ensemble des données, ...).

## 2.3. VERIFICATION DES DONNEES

Les vérifications ont été réalisées en 5 étapes avec le programme Geostat2D développé par le BRGM. C'est l'aquifère de l'Eocène qui a été pris comme exemple dans les paragraphes suivants.

### 2.3.1. Examen des moyennes des mesures piézométriques

La représentation des points pris en compte pour établir chaque carte (illustration 4) permet d'identifier les secteurs où l'information sera fiable et les zones où les résultats seront plus incertains.

Pour l'Eocène en 2010, la densité est importante dans la zone centre mais beaucoup plus faible au sud par exemple, d'où l'intérêt de tenir compte des données situées en dehors du département.

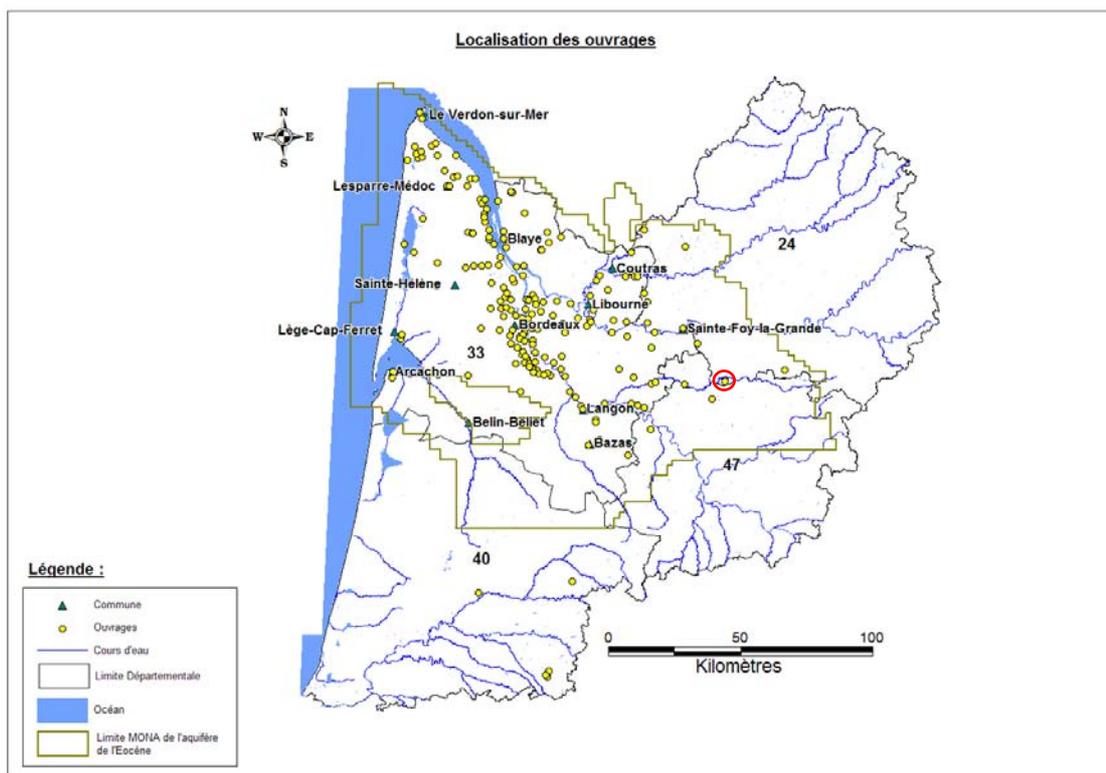


Illustration 4 : Carte des points pris en compte pour établir la carte piézométrique 2010 de l'Eocène (forage cerclé de rouge = forage d'Eymet)

### 2.3.2. Examen des points d'affleurement de la nappe

L'intégration des points d'affleurement de la nappe (illustration 5) permet d'obtenir une meilleure définition des isopièzes au voisinage des zones d'affleurements.

Dans le cas de l'Eocène, ils sont nombreux au nord-est du département, ce qui permettra de bien contraindre le modèle dans cette zone.

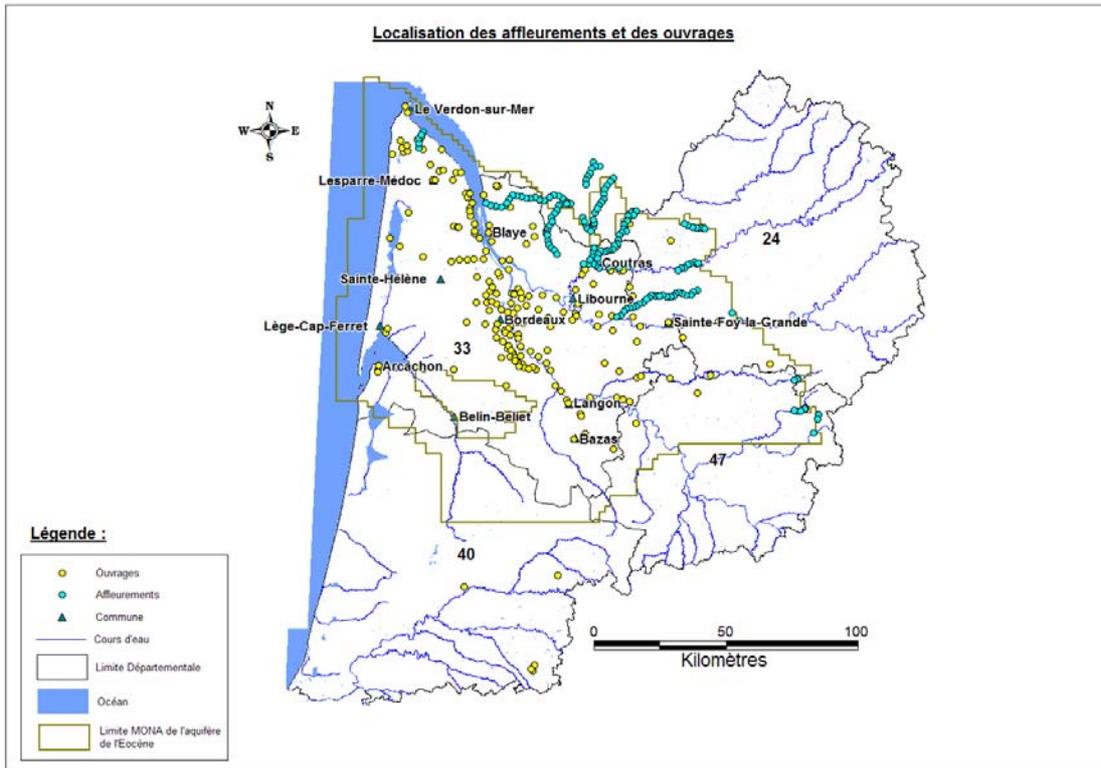


Illustration 5 : Carte des données piézométriques et des points d'affleurement de l'année 2010 pour l'aquifère de l'Eocène

### 2.3.3. Examen de l'histogramme de répartition des résidus

L'illustration 6 représente la répartition des résidus sous forme d'histogramme pour les données relatives à l'Eocène et l'année 2010.

La plupart des résidus sont compris entre -15 m et 15 m. Une seule valeur se démarque nettement avec un résidu compris entre 60 et 65 m. Elle est relative au forage d'Eymet cerclé de rouge sur l'illustration 4.

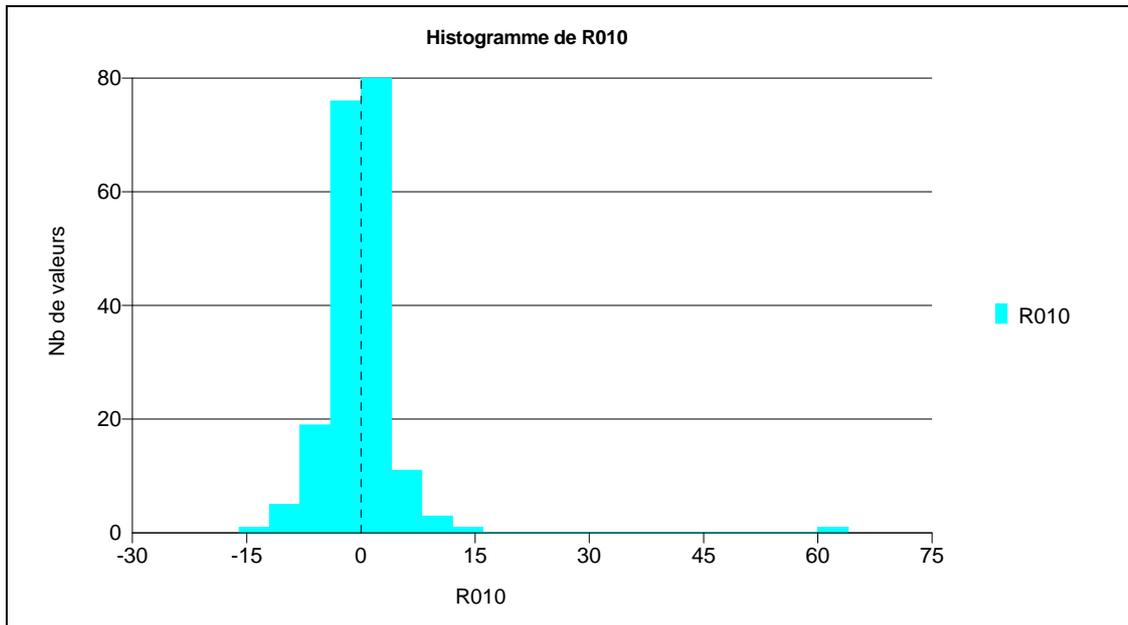


Illustration 6 : Histogramme des résidus de l'année 2010 (piézomètre d'Eymet pris en compte)

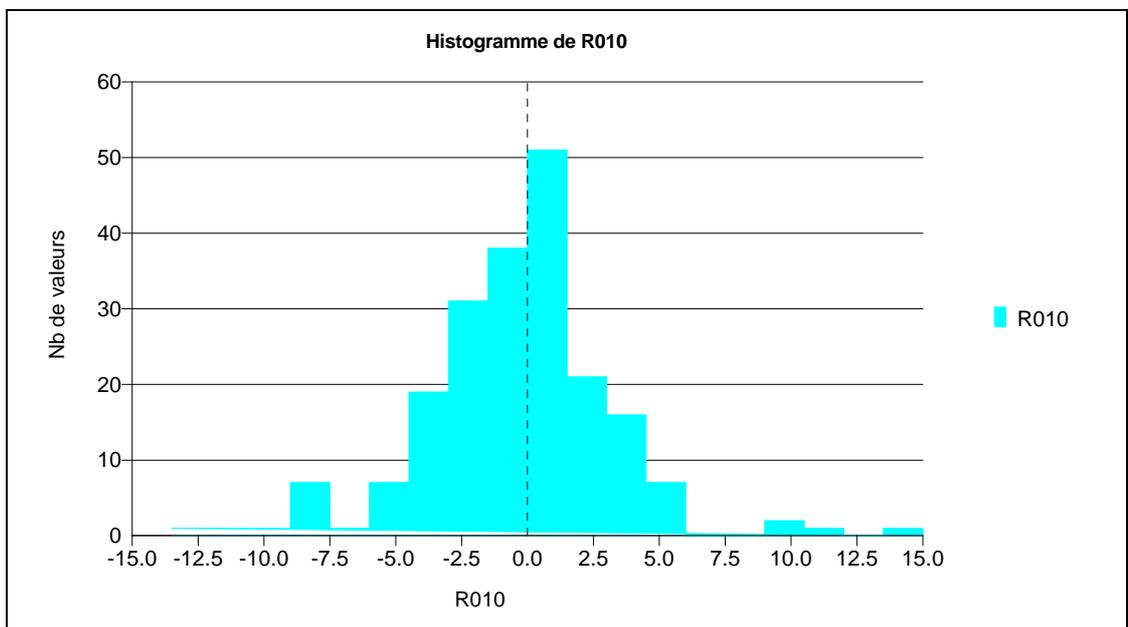


Illustration 7 : Histogramme des résidus de l'année 2010 (piézomètre d'Eymet exclu)

Sur cet ouvrage qui est utilisé depuis plusieurs années pour tracer les cartes piézométriques, on observe une certaine stabilité avec une cote moyenne de 76,11 m sur la période 1995-2010 et de 75,32 m en 2010.

Des doutes existent toutefois quant à sa représentativité : il s'agit en effet d'un forage captant des niveaux éocènes probablement intra-molassiques et ayant subi un problème technique (tubage peut-être "collapsé").

Ce point sera gardé pour l'interpolation mais il ne sera pas pris en compte ni pour le calcul du variogramme ni pour la validation croisée.

Il est enfin à noter que le nombre maximal de valeurs est plus important sur l'illustration 6 (80) que sur la figure 7 (51) qui ne tient pas compte du piézomètre d'Eymet en raison de classes plus petites.

#### **2.3.4. Calcul du variogramme**

Le variogramme permet d'évaluer la corrélation des observations en fonction de la distance qui sépare les points d'observation.

Un premier variogramme est calculé pour les résidus afin d'identifier d'éventuelles incohérences entre les données.

Une fois les points aberrants identifiés puis corrigés ou éliminés, un second variogramme est calculé pour détecter les erreurs résiduelles. Le processus peut être réitéré plusieurs fois mais en général, une ou deux itérations suffisent à éliminer la plupart des erreurs.

Dans le cas des données piézométriques, l'effet de pépité (qui traduit une discontinuité entre points de mesures très proches) doit être théoriquement faible en raison de la continuité des écoulements. La portée correspond à la distance à partir de laquelle le variogramme se stabilise autour d'une valeur moyenne (ou "oscille" de part et d'autre de cette valeur qui correspond à la variance des observations).

Les illustrations 8 et 9 représentent la fenêtre de définition du modèle de variogramme dans GDM (ajustement du modèle sur les données calculées) et le résultat obtenu pour 2010 pour la nappe de l'Eocène. Le résultat est peu satisfaisant du fait de la présence d'un effet de pépité important. Les données vont donc devoir être corrigées (cf. paragraphe suivant).

**Variogram model definition**

Effet de pépite :

Composantes du modèle

N°	Type de modèle	Palier (ou exposant du modèle puissance)	Portée / Facteur d'échelle (direction PSI)	Type d'anisotropie	Direction d'anisotropie (PSI)	Portée / Facteur d'échelle (direction PSI+90)	Exposant
1	Sphérique	6	38000	Isotrope			
2	<Aucun>			Isotrope			
3	<Aucun>			Isotrope			
4	<Aucun>			Isotrope			

Fichier modèle chargé :       Modèle :

OK  
Annuler  
Visualiser modèle...  
Charger modèle...  
Enregistrer modèle...  
Supprimer modèle...

Illustration 8 : Fenêtre de définition de l'ajustement du modèle de variogramme dans GDM

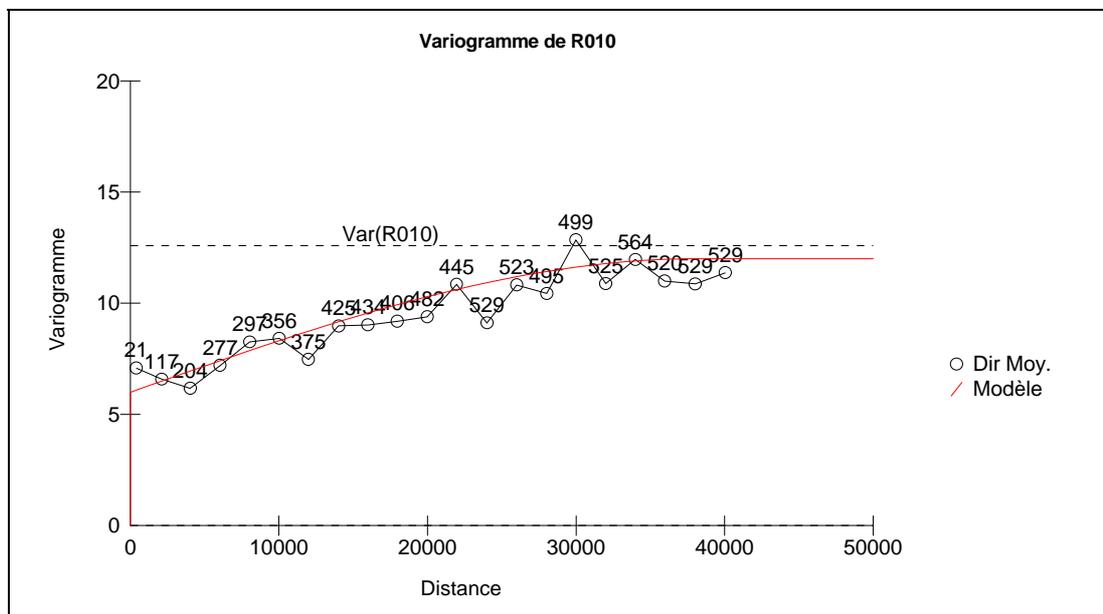


Illustration 9 : Variogramme du résidu de l'année 2010 (piézomètre d'Eymet exclu)

### 2.3.5. Validation croisée

La validation croisée consiste, pour chaque point de donnée, à l'enlever temporairement et à ré-estimer sa valeur à partir des données voisines. La différence entre la valeur vraie et la valeur ré-estimée peut alors être calculée et analysée. Cette différence (erreur d'estimation) peut également être comparée à l'écart-type d'estimation fourni par le krigeage. En effet, il est admis que le rapport entre ces deux valeurs, appelé « erreur réduite », se rapproche d'une distribution gaussienne de moyenne nulle et de variance 1.

L'analyse de la distribution des erreurs réduites permet de vérifier si le modèle géostatistique est cohérent, en particulier :

- Si les estimations sont non biaisées (moyenne des erreurs réduites = 0)
- Si l'amplitude des erreurs est bien évaluée (écart-type des erreurs réduites se rapprochant de 1)

De façon générale, les points ayant un écart-type réduit fort (en valeur absolue) sont ceux pour lesquels l'estimation (ou plutôt la ré-estimation à partir des points voisins) ne donne pas de bons résultats. Cette mauvaise réestimation peut être liée à différentes causes :

- point atypique par rapport aux points voisins
- variabilité locale du phénomène différente de la variabilité globale
- erreur dans les coordonnées du point ou erreur de mesure

Dans tous les cas il convient de vérifier le point et au besoin le corriger ou l'éliminer en cas d'erreur. Le principe de la validation croisée est illustré sur l'illustration suivante.

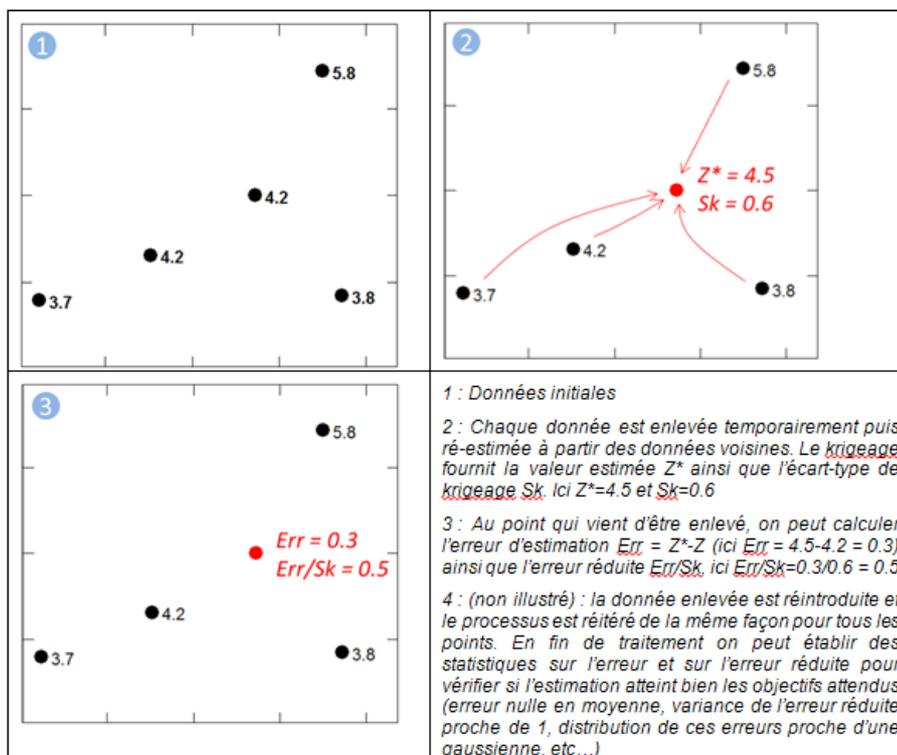


Illustration 10 : Principe de la validation croisée

Du fait qu'elles se rapprochent d'une distribution gaussienne, les erreurs réduites doivent présenter :

- une moyenne qui tend vers 0,
- un écart-type SIGMA proche de 1 (idéalement compris entre 0,7 et 1,3),
- très peu de (voir aucune) valeurs extrêmes (supérieures à 5 en valeur absolue),
- un nombre de données « non robustes » (écart réduit en valeur absolue supérieur à 2,5) limité à un faible pourcentage du nombre de données (idéalement 1% à 2% des données et 5% au maximum).

Le traitement des données piézométriques 2010 relatives à l'Eocène a mis en évidence un écart-type supérieur à 1,3, des valeurs extrêmes supérieures à 5 et un nombre de données « non robustes » supérieur à 5% (illustration 11).

Une nouvelle correction des données a donc été nécessaire. Pour ce faire, une carte des erreurs réduites a été établie de façon à repérer les valeurs situées en dehors de l'intervalle [-2,5 ; 2,5]. Elles sont représentées sur l'illustration 12 par des ronds rouges pour les valeurs positives et par des ronds bleus pour les valeurs négatives.

Pour mieux mettre en évidence les données à vérifier, un diagramme représentant les erreurs réduites en fonction des résidus (illustration 13) a aussi été établi.

Tous les points situés au-dessus et en-dessous des seuils ont été vérifiés au cas par cas. La vérification a porté sur :

- la comparaison des moyennes piézométriques relatives à chaque année,
- l'appréciation des mesures piézométriques de l'année étudiée,
- la comparaison entre les données du modèle MONA et les données douteuses pour l'année considérée,
- la comparaison des erreurs réduites pour des points proches.

Dans certains cas, la vérification a aussi porté sur les coordonnées des ouvrages (altitude Z en particulier) et sur les coupes géologiques disponibles en BSS pour que l'aquifère capté soit bien validé.

**Résultats de la validation croisée pour la variable : R010**

Résultats statistiques

	NB	MIN	MAX	MOY	SIGMA
Erreur brute	200	-18,36	11,41	0,04	3,16
Erreur réduite	200	-12,36	9,29	0,04	2,18

Coeff. de corrélation ( $Z^*$ ,  $Z$ ) : 0,479  
Coeff. de corrélation ( $Z^*$ , ERR) : 0,056  
Coeff. de corrélation ( $Z^*$ , ERED) : 0,032

Nb de données non robustes : 35 avec un seuil de : 2,500

Nb de données non estimées : 5

Résultats graphiques

Taille symbole = f (Erreur brute)

Taille symbole = f (Erreur réduite)

Variable à reporter sur les cartes d'erreur

Aucune  Valeur exacte  Valeur exacte + valeur estimée  Erreur d'estimation

Après visualisation des graphiques:  pouvoir les conserver  les détruire

Illustration 11 : Fenêtre de validation croisée dans GDM

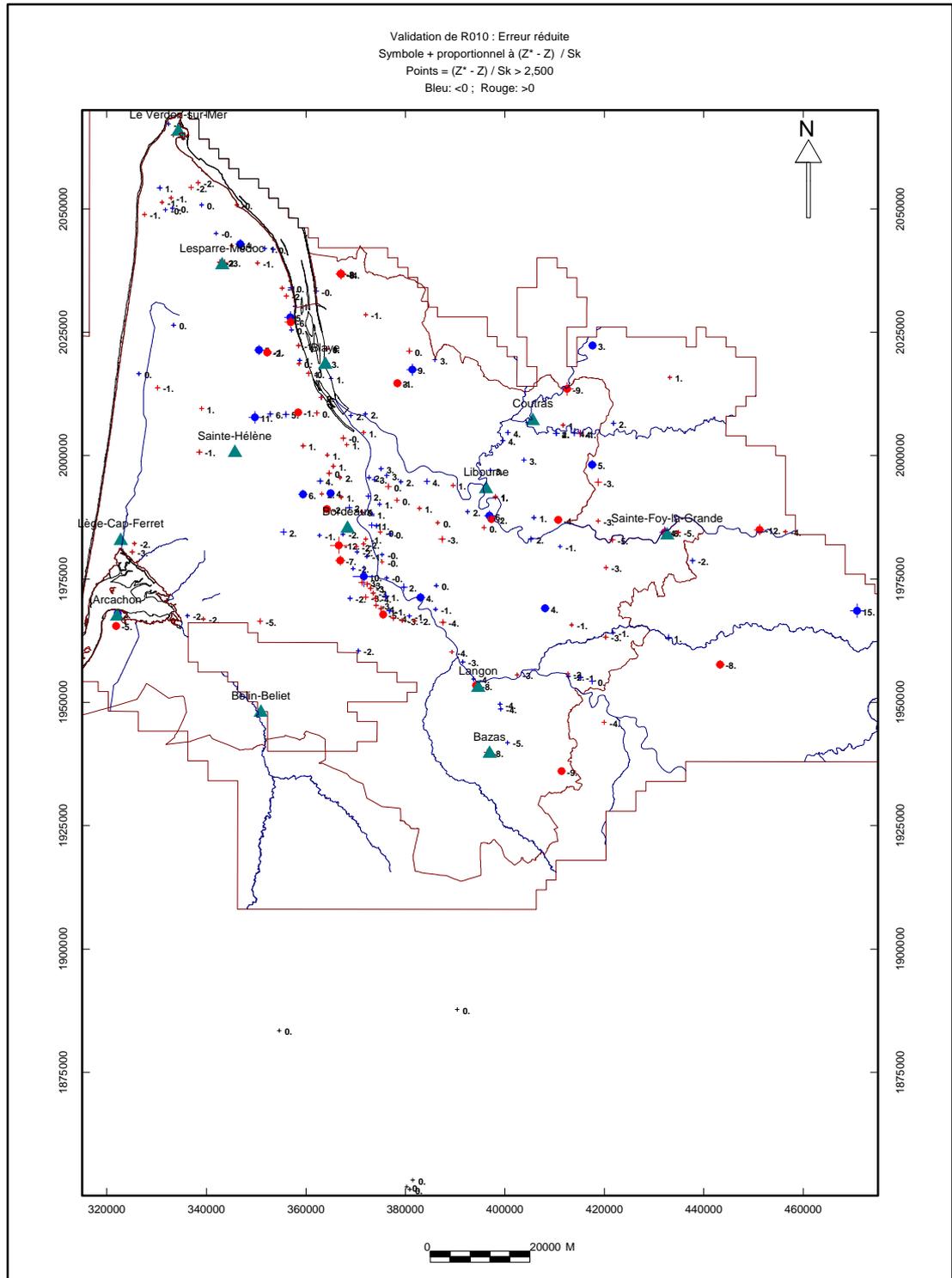


Illustration 12 : Carte des erreurs réduites

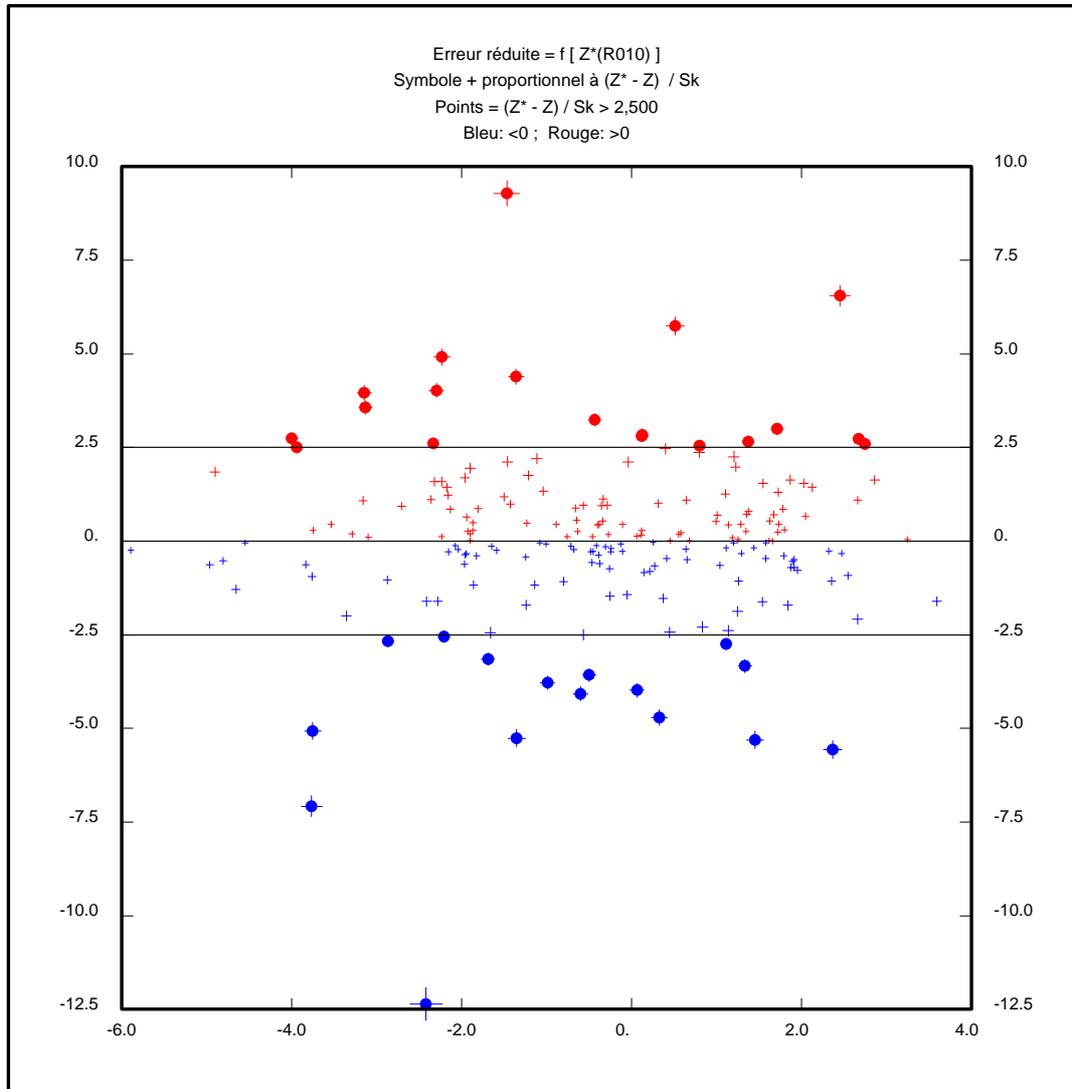


Illustration 13 : Représentation des erreurs réduites en fonction des résidus

Une fois les données douteuses corrigées ou écartées (cf. Annexe 1), toutes les étapes, à partir de la préparation des données, ont été refaites.

Un nouvel histogramme de répartition des résidus ainsi qu'un nouveau modèle de variogramme (toujours en excluant l'ouvrage d'Eymet) ont été réalisés (illustrations 14 et 15).

La dispersion des résidus est nettement moins importante que lors du premier traitement (illustrations 6 et 7). Le nouveau variogramme traduit, quant à lui, une meilleure continuité du résidu (effet de pépite plus faible).

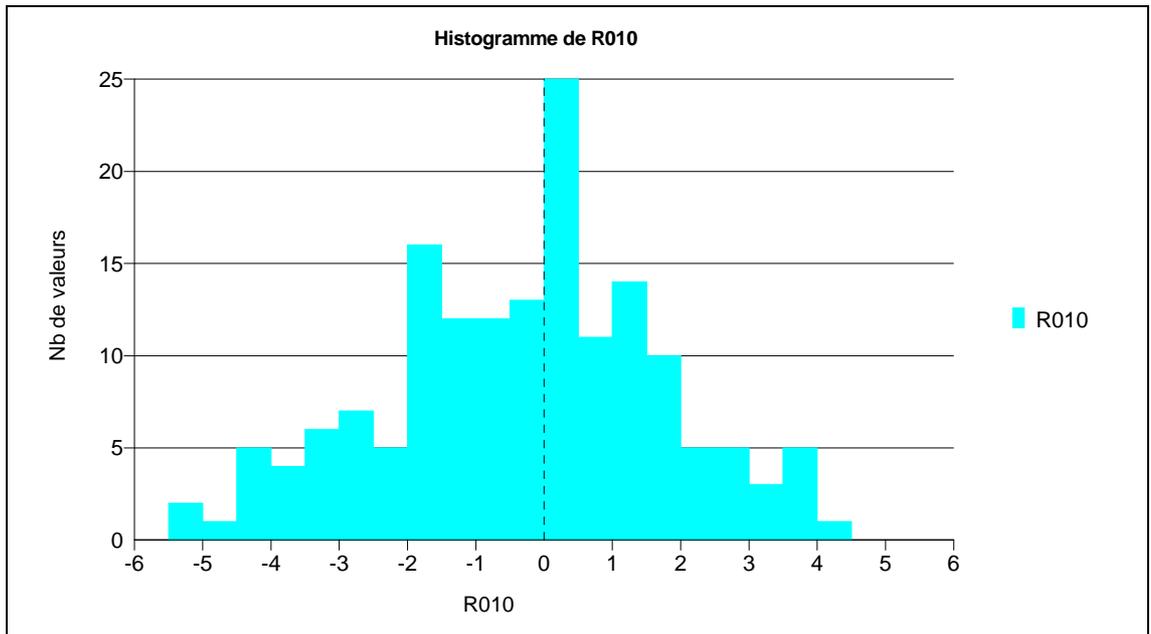


Illustration 14 : Histogramme après vérification

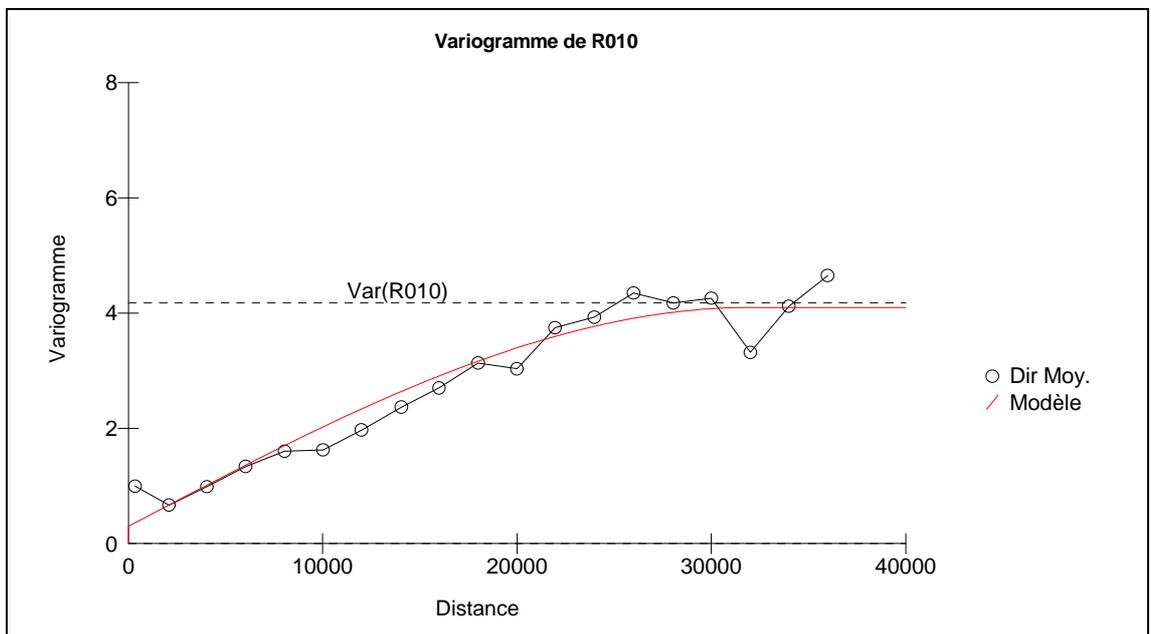


Illustration 15 : Variogramme après vérification

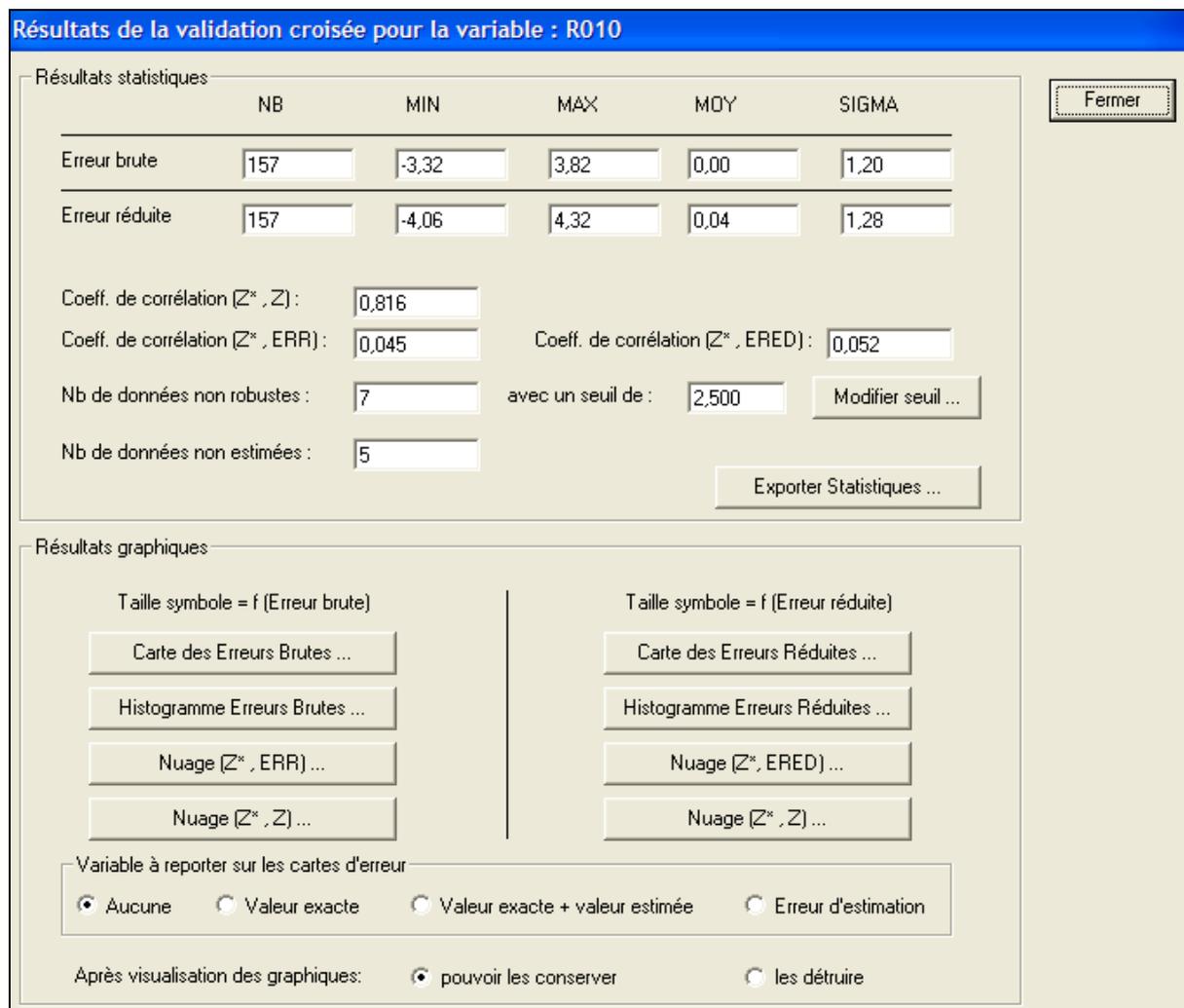


Illustration 16 : Validation croisée après vérification

La mise en œuvre d'une nouvelle phase de validation croisée (illustration 16) a permis d'obtenir de meilleurs résultats que ceux obtenus initialement (illustration 11). On note en effet que les écart-types des erreurs brutes et réduites sont nettement inférieurs à ceux calculés initialement, que le coefficient de corrélation (0.816) est bien meilleur que celui calculé lors de la première phase (0.479) et que le nombre de données "non robustes" est plus faible (7 contre 35).

Enfin, la réalisation d'un diagramme "piézométrie MONA 2008 = f (piézométrie 2010)" a permis de mettre en évidence une bonne corrélation entre les variables (coefficient de détermination  $R^2 = 0.99$ ) (illustration 17).

La relation quasi linéaire qui existe entre ces deux variables justifie d'ailleurs pleinement l'utilisation de la méthode dite du « krigeage avec dérive externe ».

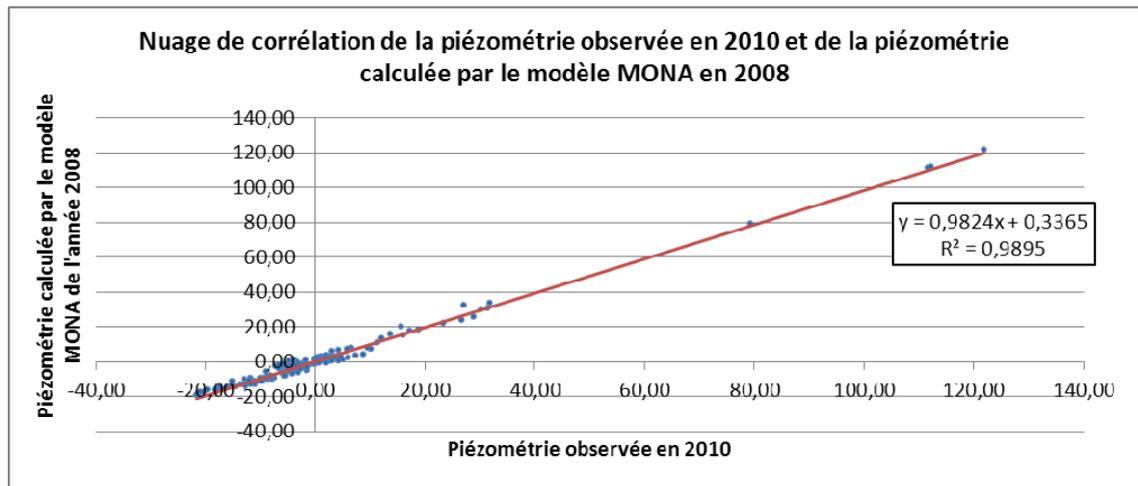


Illustration 17 : Corrélation entre la piézométrie 2008 MONA et la piézométrie 2010 (piézomètre d'Eymet exclu)

## 2.4. TRAITEMENT DES DONNEES

Après une description des données prises en compte pour l'interpolation, les résultats obtenus pour la nappe de l'Eocène en 2010 vont être présentés et commentés.

### 2.4.1. Données utilisées

Pour la carte piézométrique 2010 de la nappe de l'Eocène, les données prises en compte sont :

- les moyennes des cotes piézométriques sur le dernier trimestre 2010,
- les données relatives au piézomètre d'Eymet sur la même période,
- la dérive externe (piézométrie) issue du Modèle Nord Aquitain (MONA) relative à l'année 2008,
- les cotes topographiques des points d'affleurement de la nappe (tracé des cours d'eau discrétisés),
- le modèle de variogramme établi pour le résidu (différence entre la cote piézométrique et la dérive externe MONA).

L'interpolation a été réalisée par krigeage au moyen du logiciel GDM après avoir fixé un certain nombre de paramètres comme le modèle de variogramme, le voisinage d'interpolation, la taille des mailles de la grille, les limites géographiques du domaine où la variable doit être interpolée...(illustration 18).

**Paramètres de calcul Geostat 2D**

Projet GDM, source de données, variable

Paramètres Geostat 2D : D:\Travail\Carto\_GN33\F\_Eocene\GDM\Residu010\_Piezo\_Corriger\_ite3b.Geo  
 Projet GDM : D:\Travail\Carto\_GN33\F\_Eocene\GDM\Eocene.GDM  
 Source de données : (B2d) Donnee\_Piezo\_Eoc010\_ite3+Affleurement\_COURS\_DEAU\_CLASSE\_1\_  
 Variable: P010 Niveau: Base

Calcul du variogramme

Pas : 2000 Nb : 18 Saut : 1  
 Dérive : 0  
 Direction : Direction principale: 0  
 Nb de dir. : 4  
 Tolérance : 22,5

Méthode d'interpolation

Méthode : Krigeage avec modèle géostatistique  
 Modèle de variogramme : Residu010\_Piezo\_Corriger\_it  
 Fichier : D:\Travail\Carto\_GN33\F\_Eocene\GDM\Residu010\_Pie  
 Dérive dépendant des coordonnées : aucune  
 Imposer des poids positifs : Non  
 Dérive externe : MONA\_EOCENE\_LE2\_MARC  
 Composantes : M008

Paramètres Grille

	X	Y
Origine	306000	1908000
Nb Pix.	92	85
DX, DY	2000	2000
Discr.	1	1
Angle /Nord :	0	
Ecrire dans :	Ecrire dans grille à créer	

Options d'interpolation

Variables supplémentaires : Nb pondérateurs : NP\_P010  
 Ecart-type krigeage : SK\_P010  
 Terme Lognormal : /  
 Surf. estimée : /

Limites domaine à interpoler :

Indicatrice : MONA\_EOCENE\_LE2\_MARC  
 Variable indicatrice : M972  
 Min/Max : -15,02586 ; 174,962

Failles : /

Voisinage

Taille : Rectangle  
 Taille max en X \* Y : 120000 x 120000  
 Nb Points Présélectionnés / Maxi : 400 / 50  
 Distance de fusion : 100  
 Grille de rangement : Taille de la maille : Calcul par GDM  
 Coord. d'un noeud : Calcul par GDM

Illustration 18 : Fenêtre de GDM indiquant les paramètres de l'interpolation et de calcul de variogramme

## 2.4.2. Résultats obtenus

L'illustration 19 représente les résultats obtenus ainsi que la localisation des piézomètres pris en compte.

L'illustration 20 représente, quant à elle, l'indice de confiance (basé sur l'écart-type) associé à l'interpolation. Les zones bleues représentent les secteurs où l'interpolation est jugée fiable du fait de la bonne densité de points pris en compte. Ensuite, plus la couleur tend vers le rouge, moins l'interpolation est fiable.

Il apparaît ainsi qu'en Gironde, seule la limite sud du département correspond à une zone où l'interpolation est jugée moyennement fiable (couleur verte). Sur le reste du territoire, on observe une prédominance de la couleur bleue indiquant une meilleure fiabilité.

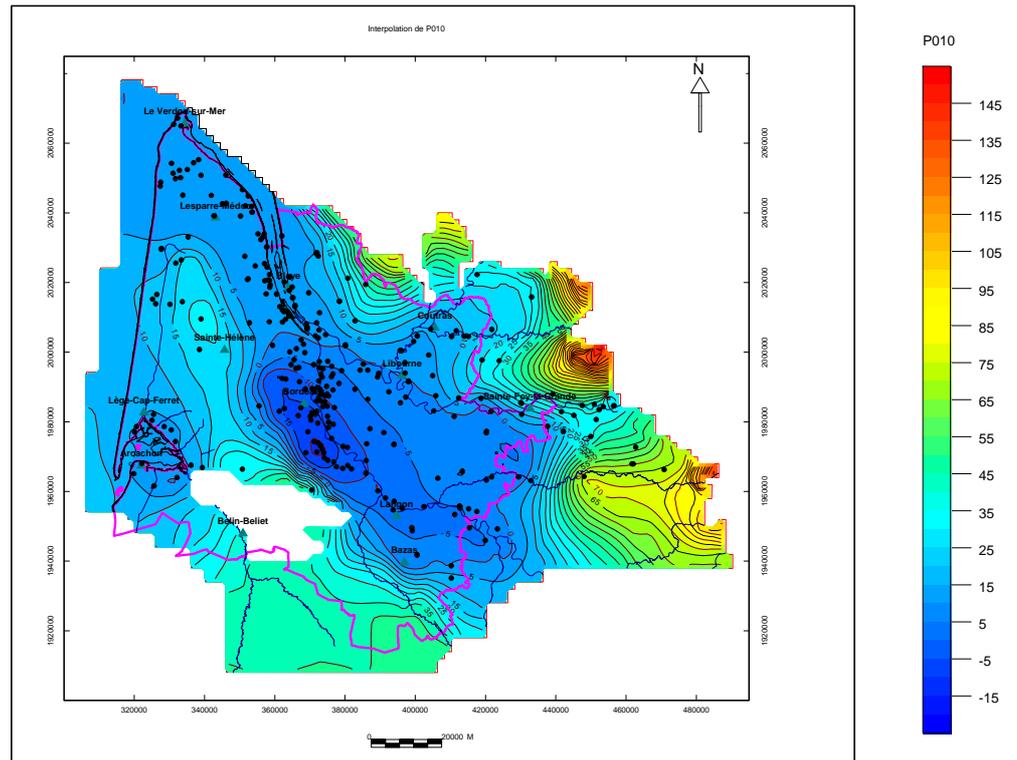


Illustration 19 : Carte piézométrique 2010 de la nappe de l'Eocène

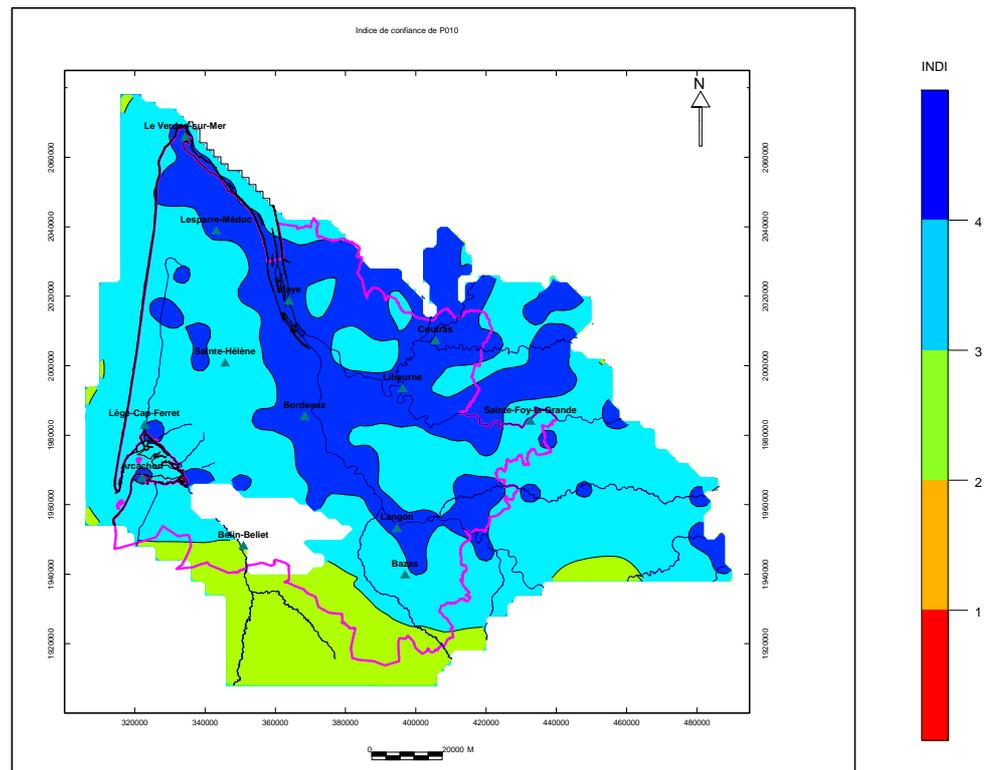


Illustration 20 : Carte des indices de confiance

Une série de coupes a ensuite été réalisée de façon à comparer les niveaux piézométriques issus du MONA à ceux issus de l'approche géostatistique. Leur tracé est représenté sur l'illustration 21.

Dans chaque cas, la courbe noire représente la cote topographique, la courbe bleue, le niveau piézométrique calculé par la méthode géostatistique et la courbe rouge, le niveau piézométrique calculé par le modèle MONA. Les points bleu marine représentent les cotes mesurées en 2010 et les points de couleur noire, l'emplacement des ouvrages sur le profil topographique.

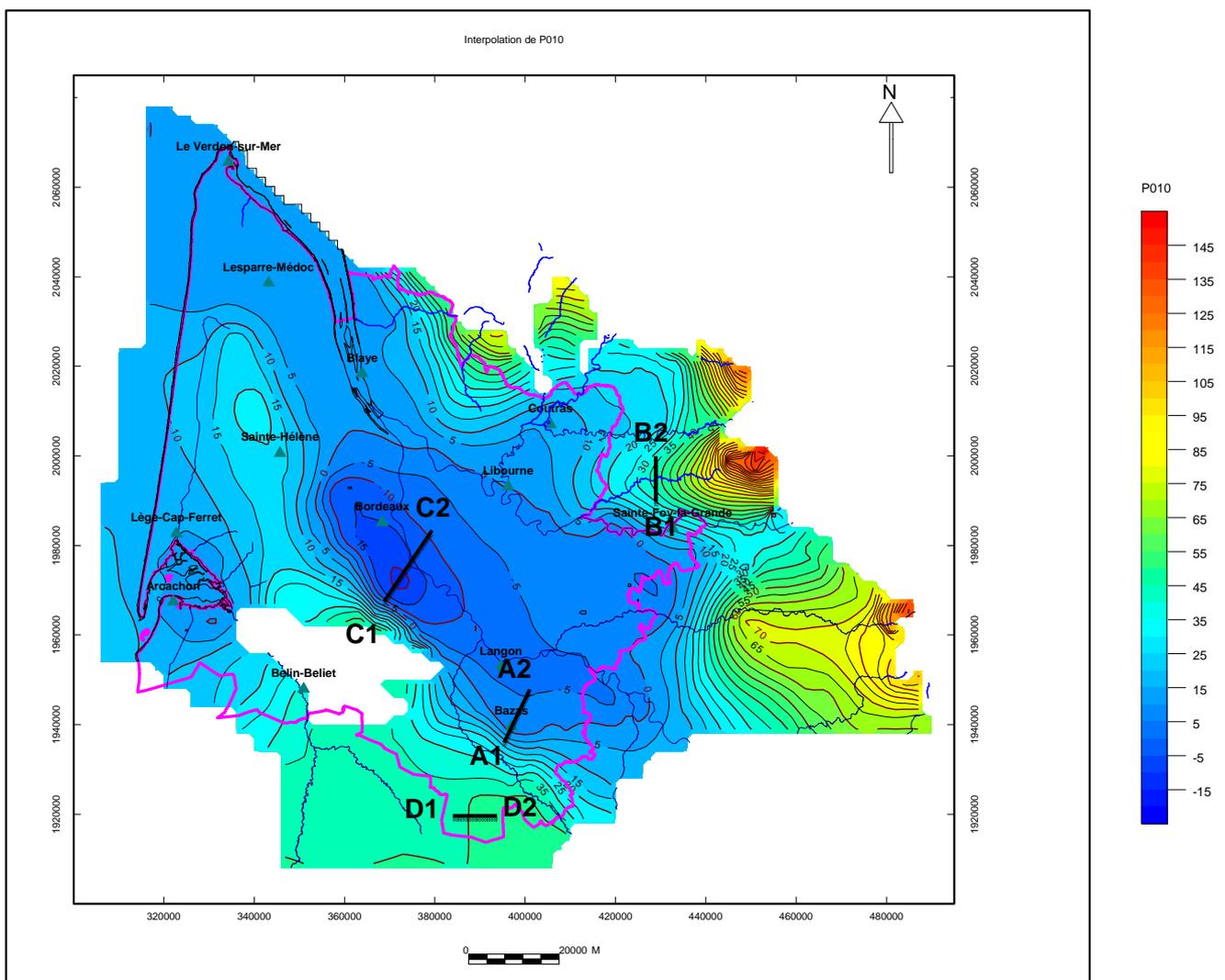


Illustration 21 : Carte de localisation des coupes

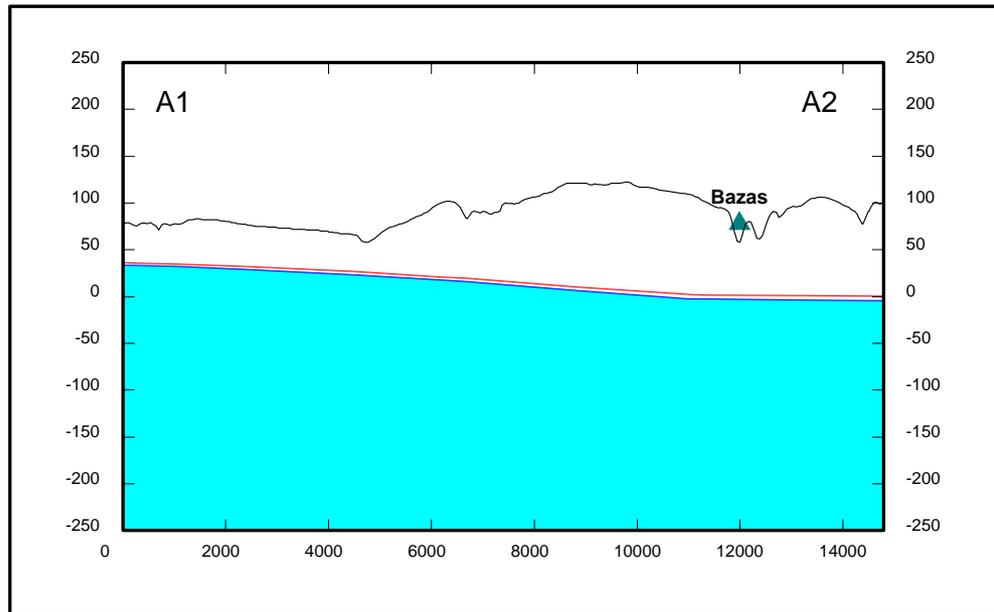


Illustration 22 : Coupe A1-A2

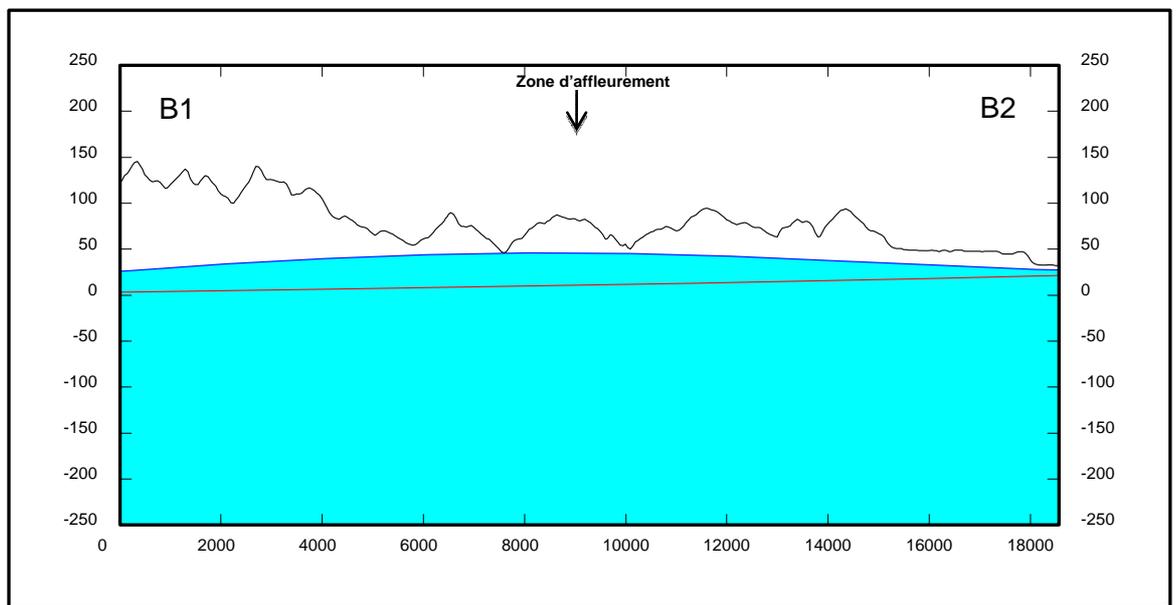


Illustration 23 : Coupe B1-B2

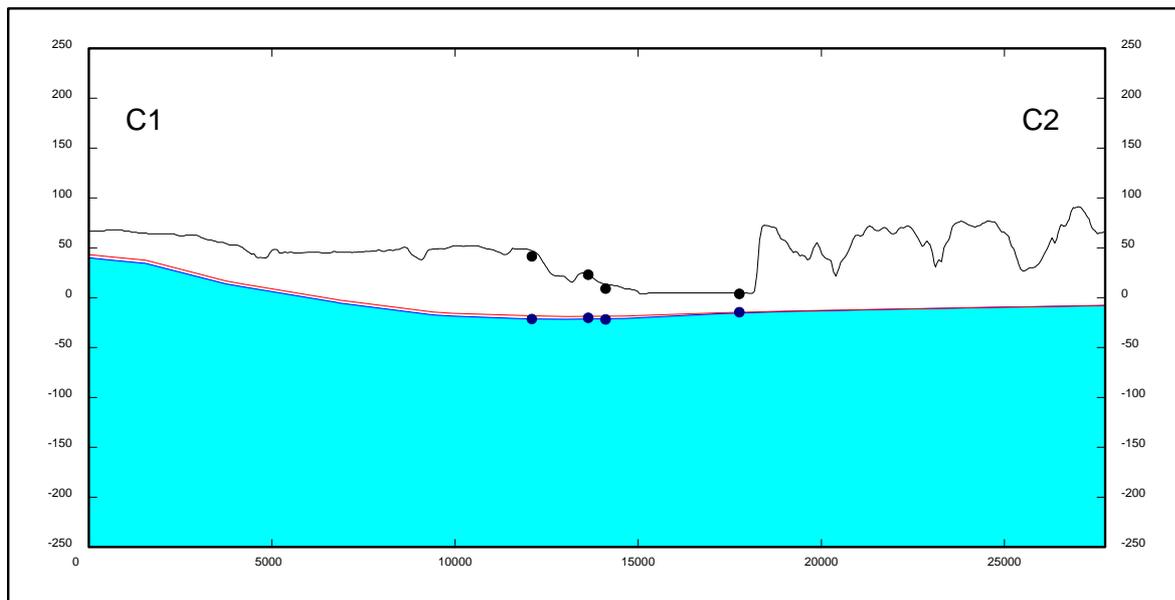


Illustration 24 : Coupe C1-C2

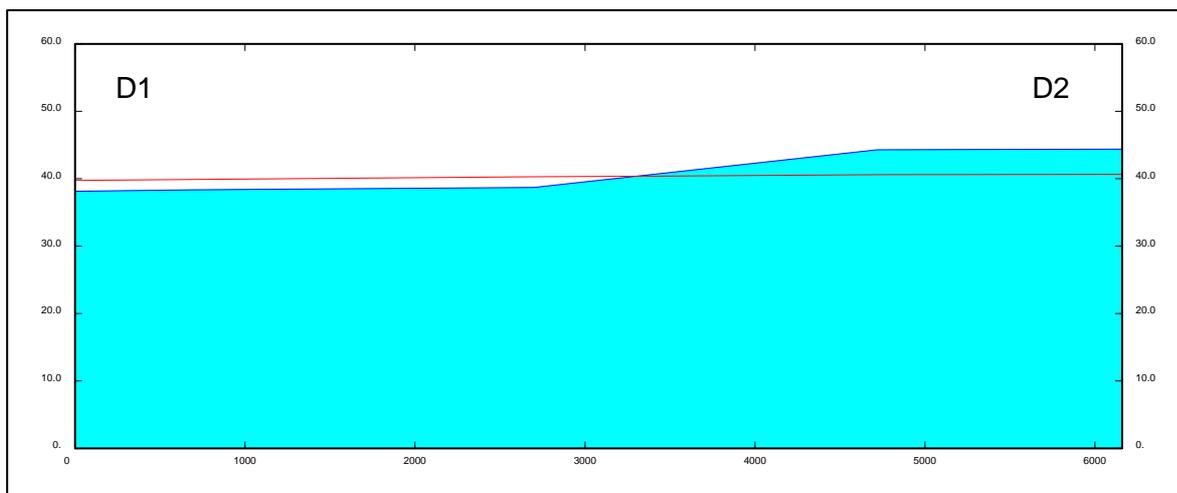


Illustration 25 : Coupe D1-D2

La coupe A1-A2 (illustration 22) met en évidence une très bonne correspondance des niveaux 2008 issus du MONA et des niveaux 2010 issus de l'interpolation. La légère différence observée entre les 2 courbes (niveaux du MONA plus hauts) peut s'expliquer par l'année prise en compte (décalage de 2 ans) et/ou la prise en compte de données supplémentaires au sud, en dehors de l'emprise du modèle nord-aquitain.

La coupe B1-B2 (illustration 23) met en évidence une alimentation de la nappe par la rivière avec une piézométrie qui diminue de part et d'autre du cours d'eau (phénomène non mis en évidence par la piézométrie MONA mais directement lié à l'hypothèse retenue qui consiste à considérer que les cours d'eau situés dans les zones d'affleurement correspondent à des affleurements de la nappe). Ce type de résultat doit par conséquent être considéré avec prudence.

La coupe C1-C2 (illustration 24) permet de noter que les niveaux piézométriques observés sur le terrain sont bien pris en compte par le modèle géostatistique. D'autre part, la coupe permet de visualiser la dépression piézométrique située au droit de Bordeaux.

La coupe D1-D2 (illustration 25), réalisée dans un secteur où la densité de points d'observation est faible, met en évidence une mauvaise concordance des niveaux piézométriques. L'interpolation est basée sur les points les plus proches (données piézométriques ou points d'affleurement) trouvés dans un certain rayon (le voisinage), données qui peuvent dans certains cas se situer à plusieurs kilomètres les unes des autres. Même en adoptant un grand voisinage, le nombre de points qui intervient dans le calcul est faible, ce qui provoque des artefacts dans l'interpolation (résultat instable). On pourrait penser à utiliser toutes les données disponibles (y compris celles situées à plusieurs dizaines de km) mais cette solution est à écarter car les niveaux piézométriques ne sont plus corrélés entre eux au-delà d'une certaine distance (30 km environ dans le cas présent).

La carte des indices de confiance (illustration 20) montre que dans ce secteur, l'incertitude est grande. La seule façon de remédier à ce problème serait d'implanter un ou plusieurs piézomètres.

## **2.5. BILAN**

Outre la possibilité qu'elle offre de tracer des cartes piézométriques de façon quasi automatique après une vérification poussée des données, la méthode d'interpolation dite du « krigage avec dérive externe » permet donc d'identifier les zones où il conviendrait de densifier les réseaux de mesure (sud du département en particulier).

A court terme (développement dans le cadre du module 2), cette méthode devrait aussi permettre de pouvoir comparer différents états piézométriques (estimation du volume compris entre 2 courbes piézométriques) et d'aboutir à la définition d'un nouvel indicateur piézométrique.

On présente dans ce qui suit les résultats obtenus pour les 4 principales nappes profondes de Gironde.



### 3. Nappe de l'Eocène

L'extension des formations de l'Eocène est représentée sur l'illustration 26.

Les cartes piézométriques établies chaque année dans le cadre de la gestion des nappes de Gironde ne concernent que la nappe de l'Eocène inférieur à moyen dont le niveau a baissé de plus de 35 m en l'espace de 60 ans et d'environ 5 m lors de ces 15 dernières années à l'aplomb de l'agglomération bordelaise.

La carte manuelle réalisée avec les données mesurées en 2009 (illustrations 27 et 28) a montré qu'au niveau du creux piézométrique, la situation s'était dégradée par rapport à 2008 avec l'extension des isopièzes - 20, - 17,5, - 15 et - 10 m NGF vers l'est et le sud-est, l'élargissement de l'isopièze - 25 m NGF, la réapparition de l'isopièze - 30 m NGF apparue en 2007 et disparue en 2008 et enfin, l'apparition pour la première fois de l'isopièze - 35 m NGF au droit de la commune de Martillac.

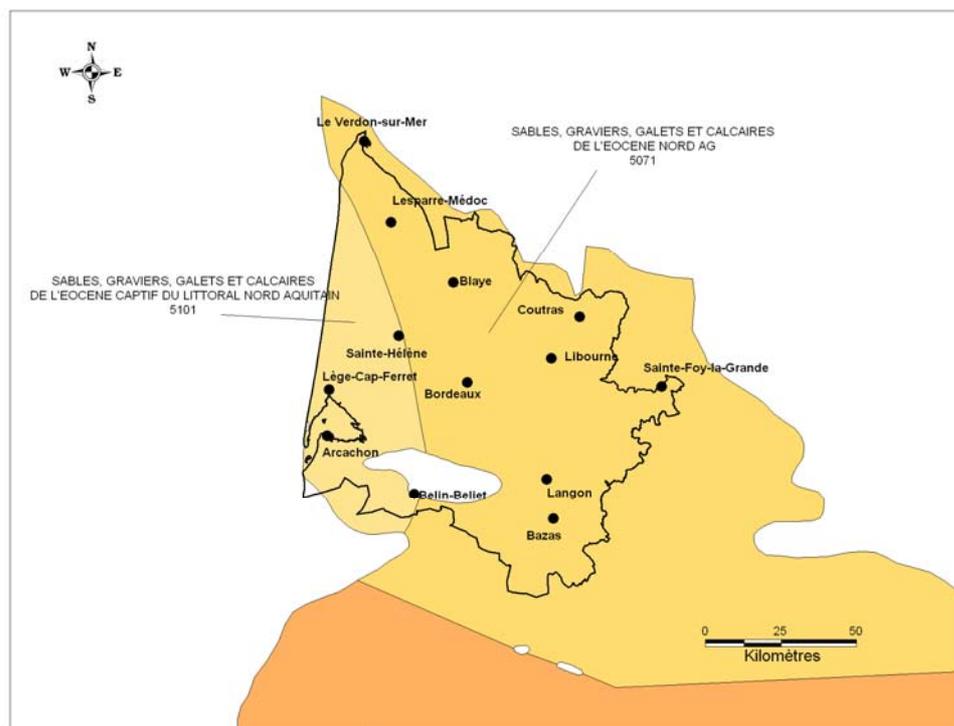


Illustration 26 : Extension des formations de l'Eocène en Aquitaine et codes des masses d'eau afférents



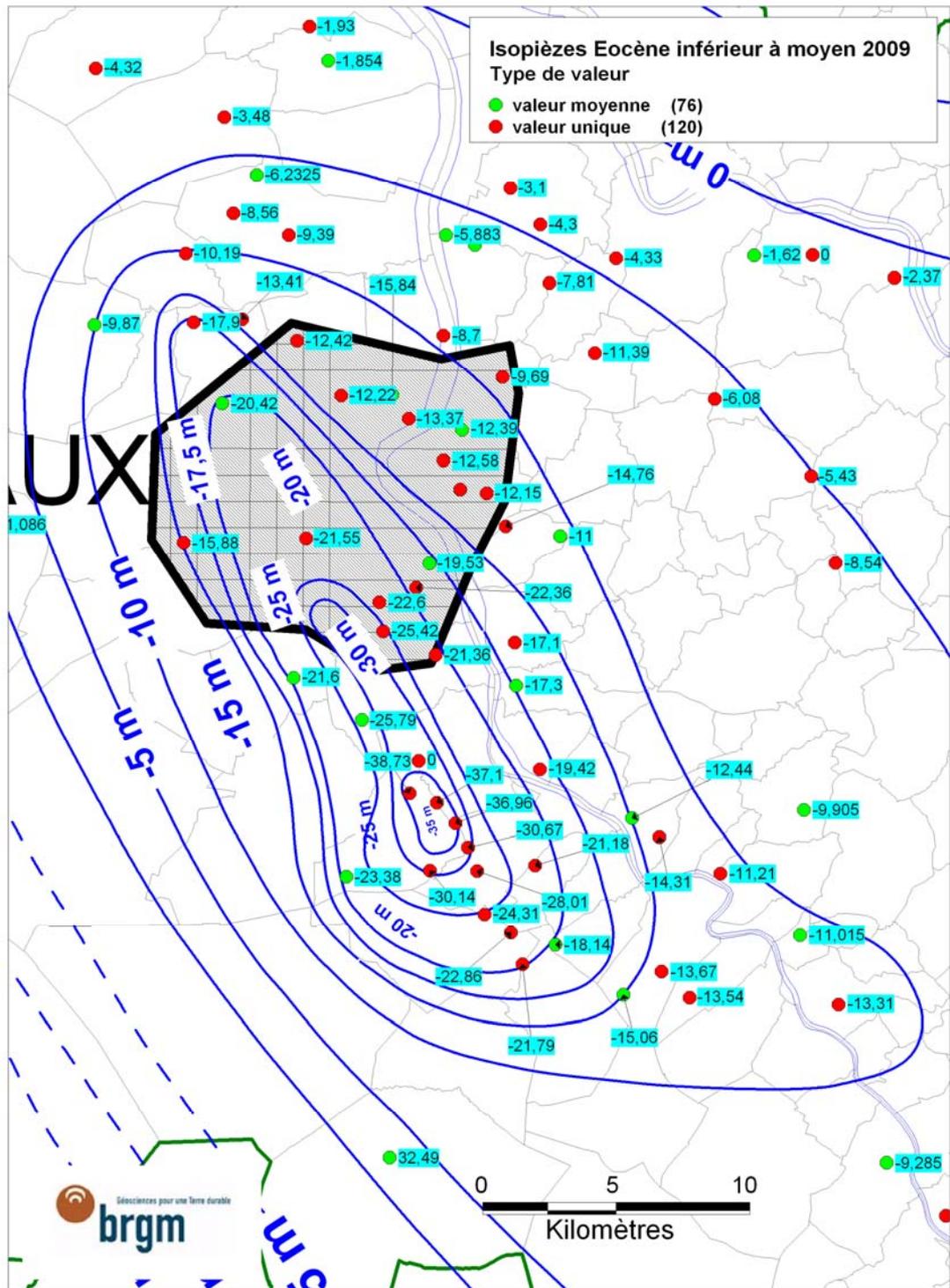


Illustration 28 : Carte piézométrique 2009 pour la nappe de l'Eocène inférieur à moyen (zoom sur l'agglomération bordelaise)

Le travail effectué sur les données disponibles depuis 1960 et à partir des méthodes géostatistiques validées dans le cadre du module 2 a permis d'établir 5 cartes piézométriques et 5 cartes représentant les indices de confiance (écart-type des valeurs interpolées) (illustrations 30 et 31).

Ces cartes sont relatives aux années 1975, 1985, 1995, 2005 et 2010 et à la nappe de l'Eocène (niveaux de l'Eocène inférieur à moyen et de l'Eocène supérieur non différenciés). La carte de 1965 n'a pas été tracée compte tenu du faible nombre points disponibles et de l'absence de dérive externe (la première piézométrie MONA date en effet de 1972).

On constate que :

- l'indice de confiance s'est amélioré au fil du temps grâce en particulier au développement des réseaux : on note en effet une prédominance de la couleur rouge en 1975 puis une amélioration en 1985, 1995 et 2005. La dégradation observée entre 2005 et 2010 (apparition d'une zone verte de grande extension au sud du département et discontinuité de la zone bleu foncé à l'ouest du département) reste néanmoins à expliquer (densité de points plus faible en raison de la rationalisation du réseau ?, points de mesure moins bien répartis ?, erreurs plus nombreuses en 2010 ?,...)
- dans la zone de l'estuaire de la Gironde, le tracé automatique des cartes basé sur une équidistance de 5 m ne met pas en évidence le dôme piézométrique associé à l'anticlinal de Blaye-Listrac qui est nettement visible sur l'illustration 27. Il ne s'agit pas d'une erreur d'interpolation dans la mesure où le choix d'une équidistance de 2,5 m permet de le visualiser (illustration 32)
- dans le sud du Médoc (secteur de Sainte-Hélène), le tracé automatique des cartes met en évidence un dôme piézométrique (+ 20 m NGF) lié à la structure des terrains, qui jusqu'à présent, n'était pas représenté sur les cartes piézométriques « manuelles »
- le sud du département reste un secteur où les cartes produites sont peu fiables du fait de la faible densité des points de mesure (création de nouveaux ouvrages à entreprendre ?)
- au droit de l'agglomération bordelaise, les cartes mettent en évidence l'évolution de la dépression piézométrique (isopièze mini = - 15 m NGF en 1975 et 1985, - 20 m NGF en 1995, 2005 et 2010). Le choix de ne représenter qu'une seule carte par décennie ne permet pas de commenter des situations singulières comme celles observées en 2007 (apparition de l'isopièze - 30 m NGF au droit de Martillac) ou en 2009 (apparition de l'isopièze - 35 m NGF dans le même secteur)
- les cartes mettent bien en évidence l'extension de l'isopièze 0 m NGF, d'abord vers le sud-est (secteur de Langon) entre 1975 et 1995 puis vers l'est entre 1995 et 2010, en lien direct avec l'augmentation des prélèvements effectués dans le département de la Gironde mais aussi dans les départements voisins.

Afin d'aller plus loin dans la comparaison des états piézométriques, les volumes compris entre les surfaces piézométriques relatives aux années 1975, 1985, 1995, 2005 et 2010 ont été calculés et reportés dans le tableau de l'illustration 29.

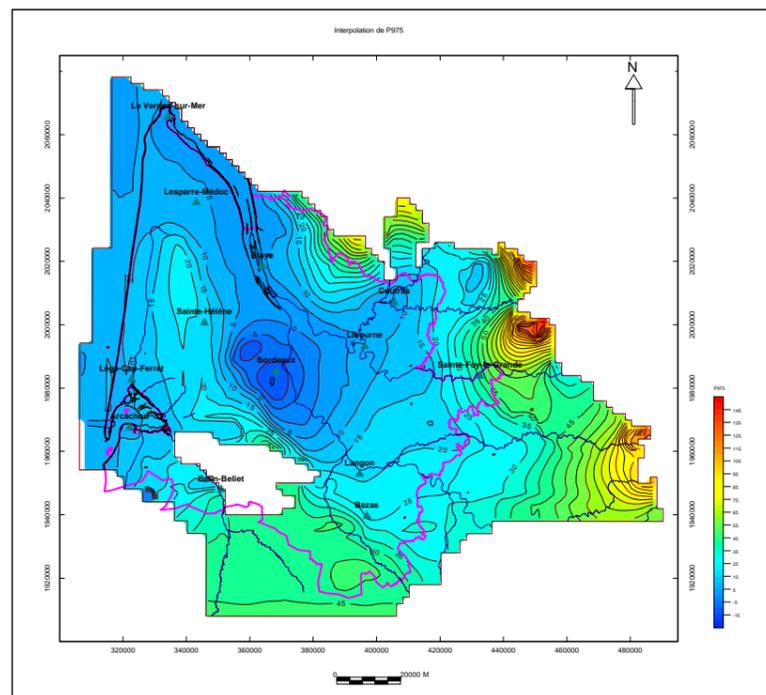
A ce stade, ils correspondent à des volumes de terrain et non à des stocks d'eau. Ils pourront être revus en fonction des avancées du module 2 (développement méthodologique).

Entre 1975 et 2005, la situation s'est petit à petit dégradée (3 volumes négatifs indiquant une tendance à l'abaissement global de la surface piézométrique). Elle s'est ensuite améliorée entre 2005 et 2010. Le volume calculé entre les surfaces représentatives de ces 2 dernières années est toutefois environ 10 fois inférieur aux précédents volumes. Dans ces conditions, on doit considérer que l'amélioration est modérée.

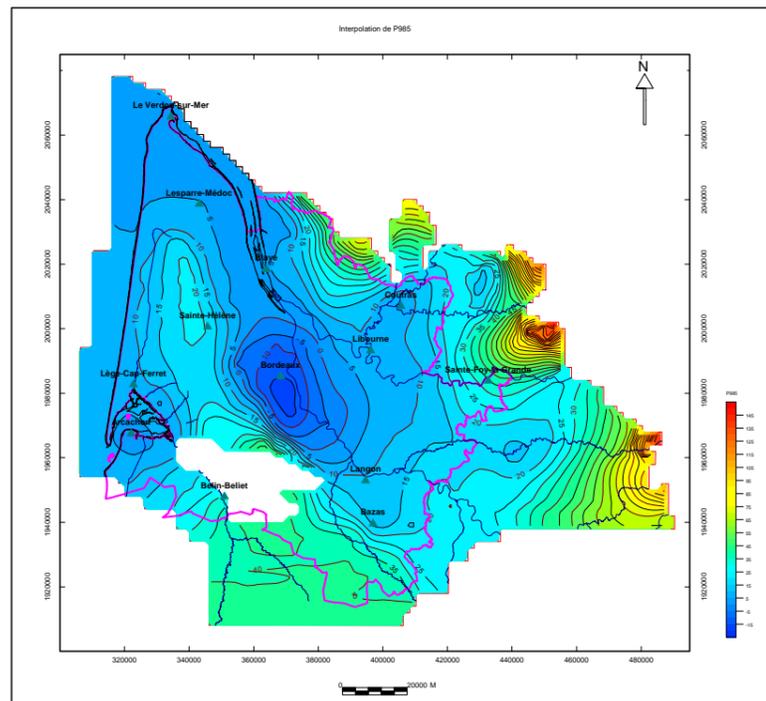
Année	Volume compris entre les 2 surfaces piézométriques (km <sup>3</sup> )	Tendance
2010-2005	3,85	amélioration
2005-1995	-30,6	dégradation
1995-1985	-23,3	dégradation
1985-1975	-54,4	dégradation

*Illustration 29 : Volumes compris entre les surfaces piézométriques pour la nappe de l'Eocène inférieur à moyen*

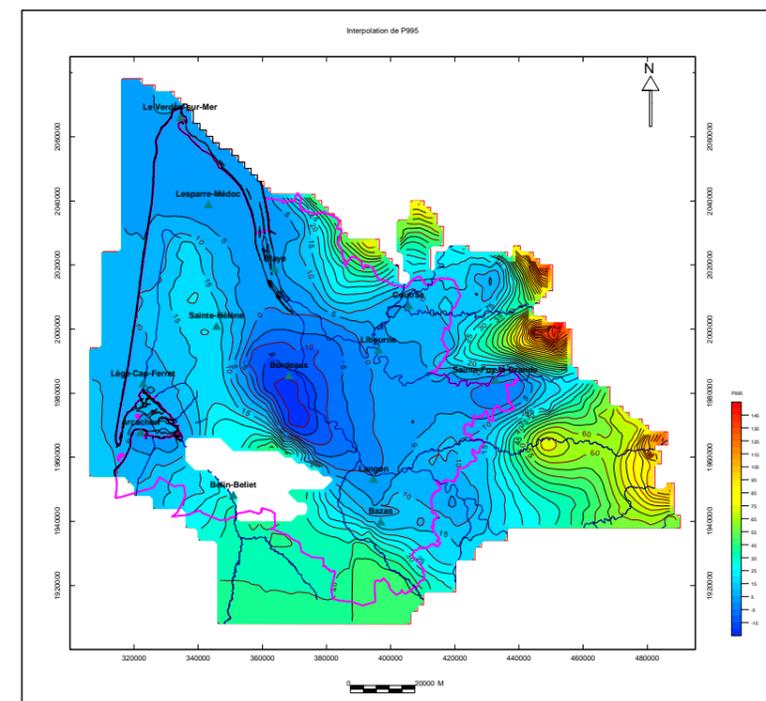




1975



1985



1995

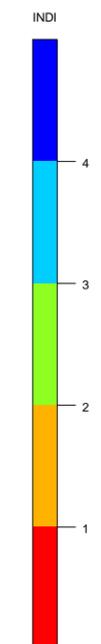
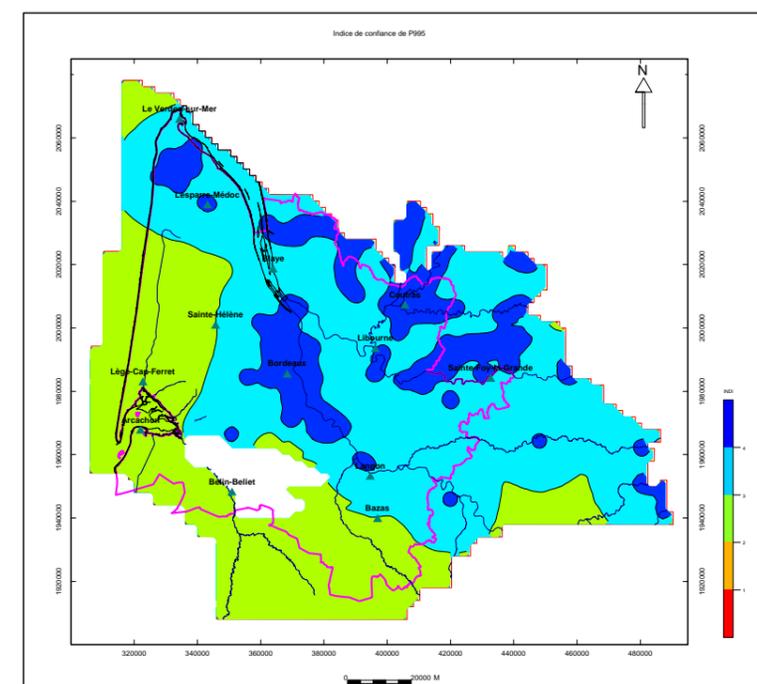
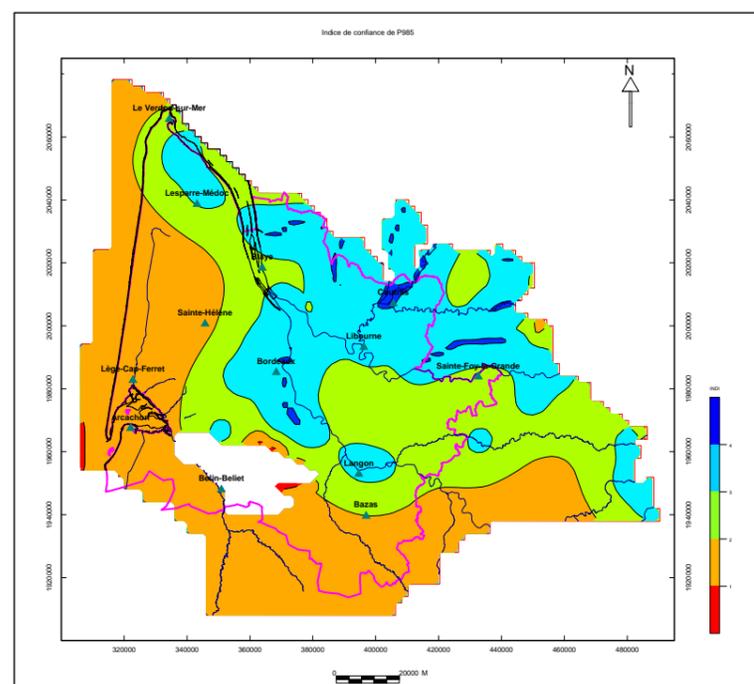
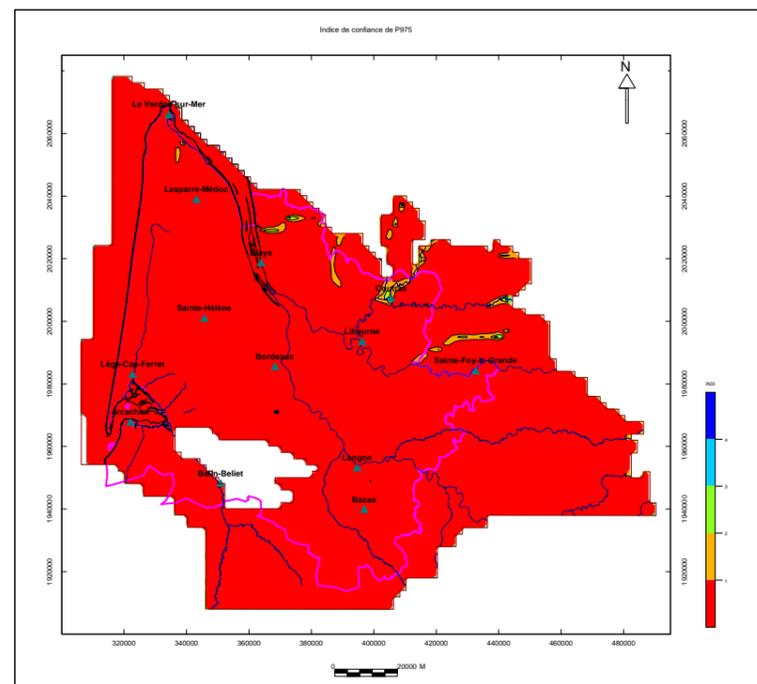
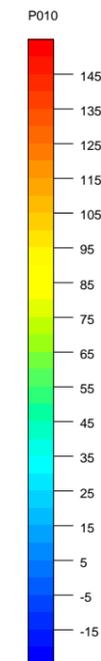


Illustration 30 : Cartes piézométriques et cartes d'indices de confiance issues du traitement géostatistique pour la nappe de l'Eocène et pour les années 1975, 1985 et 1995

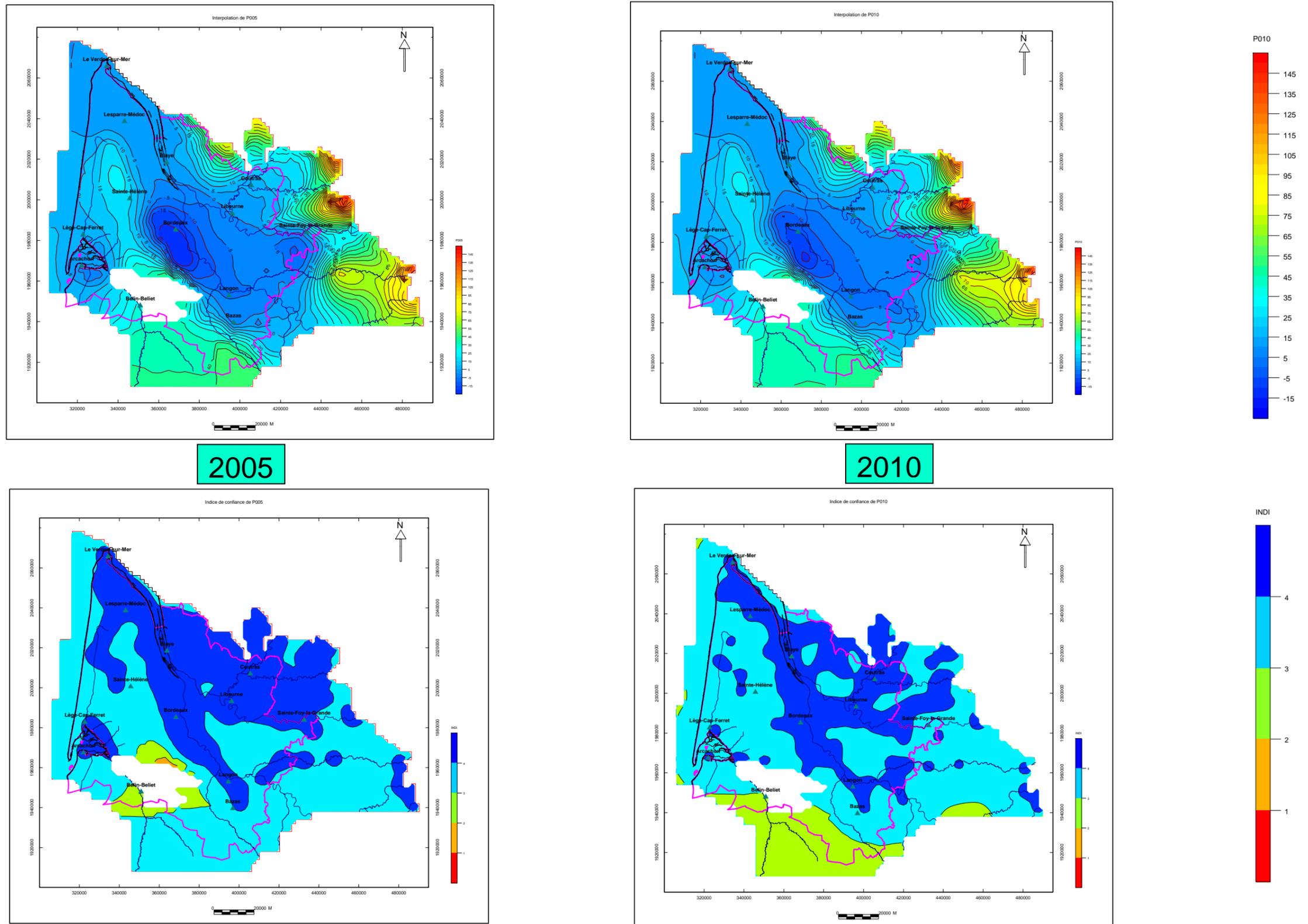


Illustration 31 : Cartes piézométriques et cartes d'indices de confiance issues du traitement géostatistique pour la nappe de l'Eocène et pour les années 2005 et 2010

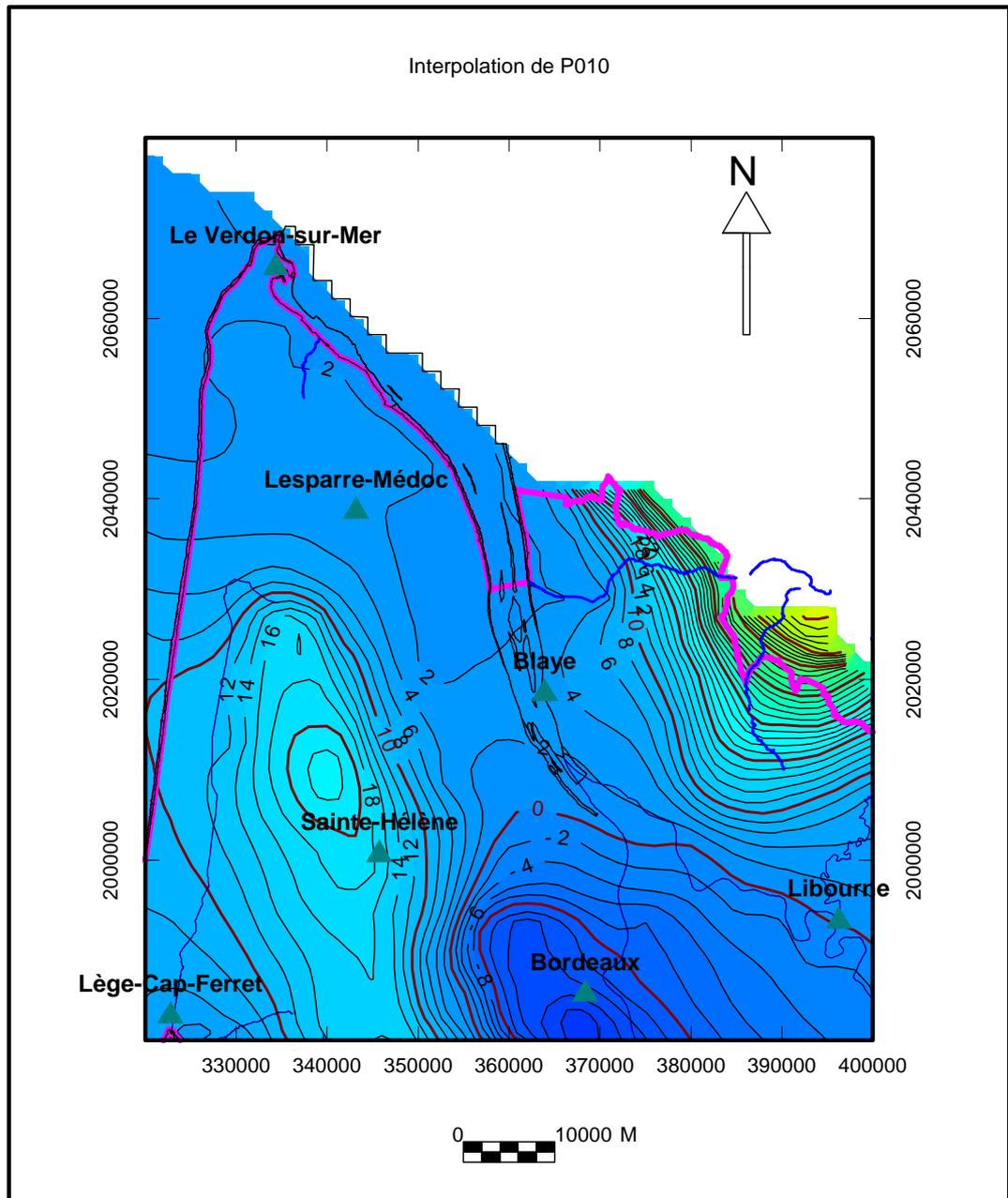


Illustration 32 : Piézométrie de l'Eocène 2010, zoom sur la zone de l'estuaire de la Gironde



## 4. Nappe du Crétacé

L'extension des formations du Crétacé est représentée sur l'illustration 33.

Les cartes piézométriques établies chaque année dans le cadre de la gestion des nappes de Gironde ne concernent que la nappe du Crétacé terminal dont le niveau est très influencé par les pompages effectués dans la nappe sus-jacente (Eocène) (présence d'une dépression piézométrique à l'aplomb de Bordeaux).

La carte manuelle réalisée avec les données mesurées en 2009 (illustration 34) n'a pas montré d'évolution particulière entre 2008 et 2009.

Le travail effectué sur les données disponibles depuis 1960 et à partir des méthodes géostatistiques validées dans le cadre du module 2 n'a permis d'établir que les cartes relatives aux années 2005 et 2010 (illustration 35), les données piézométriques relatives aux années 1975 (0), 1985 (1) et 1995 (7) étant trop peu nombreuses.

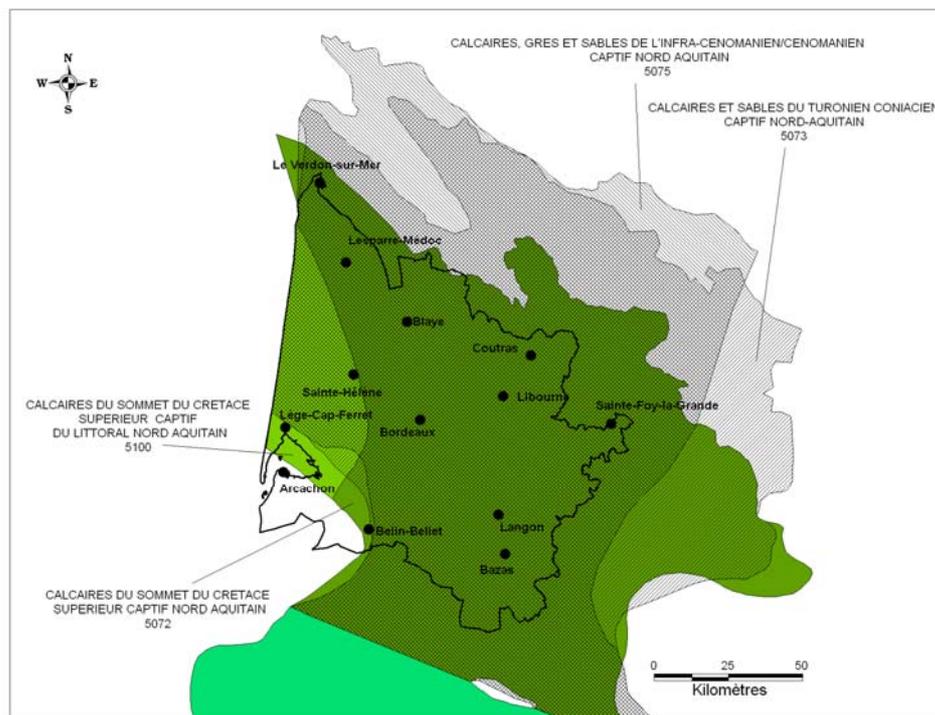


Illustration 33 : Extension des formations du Crétacé en Aquitaine et codes des masses d'eau afférents

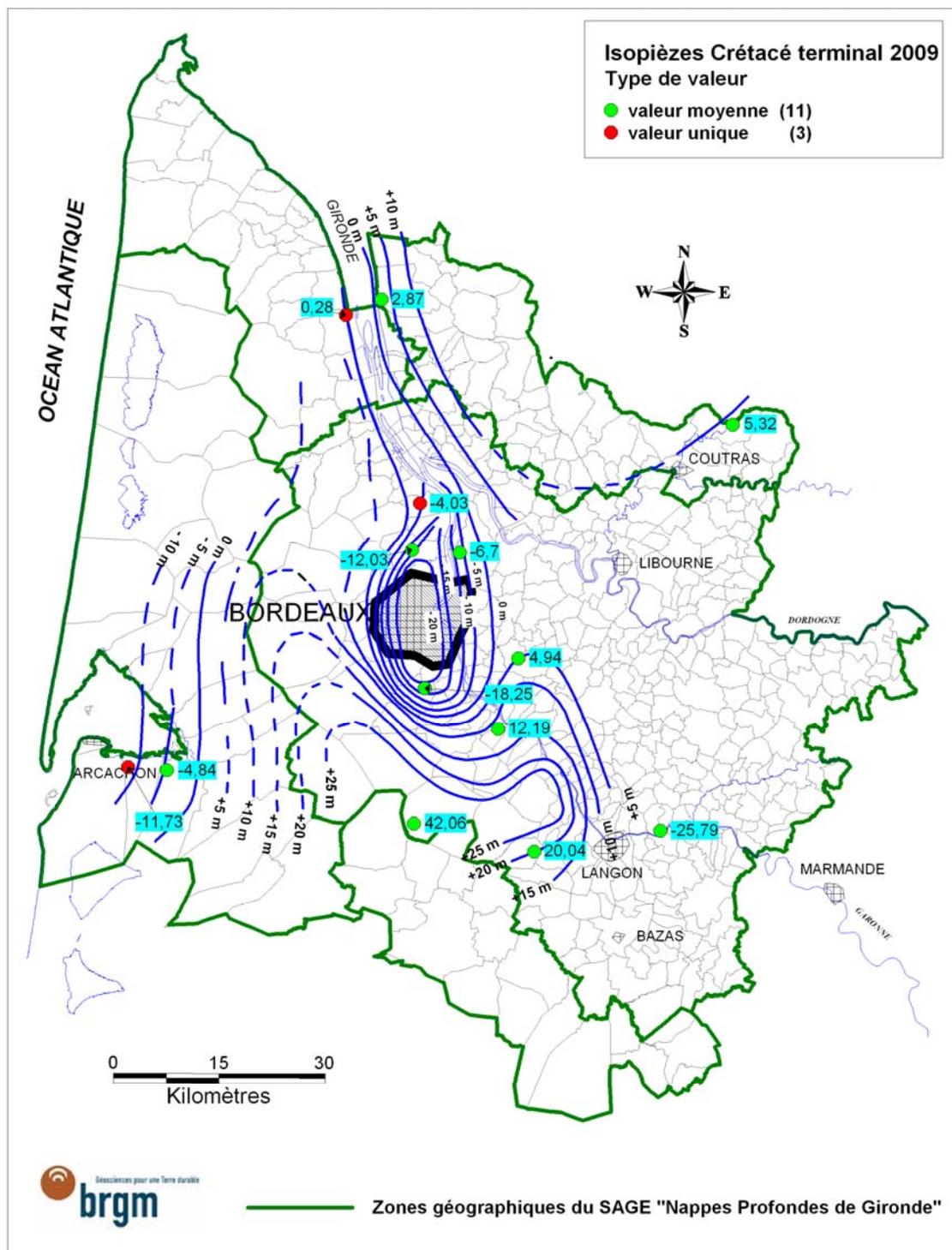


Illustration 34 : Carte piézométrique 2009 pour la nappe du Crétacé terminal

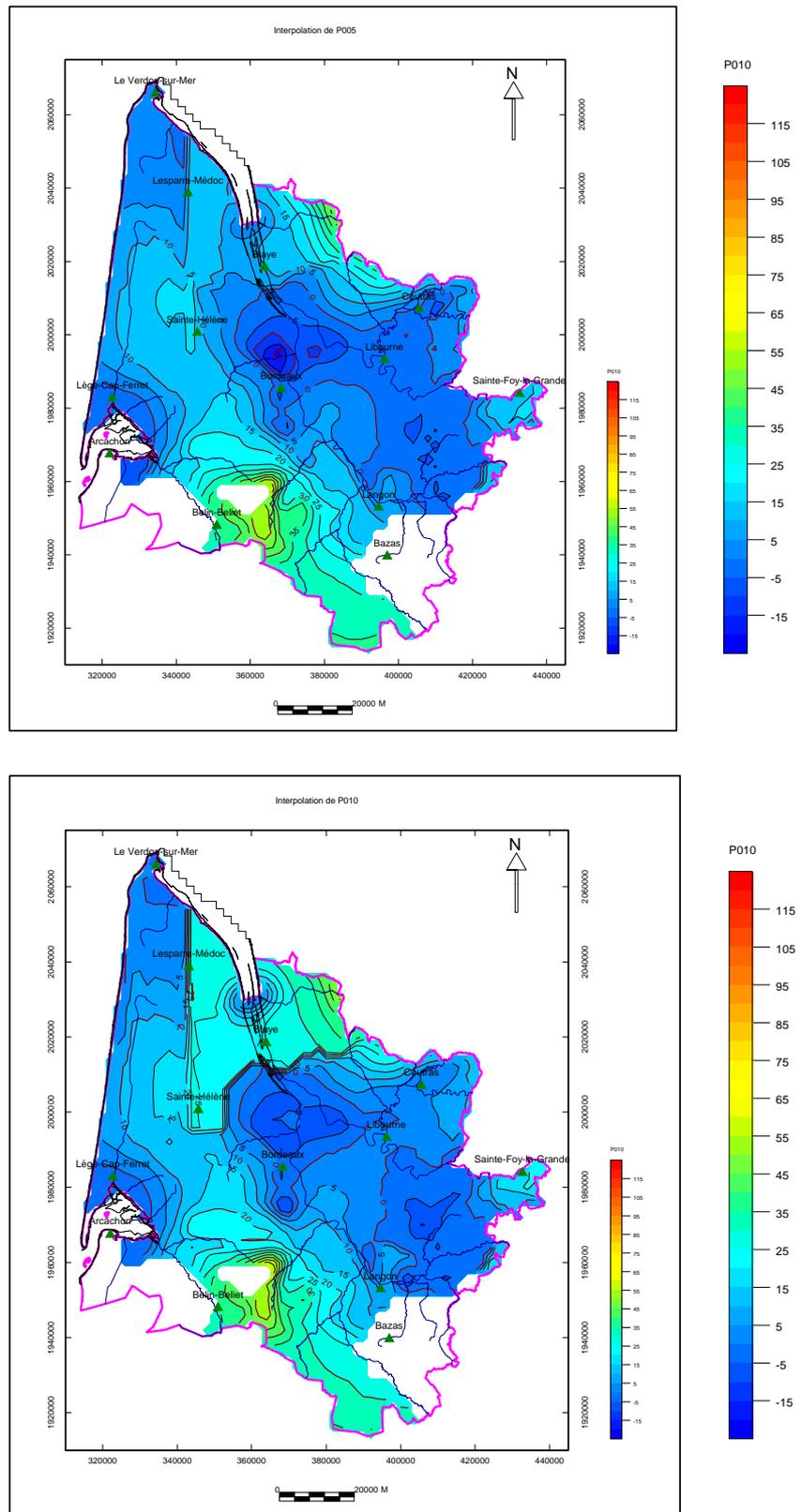


Illustration 35 : Cartes piézométriques issues du traitement géostatistique pour la nappe du Crétacé et pour les années 2005 (haut) et 2010 (bas)

Les cartes issues du traitement géostatistique et obtenues pour les années 2005 (avec 23 valeurs) et 2010 (avec 22 valeurs) sont assez différentes de celle obtenue manuellement en 2009 (avec 14 valeurs). Les isopièzes des 2 premières cartes présentent aussi des formes anguleuses peu cohérentes, en particulier à l'ouest de Bordeaux.

Les différences et les incohérences peuvent s'expliquer :

- par la prise en compte de l'ensemble des mesures relatives aux formations crétacées (Maastrichtien à Cénomaniens) dans le premier cas (2005 et 2010) alors que dans le second cas (2009), seules les mesures réalisées dans les formations campano-maastrichtiennes (Crétacé terminal) ont été retenues,
- par le nombre trop restreint de mesures disponibles pour mener une interpolation cohérente.

Compte tenu de la deuxième remarque, il a été décidé de ne pas retenir la méthode du krigeage avec dérive externe sur l'ensemble des données relatives au Crétacé pour le tracé de la piézométrie 2010 de cette nappe.

La piézométrie finalement retenue (illustration 36) correspond au tracé manuel des isopièzes relatives à la nappe du Crétacé terminal.

Par rapport à 2009 (illustration 34), la nouvelle carte met en évidence une certaine évolution des niveaux piézométriques au sud du Bassin d'Arcachon avec la disparition des isopièzes -5 et -10 m NGF.

Les niveaux des 2 forages pris en compte pour le tracé de l'isopièze 0 m NGF sont remontés de façon non négligeable entre 2009 et 2010 or, les prélèvements effectués sur ces ouvrages n'ont guère évolué.

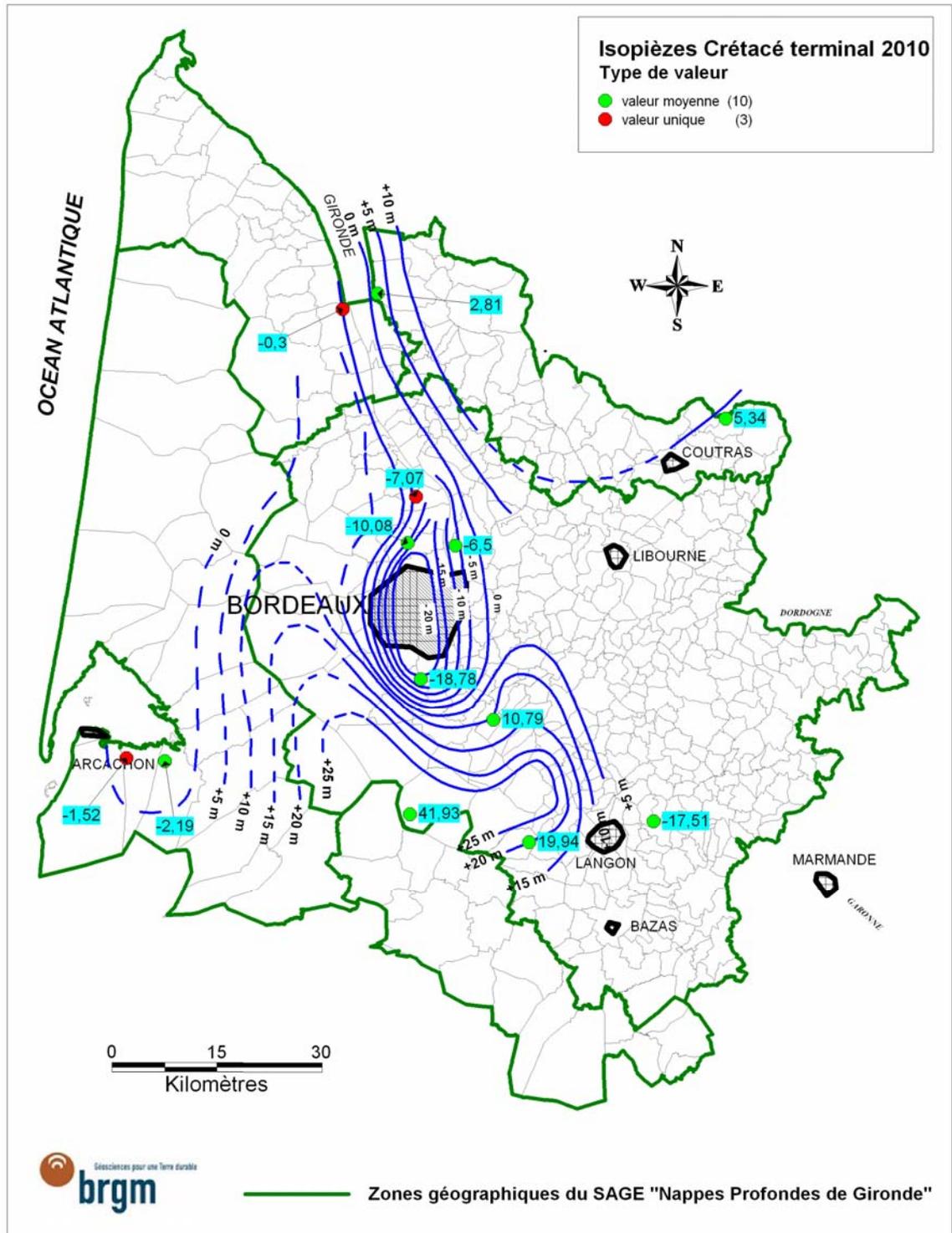


Illustration 36 : Carte piézométrique 2010 pour la nappe du Crétacé terminal



## 5. Nappe de l'Oligocène

L'extension des formations de l'Oligocène est représentée sur l'illustration 37.

Du fait de leur extension, les cartes piézométriques établies chaque année dans le cadre de la gestion des nappes de Gironde ne concernent que le secteur situé à l'ouest de la Garonne.

La carte réalisée avec les données mesurées en 2009 (illustration 38) a montré que la réduction des prélèvements d'environ 1 000 000 m<sup>3</sup> opérée en 2009 dans la zone de Saucats-Léognan (ligne des 100 000 m<sup>3</sup>/j) s'était accompagnée d'une remontée systématique des niveaux piézométriques.

Les derniers travaux de modélisation (menés en 2009) ont aussi montré que la surface dénoyée entre 1980 et 2005 ne représentait en fait qu'une superficie d'environ 30 km<sup>2</sup>.

Le travail effectué sur les données disponibles depuis 1960 et à partir des méthodes géostatistiques validées dans le cadre du module 2 a permis d'établir 5 cartes piézométriques et 5 cartes représentant les indices de confiance (écart-type des valeurs interpolées) ( illustrations 39 et 40).

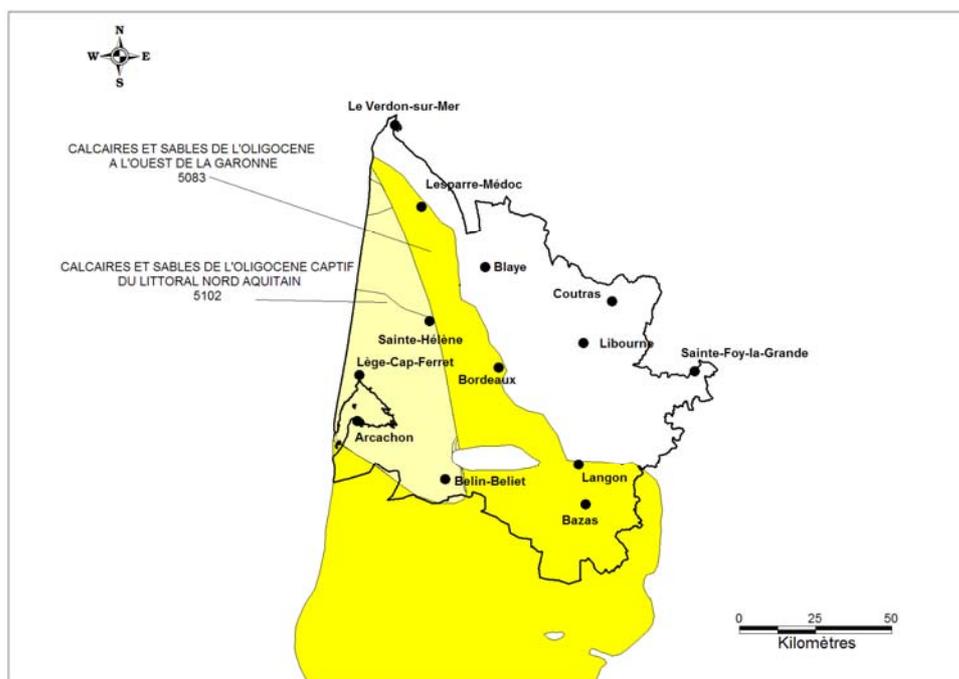


Illustration 37 : Extension des formations de l'Oligocène en Aquitaine et codes masses d'eau afférents

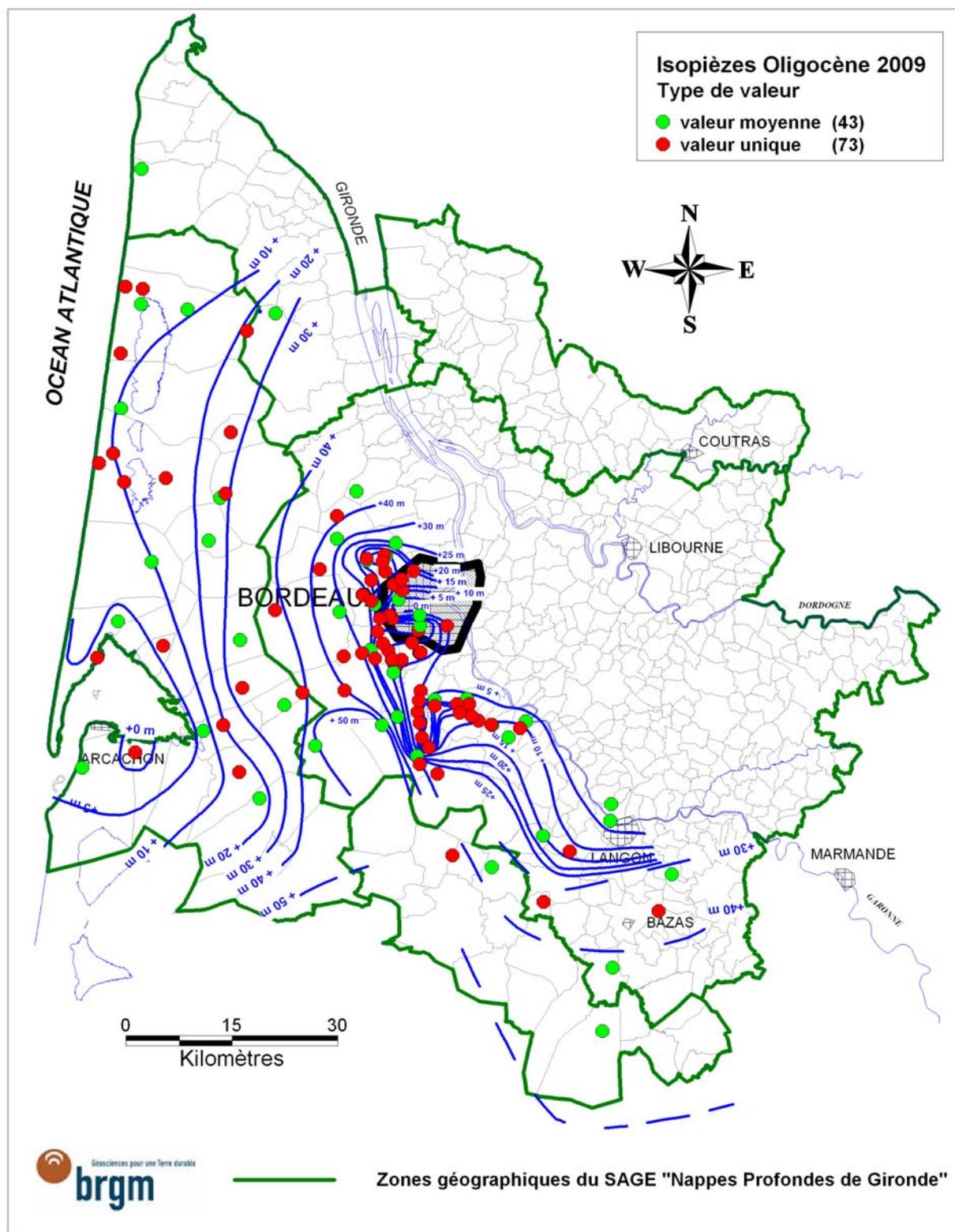
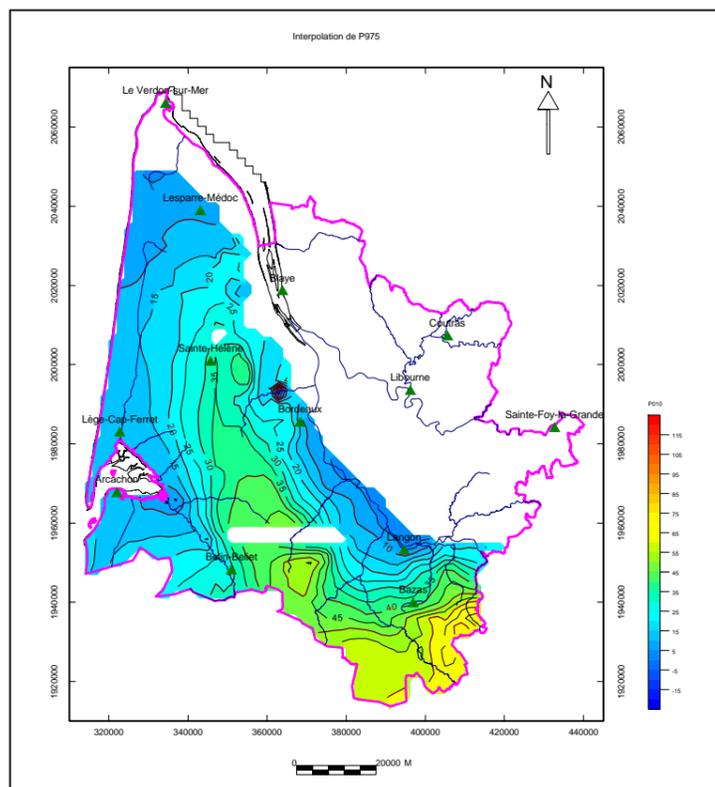
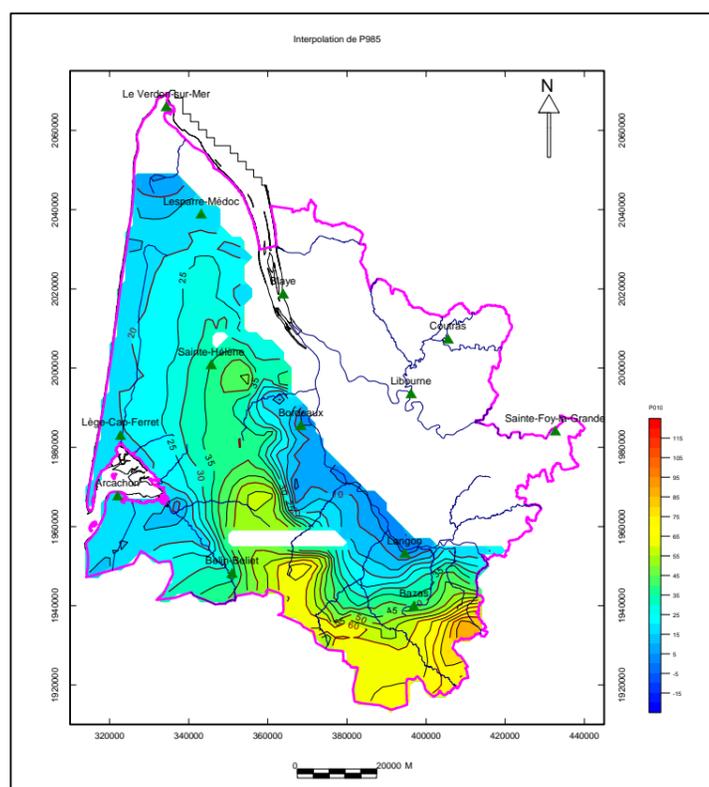


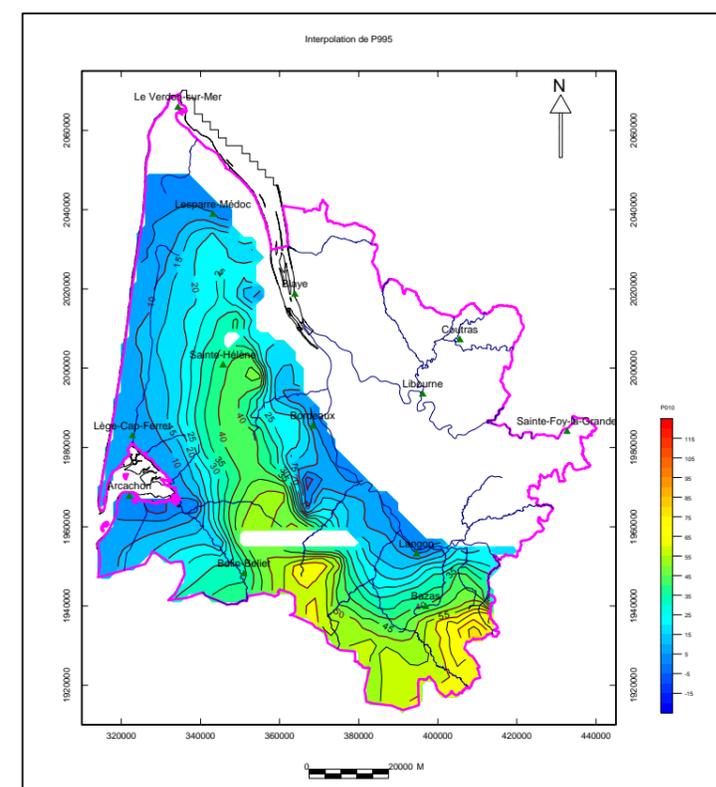
Illustration 38 : Carte piézométrique 2009 pour la nappe de l'Oligocène



1975



1985



1995

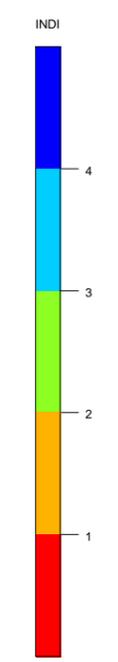
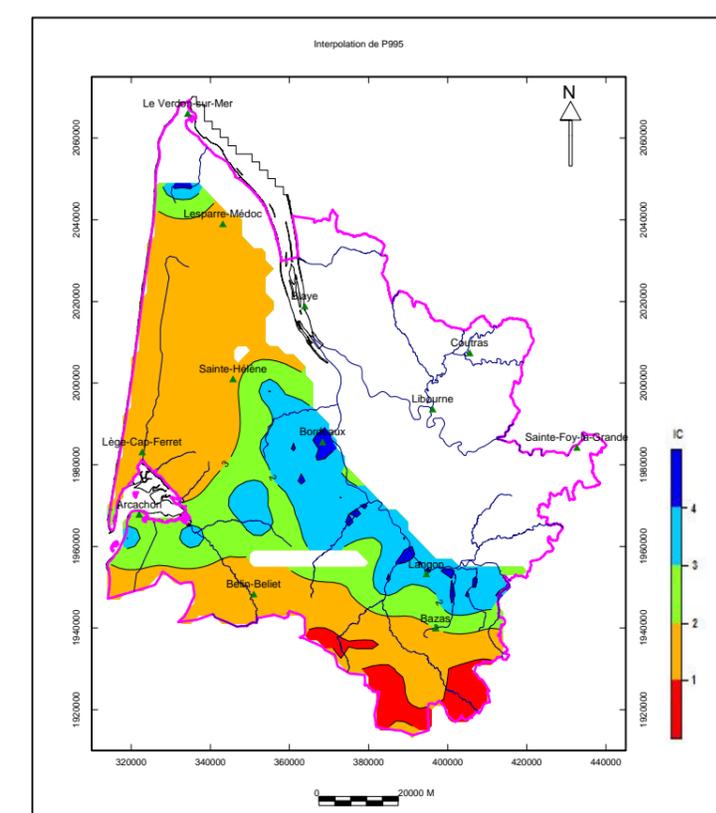
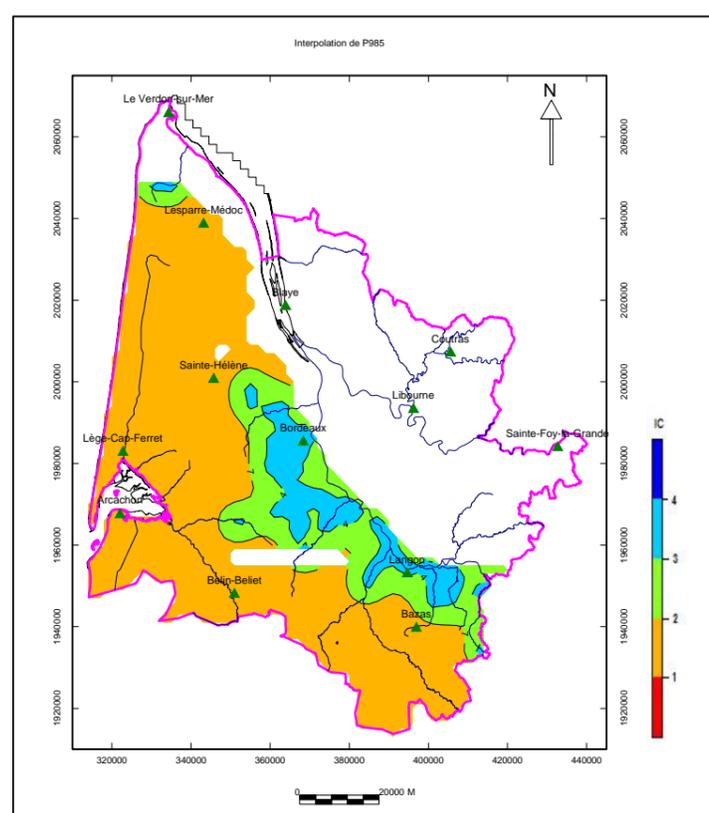
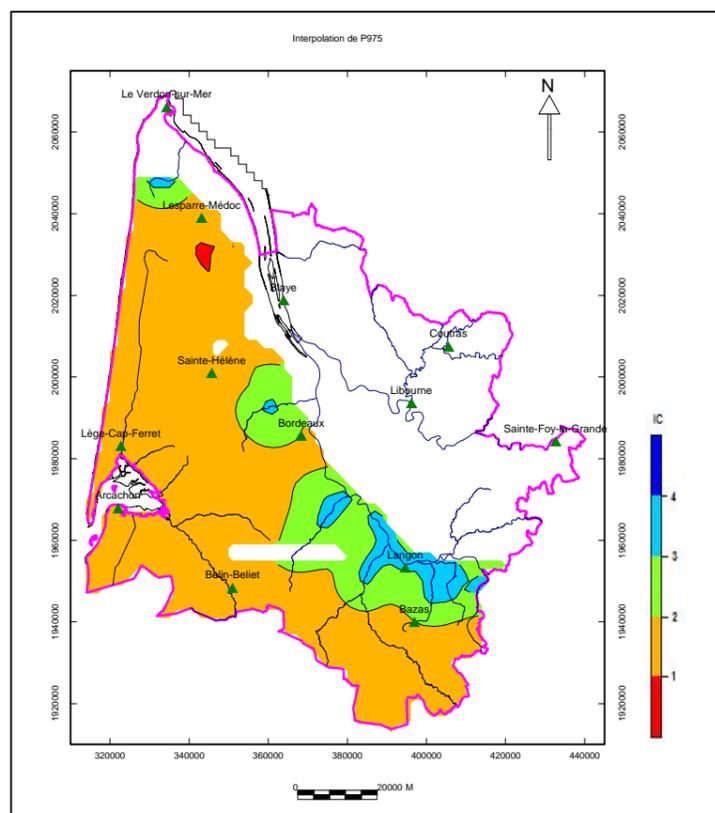
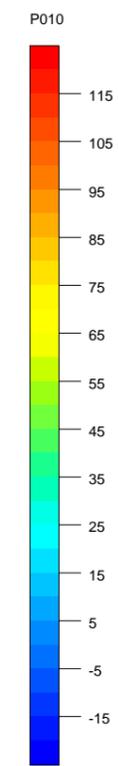


Illustration 39 : Cartes piézométriques et cartes d'indices de confiance issues du traitement géostatistique pour la nappe de l'Oligocène et pour les années 1975, 1985 et 1995

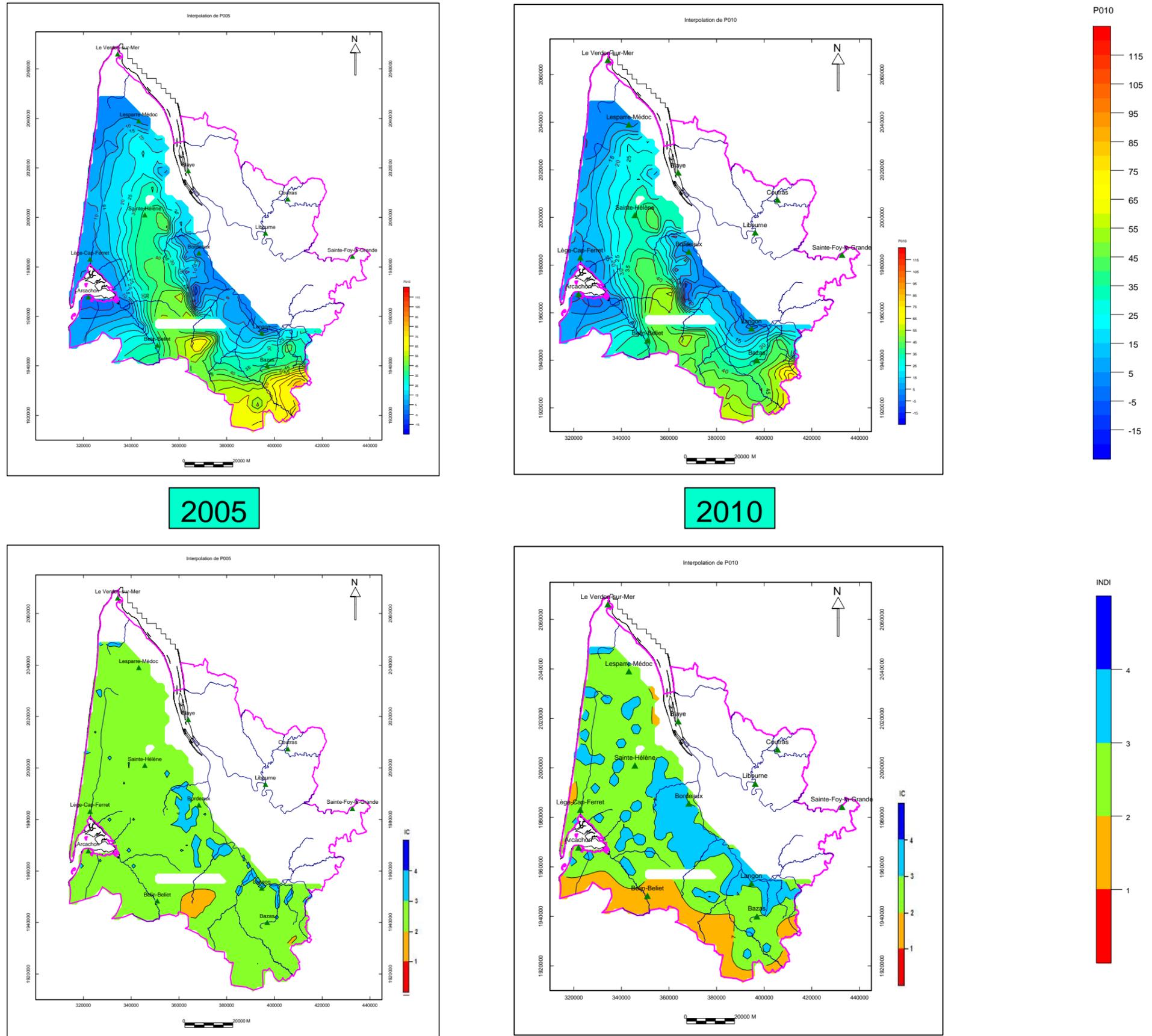


Illustration 40 : Cartes piézométriques et cartes d'indices de confiance issues du traitement géostatistique pour la nappe de l'Oligocène et pour les années 2005 et 2010

Ces cartes sont relatives aux années 1975, 1985, 1995, 2005 et 2010. La carte de 1965 n'a pas été tracée compte tenu du faible nombre de points disponibles et de l'absence de dérive externe (la première piézométrie MONA date en effet de 1972).

Il apparaît que :

- l'indice de confiance s'est amélioré au fil du temps grâce en particulier au développement des réseaux et du nombre de points de mesure : on note en effet une prédominance de la couleur orange en 1975 puis des améliorations successives en 1985, 1995, 2005 et 2010. Les dégradations observées au sud du département en 1995 (apparition d'une zone rouge) et 2010 (apparition d'une zone orange) restent néanmoins à expliquer (points de mesure moins bien répartis ?...),
- dans le secteur d'Arcachon, les cartes piézométriques mettent en évidence une baisse des niveaux piézométriques (isopièze mini = +10 m NGF en 1975 et 1985 et 0 m NGF à partir de 1995),
- à l'est de Sainte-Hélène, le tracé semi-automatique des cartes met en évidence un dôme piézométrique (+ 40 m NGF) lié à la topographie qui jusqu'à présent n'était pas représenté sur les cartes piézométriques manuelles. On retrouve ce dôme sur les cartes piézométriques de l'Eocène et du Miocène,
- dans le secteur de Léognan-Saucats (sud de Bordeaux), les cartes mettent en évidence l'apparition d'une dépression piézométrique à partir de 1985 qui est directement liée à la mise en route des forages de la ligne des « 100 000 m<sup>3</sup>/jour » (à partir des années 1975),
- le sud-est du département reste un secteur où les cartes produites sont peu fiables du fait de la faible densité des points de mesure.

Afin d'aller plus loin dans la comparaison des états piézométriques, les volumes compris entre les surfaces piézométriques relatives aux années 1975, 1985, 1995, 2005 et 2010 ont été calculés et reportés dans le tableau de l'illustration 41.

A ce stade, ils correspondent à des volumes de terrain et non à des stocks d'eau. Ils pourront être revus en fonction des avancées du module 2 (développement méthodologique).

Entre 1975 et 1985, la situation s'est améliorée. Elle s'est ensuite dégradée entre 1985 et 1995, entre 1995 et 2005 puis entre 2005 et 2010 (3 volumes négatifs indiquant une tendance à l'abaissement global de la surface piézométrique).

Le dernier volume calculé (entre 2010 et 2005) est toutefois nettement inférieur aux 2 précédents, ce qui semble indiquer une dégradation moins sévère en lien probable avec une meilleure répartition des volumes prélevés dans les nappes de l'Eocène et de l'Oligocène.

Année	Volume compris entre les 2 surfaces piézométriques (km <sup>3</sup> )	Tendance
2010-2005	-6,7	dégradation
2005-1995	-41	dégradation
1995-1985	-25	dégradation
1985-1975	28,5	amélioration

*Illustration 41: Volumes compris entre les surfaces piézométriques pour la nappe de l'Oligocène*

## 6. Nappe du Miocène

L'extension des formations du Miocène est représentée sur l'illustration 42.

Les cartes piézométriques établies chaque année dans le cadre de la gestion des nappes de Gironde ne concernent que l'Aquitanien (Miocène inférieur).

La carte manuelle réalisée avec les données mesurées en 2009 (cf. illustration 43) a montré une certaine stabilisation des niveaux entre 2008 et 2009.

Le travail effectué sur les données disponibles depuis 1960 et à partir des méthodes géostatistiques validées dans le cadre du module 2 a permis d'établir 5 cartes piézométriques et 5 cartes représentant les indices de confiance (écart-type des valeurs interpolées) (illustrations 44 et 45).

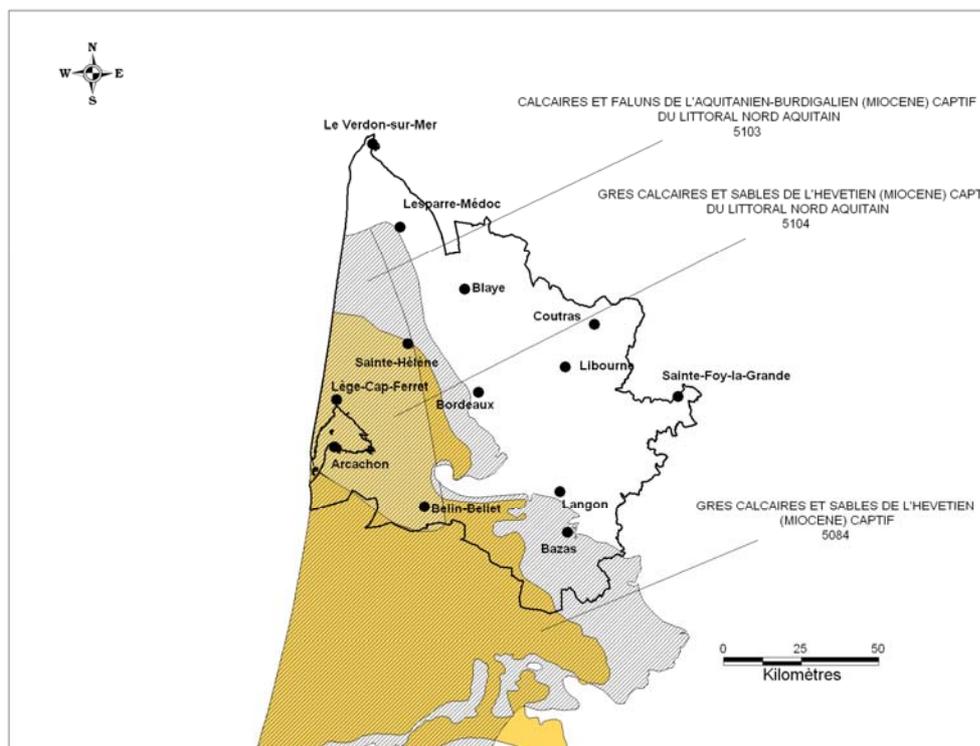


Illustration 42 : Extension des formations du Miocène en Aquitaine et codes masses d'eau afférents

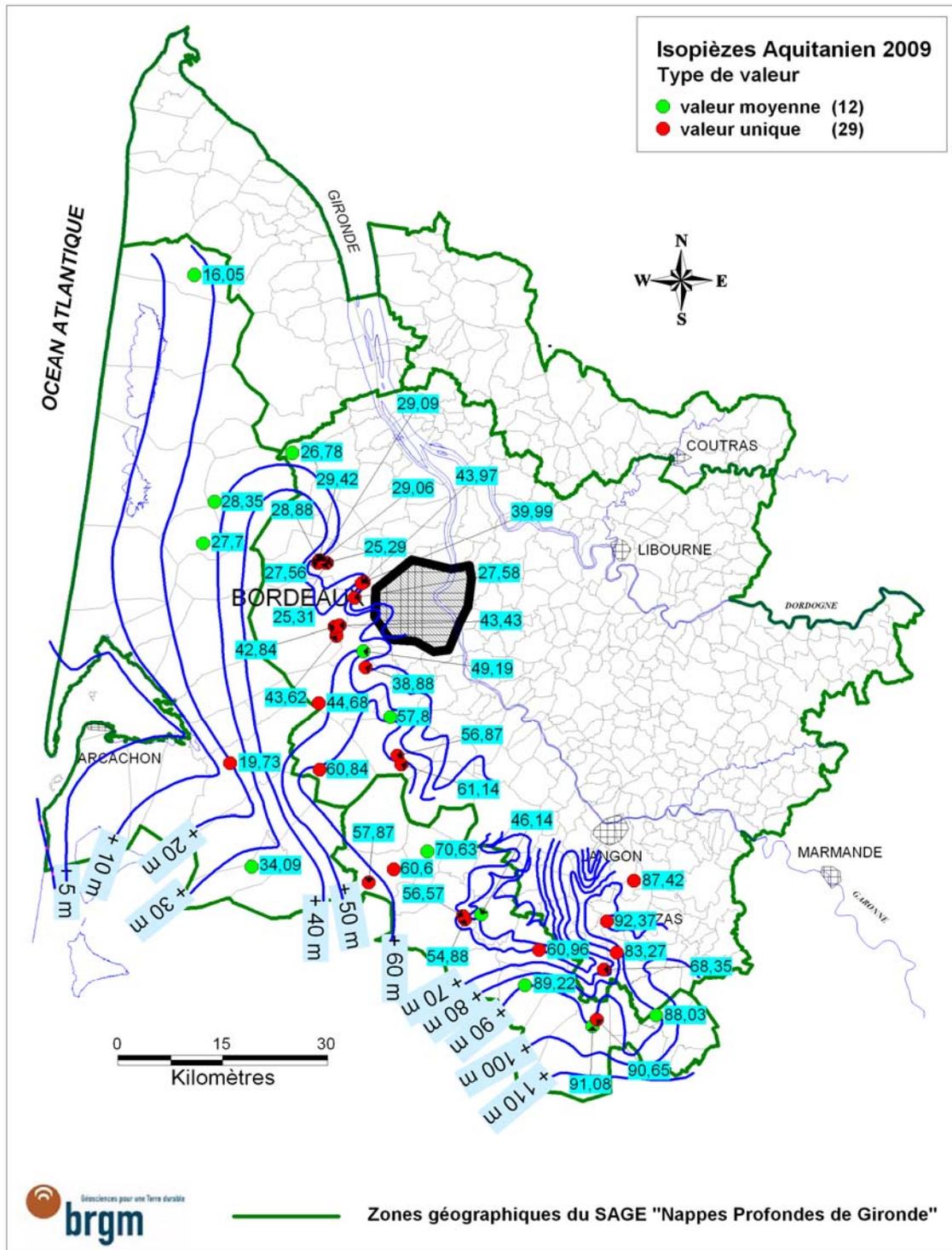
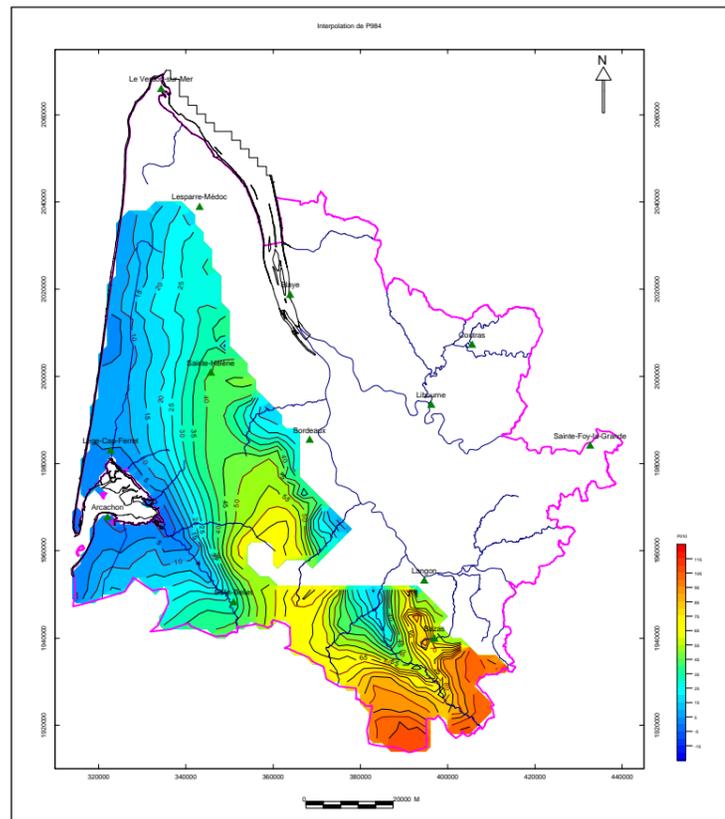
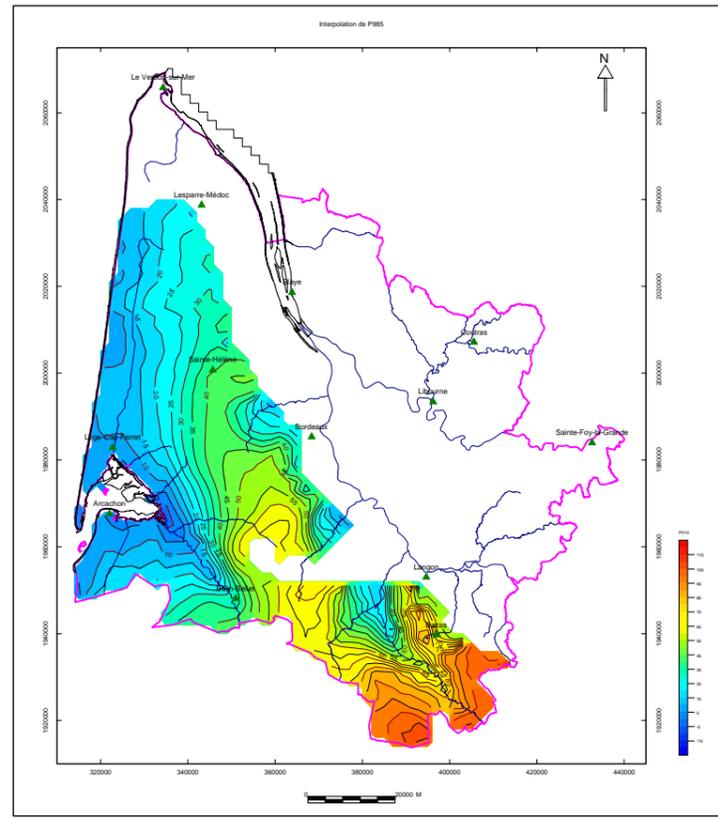


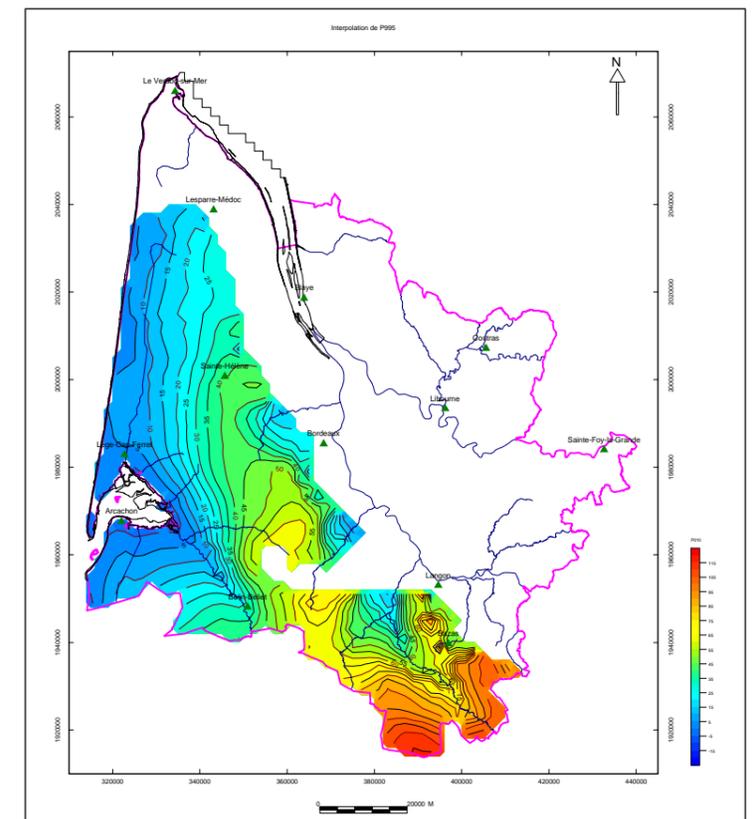
Illustration 43 : Carte piézométrique 2009 pour la nappe de l'Aquitainien



1975



1985



1995

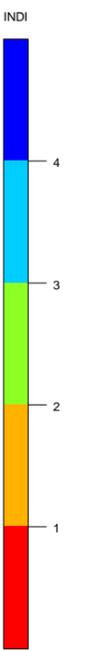
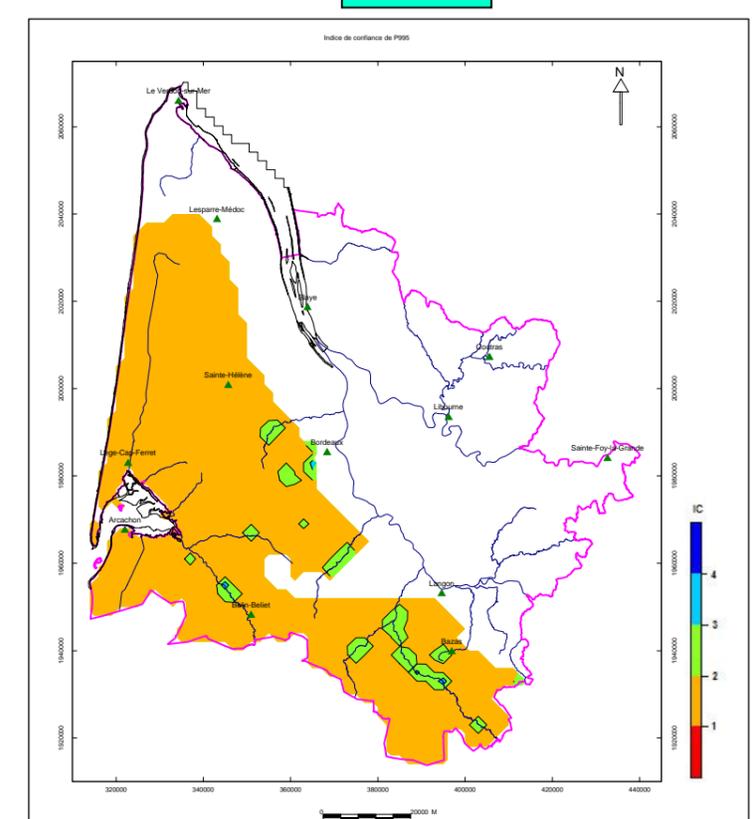
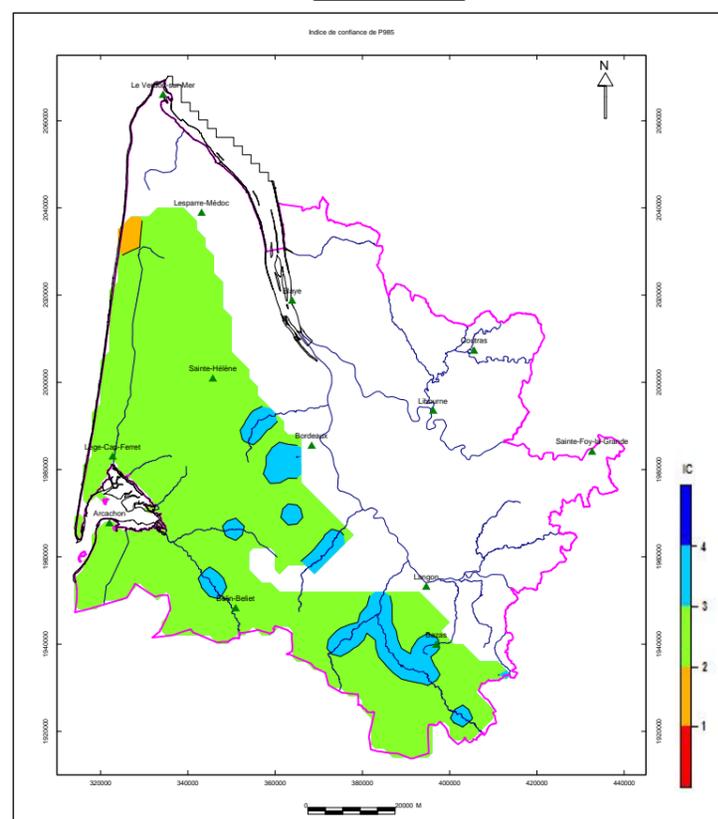
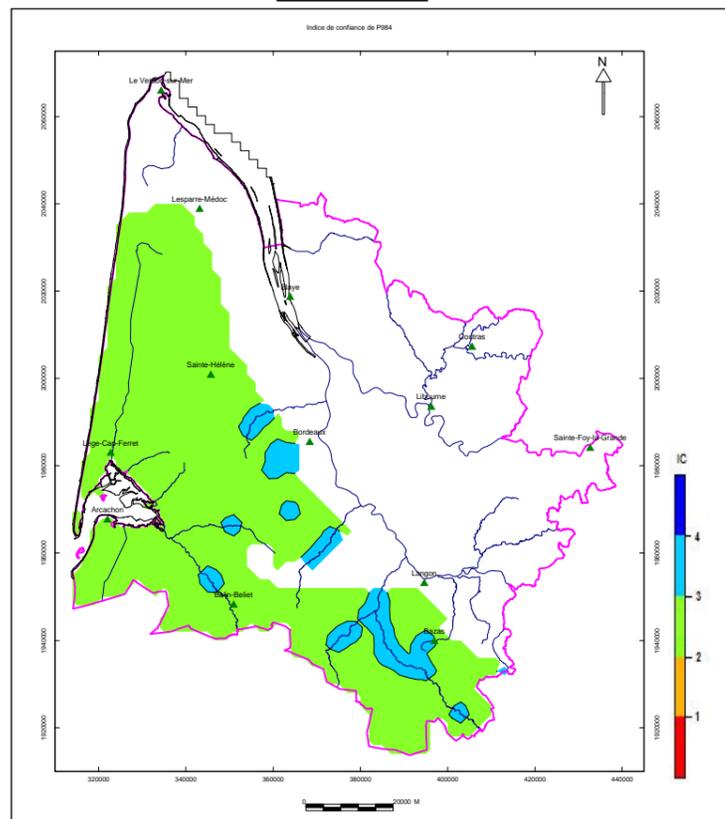
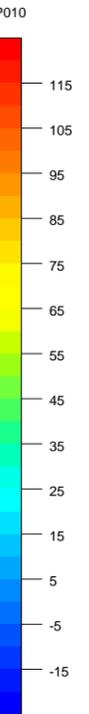


Illustration 44 : Cartes piézométriques et cartes d'indices de confiance issues du traitement géostatistique pour la nappe du Miocène et pour les années 1975, 1985 et 1995

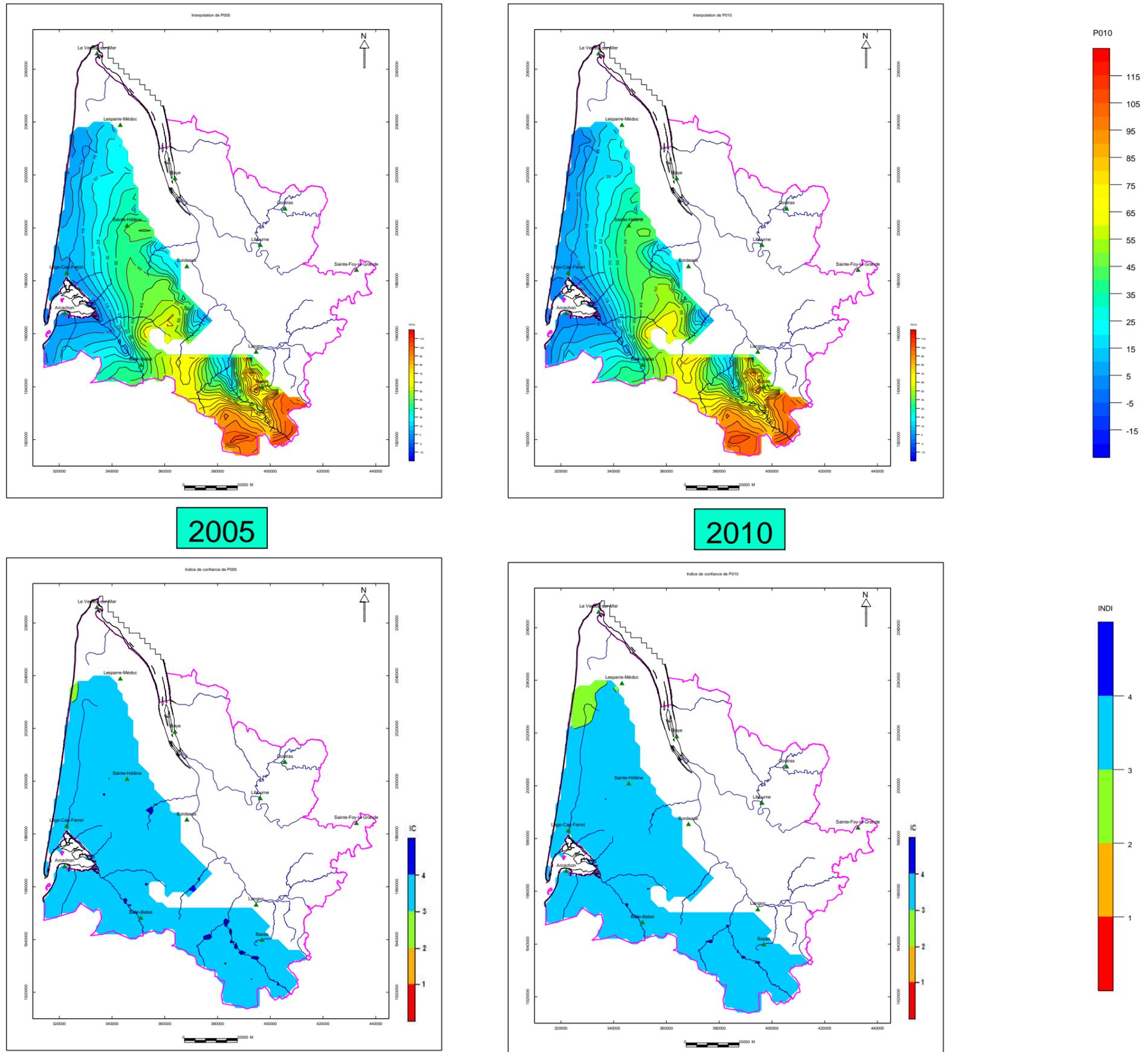


Illustration 45 : Cartes piézométriques et cartes d'indices de confiance issues du traitement géostatistique pour la nappe du Miocène et pour les années 2005 et 2010

Ces cartes sont relatives aux années 1975, 1985, 1995, 2005 et 2010. La carte de 1965 n'a pas été tracée compte tenu du faible nombre de points disponibles et de l'absence de dérive externe (la première piézométrie MONA date en effet de 1972).

Il apparaît que :

- les cartes représentant les indices de confiance 1975 et 1985 sont quasi similaires (nombres de données prises en compte très proches : 1984 pour l'interpolation de 1975 et 1985 pour l'interpolation de 1985). L'indice de confiance s'est ensuite dégradé en 1995 (écart-types des valeurs plus importants en lien avec un phénomène non identifié à ce jour). On note ensuite une amélioration en 2005 et 2010 (prédominance de la couleur bleu clair),
- dans le sud du Médoc (secteur de Sainte-Hélène), le tracé semi-automatique des cartes met en évidence un dôme piézométrique (+ 45 m NGF) lié à la topographie qui jusqu'à présent n'était pas représenté sur les cartes piézométriques manuelles. On retrouve ce dôme sur les cartes piézométriques de l'Eocène et de l'Oligocène,
- au sud de Langon et dans le secteur de Belin-Beliet, les cartes mettent en évidence le drainage de l'aquifère du Miocène par les cours d'eau du « Ciron » et de la « Leyre » (convergence des lignes de courant vers les cours d'eau),
- dans l'ouest du département, les cartes mettent en évidence une certaine fluctuation du niveau piézométrique (isopièzes +5 m NGF et +10 m NGF en particulier) qui est probablement en lien avec les prélèvements effectués dans le Médoc et à l'ouest du département.

Afin d'aller plus loin dans la comparaison des états piézométriques, les volumes compris entre les surfaces piézométriques relatives aux années 1975, 1985, 1995, 2005 et 2010 ont été calculés et reportés dans le tableau de l'illustration 46.

A ce stade, ils correspondent à des volumes de terrain et non à des stocks d'eau. Ils pourront être revus en fonction des avancées du module 2 (développement méthodologique).

Deux dégradations (1985-1995 et 2005-2010) ont succédé à deux améliorations (1975-1985 et 1995-2005). La dernière dégradation semble néanmoins moins sévère que la première (volume moins important).

Il est à rappeler que les fluctuations de la nappe du Miocène sont liées aux conditions météorologiques ainsi qu'aux prélèvements (importants dans l'ouest du département où de fortes fluctuations ont pu être notées).

<b>Année</b>	<b>Volume compris entre les 2 surfaces piézométriques (km<sup>3</sup>)</b>	<b>Tendance</b>
2010-2005	-0,74	dégradation
2005-1995	4,8	amélioration
1995-1985	-10	dégradation
1985-1975	4,64	amélioration

*Illustration 46 : Volumes compris entre les surfaces piézométriques pour la nappe du Miocène*

## 7. Conclusion

Les investigations menées dans le cadre du module 2 de la convention « Eaux souterraines » ont permis de tester différentes méthodes d'interpolation.

La méthode qui a été jugée la plus adaptée à la valorisation des données piézométriques (krigeage avec dérive externe) a été utilisée pour traiter les données piézométriques acquises lors de ces 35 dernières années (1975-2010) dans le cadre du programme intitulé « Gestion des nappes de Gironde » (partenariat Conseil Général/BRGM).

Pour chaque aquifère étudié (Crétacé, Eocène, Oligocène et Miocène), la méthode a consisté à sélectionner les données, à les préparer, à les vérifier et à les traiter. Dans tous les cas, la dérive externe utilisée correspond à la piézométrie issue du modèle MONA de l'année n-2 (première année disponible : 1972).

Les résultats obtenus pour la nappe du Crétacé n'ont pas été jugés satisfaisants. La prise en compte de l'ensemble des mesures piézométriques effectuées dans le Crétacé supérieur (contrairement aux cartes manuelles qui ne tiennent compte que des mesures effectuées dans le Crétacé terminal) pour compenser le faible nombre de données disponibles n'a pas permis d'obtenir des isopièzes cohérentes. Pour cet aquifère, la référence restera donc la carte manuelle.

Pour l'Eocène, l'Oligocène et le Miocène, 5 cartes piézométriques relatives aux années 1975, 1985, 1995, 2005 et 2010 ainsi que 5 cartes représentant les indices de confiance (écart-type des valeurs interpolées) ont pu être obtenues.

Dans un premier temps, les cartes piézométriques et les cartes d'indice de confiance issues des méthodes géostatistiques ont été comparées entre elles pour mettre en évidence d'éventuelles évolutions au fil du temps. Les cartes piézométriques ont ensuite été comparées aux cartes manuelles établies pour l'année 2009. Les volumes compris entre les différentes surfaces piézométriques ont enfin été calculés de façon à identifier les tendances d'évolution (amélioration ou dégradation) au travers des décennies.

De façon globale, on observe une amélioration de la fiabilité des cartes au fil du temps en lien direct avec le développement des réseaux (prise en compte d'un nombre d'observations de plus en plus important et rationalisation). Le travail qui a été réalisé a aussi permis de mettre en évidence des structures qui n'étaient pas prises en compte sur les cartes dont le tracé était effectué manuellement (dôme piézométrique à l'est de Sainte-Hélène en particulier).

Les tendances d'évolution sont, quant à elles, variables d'un aquifère à l'autre pour un même laps de temps car elles dépendent de facteurs qui influencent plus ou moins les réservoirs (conditions météorologiques, prélèvements...).

A l'avenir, les cartes piézométriques du programme « Gestion des nappes de Gironde » seront tracées soit de façon semi-automatique selon la méthodologie décrite dans ce rapport, soit de façon manuelle en tenant compte des résultats obtenus.

## 8. Bibliographie

**Bourgine B., Pédrón N., Abou Akar A. (2011)** - Piézométrie des systèmes aquifères : outils de cartographie et optimisation de réseaux de surveillance – Année 2. BRGM/RP-60153-FR, 73 p., 39 fig., 6 tab., 1 ann.

**Corbier P., Abou Akar A., Mazurier C., Platel J.P. avec la collaboration de Caperan F., Grabenstaetter L., Fondin A. et Hoareau A. (2010)** - Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde - Etat des connaissances à fin 2009. BRGM/RP-59202-FR, 211 p., 86 illustrations, 6 annexes.



## **Annexe 1**

### **Vérification des données**



Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde  
Utilisation de méthodes géostatistiques

BSS	P010	M008	R010	Type	Remarque	Conclusion
Première itération						
08272X0397	-7,18	-17,13	9,95	GN33	P=-7,32 m est atteint en 1980 La mesure est cohérente Il n'existe qu'une seule mesure en 2010 La mesure fait partie du relevé annuel Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	La donnée est supprimée, car $R >  5 $
08308X0006	79,99	65,39	14,60	GN24	La piézométrie est stable depuis 1995 dont la moyenne est de 79,70 m La mesure est cohérente Il n'existe qu'une seule mesure en 2010 Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	La donnée est supprimée, car $R >  5 $
08057X0001	7,15	2,74	4,41	GN33	La piézométrie est en décroissante depuis 1997 où P=12,97 m, elle diminue de 10 à 80 cm chaque année Il existe 3 mesures en 2010 qui sont à peu près identiques Le 27/10/2010 : P = 7,36 m Le 26/11/2010 : P = 7,13 m Le 22/12/2010 : P = 6,95 m La mesure est cohérente Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	La donnée est gardée
07548X0195	6,42	1,87	4,55	GN33	Depuis 1993, la piézométrie varie entre 4,08 m et 7,15 m, la moyenne générale de 1998 à 2010 est estimée à 5,09 m Il n'existe qu'une seule mesure en 2010 La mesure est cohérente Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	La donnée est gardée
08278X0129	-8,82	-12,42	3,60	GN33	Depuis 2005, la piézométrie varie entre -10,28 m et 8,61 m, la moyenne générale de 2005 à 2010 est estimée à -9,73 m Il n'existe qu'une seule mesure en 2010 La mesure est cohérente Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	La donnée est gardée
08051X0001	7,73	2,90	4,83	GN24	La piézométrie est en décroissance depuis 1995 où P=10,97 m, elle diminue de 10 à 70 cm chaque année Les mesures ont été journalières du 15/10/2010 au 30/12/2010 En octobre : Pmoy = 7,58 m En novembre : Pmoy = 7,72 m En décembre : Pmoy = 7,82 m La mesure est cohérente Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	La donnée est gardée
07543X0069	7,25	2,79	4,46	GN33	Depuis 1987, la piézométrie varie entre 7,9 m et 3,37 m, la moyenne générale de 1987 à 2010 est estimée à 5,69 m La mesure est cohérente Il n'existe qu'une seule mesure en 2010 Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	La donnée est gardée
07783X0002	8,49	3,10	5,39	GN33	La piézométrie est stable depuis 2005 dont la moyenne est de 8,50 m La mesure est cohérente	La donnée est supprimée, car $R >  5 $

					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08046X0014	3,77	-2,03	5,80	GN33	Le piézométrie est croissante depuis 2005 où P=2,27 m, elle augmente de 10 à 60 cm chaque année. Il existe 3 mesures en 2010 qui sont à peu près identiques Le 25/10/2010 : P = 3,66 m Le 19/11/2010 : P = 3,78 m Le 03/12/2010 : P = 3,88 m La mesure est cohérente Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	La donnée est supprimée, car R> 5
07794X0014	24,25	14,92	9,33	GN33	La piézométrie est stable depuis 2000 dont la moyenne est de 24,24 m Les mesures ont été journalières du 01/10/2010 au 31/12/2010 En octobre : Pmoy = 24,17 m En novembre : Pmoy = 24,24 m En décembre : Pmoy = 24,33 m La mesure est cohérente Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	La donnée est supprimée, car R> 5
08035X0393	-8,83	-14,82	5,99	GN33	Depuis 1992, la piézométrie varie entre -16,07 m et -5,66 m, la moyenne générale de 1992 à 2010 est estimée à -11,4 m Il existe 2 mesures en 2010 Le 19/10/2010 : P = -9,04 m Le 16/11/2010 : P = -8,62 m La mesure est cohérente Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	La donnée est supprimée, car R> 5
07787X0011	19,75	8,89	10,86	GN33	La piézométrie est stable depuis 2000 dont la moyenne est de 19,54 m Il n'existe qu'une seule mesure en 2010 La mesure est cohérente Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	La donnée est supprimée, car R> 5
08272X0327	-28,83	-16,67	-12,16	GN33	La piézométrie est stable depuis 2002 dont la moyenne est de 28,96 m Il n'existe qu'une seule mesure en 2010 La mesure est cohérente Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	La donnée est supprimée, car R> 5
08522X0116	-10,25	-2,51	-7,74	GN33	La piézométrie est stable depuis 2005 dont la moyenne est de -9,89 m Il n'existe qu'une seule mesure en 2010 La mesure est cohérente Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	La donnée est supprimée, car R> 5
07552X0042	1,22	9,43	-8,21	GN33	La piézométrie est stable depuis 1998 dont la moyenne est de 1,40 m Il n'existe qu'une seule mesure en 2010 La mesure est cohérente Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	La donnée est supprimée, car R> 5
08764X0008	-3,48	5,81	-9,28	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 2004 où P=-1,37 m, elle diminue de 10 à 70 cm chaque année Les mesures ont été journalières du 01/10/2010 au 31/12/2010	La donnée est supprimée, car R> 5

Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde  
Utilisation de méthodes géostatistiques

					En octobre : Pmoy = -3,54 m	La donnée est supprimée, car $R >  5 $
					En novembre : Pmoy = -3,47 m	
					En décembre : Pmoy = -3,42 m	
					La mesure est cohérente	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08272X0404	-21,14	-13,96	-7,18	GN33	Depuis 2005, la piézométrie varie entre -18,28 m et -24,32 m, la moyenne générale de 2005 à 2010 est estimée à -21,12 m	La donnée est supprimée, car $R >  5 $
					Il existe 2 mesures en 2010	
					Le 20/10/2010 : P = -24,71 m	
					Le 15/12/2010 : P = -17,57 m	
					Hypothèse : la différence entre les 2 mois peut être expliquée par une recharge après exploitation de la nappe durant la saison estivale	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08057X0002	-5,20	2,74	-7,94	GN33	Depuis 1988, la piézométrie varie entre 3,49 m et -11,78 m, la moyenne générale de 1988 à 2010 est estimé à -11,4 m	La donnée est supprimée, car $R >  5 $
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08066X0045	6,18	17,92	-11,74	GN24	Depuis 1995, la piézométrie varie entre 11,62 m et 0,42 m, la moyenne générale de 1995 à 2010 est estimée à 6,46 m	La donnée est supprimée, car $R >  5 $
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
07552X0003	1,26	9,15	-7,89	GN33	La piézométrie est stable depuis 1999 dont la moyenne est de 1,43 m	La donnée est supprimée, car $R >  5 $
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08541X0001	-1,43	6,49	-7,92	GN47	La piézométrie est en décroissance depuis 2004 où P=0,91 m, elle diminue de 10 à 90 cm chaque année avec une remontée en 2008 de 70 cm	La donnée est supprimée, car $R >  5 $
					Les mesures ont été journalières du 01/10/2010 au 30/12/2010	
					En octobre : Pmoy = -1,52 m	
					En novembre : Pmoy = -1,41 m	
					En décembre : Pmoy = -1,36 m	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08494X0057	-2,81	2,29	-5,09	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 2008 où P=1,38 m, elle diminue de 1 à 1,4 m chaque année	La donnée est gardée
					Il existe 2 mesures en 2010	
					Le 03/11/2010 : P = -2,01 m	
					Le 21/12/2010 : P = -3,6 m	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
07548X0197	-4,25	1,65	-5,90	GN33	La piézométrie est stable depuis 1989 dont la moyenne est de -4,3319 m	La donnée est supprimée, car $R >  5 $

					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010					
					La mesure est cohérente					
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie					
07804X0001	7,05	15,99	-8,95	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 1998 où P=10,31 m, elle diminue de 10 cm à 50 cm chaque année	La donnée est supprimée, car $R >  5 $				
					Les mesures ont été journalières du 01/10/2010 au 31/12/2010					
					En octobre : Pmoy = 6,83 m					
					En novembre : Pmoy = 7,10 m					
					En décembre : Pmoy = 7,21 m					
					La mesure est cohérente					
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie					
08046X0024	-3,70	-1,87	-1,83	GN33	La piézométrie était en décroissance jusqu'en 2006 où P=-4,26 m, depuis elle s'est stabilisé avec une moyenne de 3,62 m		La donnée est gardée			
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010					
					La mesure est cohérente					
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie					
07783X0008	0,93	2,74	1,81	GN33	La piézométrie a légèrement baissé depuis 2002 où P=1,48 m, en moyenne la nappe se stabilise autour de 1,38 m			La donnée est gardée		
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010					
					La mesure est cohérente					
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie					
08258X0005	4,63	2,78	1,85	GN33	Ce piézomètre a connu une baisse de son niveau depuis 1998 jusqu'en 2007, depuis la piézométrie remonte	La donnée est gardée				
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010					
					La mesure est cohérente					
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie					
07811X0011	28,85	25,52	3,33	GN24	La piézométrie connaît une légère décroissance depuis 1996 où P=30,67 m, elle diminue de 0 à 80 cm chaque année		La donnée est gardée			
					Les mesures ont été journalières du 01/10/2010 au 30/12/2010					
					En octobre : Pmoy = 28,68 m					
					En novembre : Pmoy = 28,87 m					
					En décembre : Pmoy = 29 m					
					La mesure est cohérente					
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie					
08288X0003	1,16	-2,59	3,75	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 1999 où P=4,24 m, elle diminue de 20 cm à 1,1 m chaque année			La donnée est gardée		
					Les mesures ont été journalières du 01/10/2010 au 30/12/2010					
					En octobre : Pmoy = 1,07 m					
					En novembre : Pmoy = 1,15 m					
					En décembre : Pmoy = 1,27 m					
					La mesure est cohérente					
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie					
08035X0425	-11,18	-15,21	4,03	GN33	Depuis 1982 où P=-9,244 m, la piézométrie a connu une baisse jusqu'en 1991 où P=-18,13 m, depuis la piézométrie remonte	La donnée est gardée				

Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde  
Utilisation de méthodes géostatistiques

					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08277X0161	-17,84	-12,80	-5,04	GN33	La piézométrie est stable depuis 1993 dont la moyenne est de -17,05 m	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08048X0048	-4,30	-0,31	-3,99	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 1992 où P=5,45 m, elle diminue de 0 à 2 m chaque année	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
07793X0004	6,16	7,05	-0,89	GN33	La piézométrie est en croissance depuis 2008 où P=4,36 m, elle monte de 80 cm à 1 m chaque année	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
07788X0037	0,79	1,31	-0,52	GN33	Depuis 1987, la piézométrie varie entre 4,70 m et -1,55 m, la moyenne générale de 1987 à 2010 est estimée à 2 m	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08035X0376	-17,10	-14,91	-2,20	GN33	La piézométrie est stable depuis 1993 dont la moyenne est de -18,7 m	La donnée est gardée
					Il existe 3 mesures en 2010	
					Le 19/10/2010 : P = -17,93 m	
					Le 16/11/2010 : P = -17,47 m	
					Le 14/12/2010 : P = -15,91 m	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
Seconde itération						
08277X0003	-15,19	-14,39	-0,80	GN33	La piézométrie est en décroissance et varie depuis 1992 où P=-12,31 m, elle diminue et varie de 0 à 3 m chaque année	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08277X0215	-14,91	-15,70	0,79	GN33	Depuis 1997, la piézométrie varie entre -11,8 m et -21,18 m, la moyenne générale de 1997 à 2010 est estimée à -16,32 m	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08278X0023	-10,41	-12,84	2,43	GN33	La piézométrie est stable depuis 1989 dont la moyenne est de -11,22 m	La donnée est supprimée, car $R >  2 $
					Les mesures ont été journalières du 01/10/2010 au 30/12/2010	
					En octobre : Pmoy = -10,87 m	
					En novembre : Pmoy = -10,28 m	
					En décembre : Pmoy = -10,09 m	

					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
07791X0004	6,00	2,52	3,48	GN33	La piézométrie est stable depuis 1996 dont la moyenne est de 5,02 m	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08031X0198	-7,88	-11,67	3,79	GN33	Depuis 1993, la piézométrie varie entre -14,38 m et -4,52 m, la moyenne générale de 1993 à 2010 est estimée à -7,32 m	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
07788X0038	7,55	2,21	5,34	GN33	La piézométrie est stable depuis 1996 dont la moyenne est de 7,71 m	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il existe 3 mesures en 2010	
					Le 06/10/2010 : P = 7,01 m	
					Le 03/11/2010 : P = 7,65 m	
					Le 09/12/2010 : P = 7,98 m	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
07788X0001	11,74	5,93	5,80	GN33	Depuis 1998, la piézométrie varie entre 13,92 m et 7,58 m, la moyenne générale de 1998 à 2010 est estimée à 10,8 m	La donnée est supprimée, car R> 2
					Les mesures ont été journalières du 01/10/2010 au 30/12/2010	
					En octobre : Pmoy = 11,06 m	
					En novembre : Pmoy = 12,32 m	
					En décembre : Pmoy = 11,85 m	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08762X0018	-5,61	2,70	-8,31	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 2000 où P=0,21 m, elle diminue de 0 à 1 m chaque année	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08285X0029	-11,95	-7,57	-4,38	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 1992 où P=-7,11 m, elle diminue de 0 à 1,5 m chaque année	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
07542X0044	0,87	3,66	-2,79	GN33	La piézométrie est stable depuis 2005 dont la moyenne est de 0,68 m	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
07552X0012	4,15	8,27	-4,12	GN33	La piézométrie est stable depuis 1996 dont la moyenne est de 4,76 m	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il n'existe que 2 mesures en 2010	
					Le 26/10/2010 : P = 3,97 m	
					Le 16/12/2010 : P = 4,32 m	

Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde  
Utilisation de méthodes géostatistiques

					La mesure est cohérente	La donnée est gardée
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08046X0024	-3,70	-1,87	-1,83	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 1998 où P=-0,56 m, elle diminue de 0 à 1 m chaque année	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08281X0022	-8,40	-5,80	-2,60	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 1997 où P=-3,53 m, elle diminue de 0 à 1,5 m chaque année	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08051X0035	-1,39	2,04	-3,42	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 2002 où P=1,14 m, elle diminue de 0 à 50 cm chaque année	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il existe 2 mesures en 2010	
					Le 28/10/2010 : P = -1,55 m	
					Le 23/12/2010 : P = -1,22 m	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08057X0013	-1,71	3,22	-4,93	GN33	La piézométrie est stable depuis 2006 dont la moyenne est de -1,05 m	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
07808X0008	3,46	4,51	-1,05	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 1992 où P=9,29 m, elle diminue de 0 à 2,5 m chaque année	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08057X0001	7,15	2,74	4,41	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 1997 où P=12,97 m, elle diminue de 10 à 80 cm chaque année	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il existe 3 mesures en 2010 qui sont à peu près identiques	
					Le 27/10/2010 : P = 7,36 m	
					Le 26/11/2010 : P = 7,13 m	
					Le 22/12/2010 : P = 6,95 m	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
07548X0195	6,42	1,87	4,55	GN33	Depuis 1993, la piézométrie varie entre 4,08 m et 7,15 m, la moyenne générale de 1998 à 2010 est estimée à 5,09 m	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08278X0129	-8,82	-12,42	3,60	GN33	Depuis 2005, la piézométrie varie entre -10,28 m et 8,61 m, la moyenne générale de 2005 à 2010 est estimée à -9,73 m	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	

08051X0001	7,73	2,90	4,83	GN24	La piézométrie est en décroissance depuis 1995 où P=10,97 m, elle diminue de 10 à 70 cm chaque année	La donnée est supprimée, car R> 2
					Les mesures ont été journalières du 15/10/2010 au 30/12/2010	
					En octobre : Pmoy = 7,58 m	
					En novembre : Pmoy = 7,72 m	
					En décembre : Pmoy = 7,82 m	
					La mesure est cohérente	
Le modèle MONA sous-estime la piézométrie						
07543X0069	7,25	2,79	4,46	GN33	Depuis 1987, la piézométrie varie entre 7,9 m et 3,37 m, la moyenne générale de 1987 à 2010 est estimée à 5,69 m	La donnée est supprimée, car R> 2
					La mesure est cohérente	
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
Le modèle MONA sous-estime la piézométrie						
08494X0057	-2,81	2,29	-5,09	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 2008 où P=1,38 m, elle diminue de 1 à 1,4 m chaque année	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il existe 2 mesures en 2010	
					Le 03/11/2010 : P = -2,01 m	
					Le 21/12/2010 : P = -3,6 m	
					La mesure est cohérente	
Le modèle MONA sur-estime la piézométrie						
08258X0005	4,63	2,78	1,85	GN33	Ce piézomètre a connu une baisse de son niveau de 1998 jusqu'en 2007, depuis la piézométrie remonte	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
Le modèle MONA sous-estime la piézométrie						
08288X0003	1,16	-2,59	3,75	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 1999 où P=4,24 m, elle diminue de 20 cm à 1,1 m chaque année	La donnée est supprimée, car R> 2
					Les mesures ont été journalières du 01/10/2010 au 30/12/2010	
					En octobre : Pmoy = 1,07 m	
					En novembre : Pmoy = 1,15 m	
					En décembre : Pmoy = 1,27 m	
					La mesure est cohérente	
Le modèle MONA sous-estime la piézométrie						
08035X0425	-11,18	-15,21	4,03	GN33	Depuis 1982 où P=-9,244 m, la piézométrie a connu une baisse jusqu'en 1991 où P=-18,13 m, depuis la piézométrie remonte	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
Le modèle MONA sur-estime la piézométrie						
08277X0161	-17,84	-12,80	-5,04	GN33	La piézométrie est stable depuis 1993 dont la moyenne est de -17,05 m	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
Le modèle MONA sur-estime la piézométrie						
08048X0048	-4,30	-0,31	-3,99	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 1992 où P=5,45 m, elle diminue de 0 à 2 m chaque année	La donnée est supprimée, car R> 2
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	

Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde  
Utilisation de méthodes géostatistiques

					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
07788X0037	0,79	1,31	-0,52	GN33	Depuis 1987, la piézométrie varie entre 4,70 m et -1,55 m, la moyenne générale de 1987 à 2010 est estimée à 2 m	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08035X0376	-17,10	-14,91	-2,20	GN33	La piézométrie est stable depuis 1993 dont la moyenne est de -18,7 m	La donnée est supprimée, car $R >  2 $
					Il existe 3 mesures en 2010	
					Le 19/10/2010 : P = -17,93 m	
					Le 16/11/2010 : P = -17,47 m	
					Le 14/12/2010 : P = -15,91 m	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
Troisième itération						
07808X0008	3,46	4,51	-1,05	GN33	La piézométrie est en décroissance depuis 1992 où P=9,29 m, elle diminue de 0 à 2,5 m chaque année	La donnée est supprimée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08277X0215	-14,91	-15,70	0,79	GN33	Depuis 1997, la piézométrie varie entre -11,8 m et -21,18 m, la moyenne générale de 1997 à 2010 est estimée à -16,32 m	La donnée est supprimée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sous-estime la piézométrie	
08277X0003	-15,19	-14,39	-0,80	GN33	La piézométrie est en décroissance et varie depuis 1992 où P=-12,31 m, elle diminue et varie de 0 à 3 m chaque année	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08046X0024	-3,70	-1,87	-1,83	GN33	La piézométrie était en décroissance jusqu'en 2006 où P=-4,26 m, depuis elle s'est stabilisée avec une moyenne de 3,62 m	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
07793X0004	6,16	7,05	-0,89	GN33	La piézométrie est en croissance depuis 2008 où P=4,36 m, elle monte de 80 cm à 1 m chaque année	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08037X0418	-8,27	-8,36	0,09	GN33	La piézométrie est stable depuis 2007 dont la moyenne est de -8,25 m	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
07808X0196	4,35	3,66	0,69	GN33	La piézométrie était en décroissance jusqu'en 1992 où P=-10,72 m, elle diminue de 0 à 1 m chaque année	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	

Contrôle qualité et gestion des nappes d'eau souterraine en Gironde  
Etat des connaissances à fin 2007

					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
07808X0007	7,35	3,64	3,70	GN33	La piézométrie est stable depuis 2005 dont la moyenne est de -7,77 m	La donnée est gardée
					Il existe 3 mesures en 2010	
					Le 21/10/2010 : P = 6,99 m	
					Le 19/11/2010 : P = 7,43 m	
					Le 03/12/2010 : P = 7,62 m	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	
08277X0013	-15,06	-11,14	-3,92	GN33	La piézométrie est stable depuis 2004 dont la moyenne est de -15,08 m	La donnée est gardée
					Il n'existe qu'une seule mesure en 2010	
					La mesure est cohérente	
					Le modèle MONA sur-estime la piézométrie	



**Centre scientifique et technique**  
3, avenue Claude-Guillemin  
BP 6009  
45060 – Orléans Cedex 2 – France  
Tél. : 02 38 64 34 34

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