

# CONVENTION DE RECHERCHE & DÉVELOPPEMENT PARTAGÉS

## ENTRE

Le **BRGM**, Bureau de Recherches Géologiques et Minières, établissement public de recherche et d'expertise, EPIC, dont le siège se trouve Tour Mirabeau, 39-43 Quai André Citroën, 75739 Paris cedex 15, représenté par Thierry Winter, Directeur adjoint de la Direction de l'Appui aux Politiques Publiques du BRGM, ayant tous pouvoirs à cet effet.

Ci-après désigné par le **BRGM**

**D'une part,**

## ET

**La Communauté Urbaine de Bordeaux** dont le siège est situé ..... , représenté par Monsieur ..... , Président du ..... , agissant es qualités en vertu d'une délibération en date du .....

Ci-après désignée par – **La Communauté Urbaine de Bordeaux**

**D'autre part,**

Le BRGM et la Communauté Urbaine de Bordeaux étant ci-après désignés individuellement et/ou collectivement par la (les) « Partie(s) ».

## VU

Le décret n° 59-1205 du 23 octobre 1959 modifié relatif à l'organisation administrative et financière du Bureau de Recherches Géologiques et Minières ;

Le décret du 22 décembre 1967 portant regroupement du service de la carte géologique et du BRGM ;

Le contrat quadriennal ETAT-BRGM pour la période 2013/2017, approuvé par le conseil d'administration du BRGM le 29 novembre 2013 ;

Les orientations du service public du BRGM pour l'année 2014 adoptées par le « Comité National d'Orientations du Service public » le 3 mai 2013.

## RAPPEL

- A. Le BRGM est un établissement public de recherche qui est aussi chargé d'une mission d'appui aux politiques publiques de collecte, de capitalisation et de diffusion des connaissances, dans le domaine des sciences de la Terre et en particulier concernant la gestion des eaux souterraines. Dans ce cadre, il acquiert sur l'ensemble des nappes profondes de Gironde des chroniques de données décrivant l'état qualitatif et quantitatif des ressources et il développe des méthodes et outils de modélisation permettant de simuler et d'analyser l'impact de différents scénarios de prélèvements et de recharge sur l'évolution des niveaux piézométriques des grandes nappes profondes du nord du Bassin aquitain.
- B. Par délibération n°2013/0062 en date du 18 janvier 2013, la Communauté urbaine de Bordeaux (CUB), dans le cadre de l'exercice de sa compétence Alimentation en eau potable, a confirmé son engagement de porter la maîtrise d'ouvrage du 1<sup>er</sup> projet de ressource de substitution désigné comme le projet « Champ captant des Landes du Médoc » et à décidé d'amorcer la mise en œuvre de ce projet par la réalisation des études pré-opérationnelles.
- C. Le BRGM et la Communauté Urbaine de Bordeaux ont décidé d'un commun accord de mener un Programme de Recherche et de Développement Partagés destiné à l'amélioration des connaissances géologiques et hydrogéologiques de l'Oligocène dans le secteur du « champ captant des Landes du Médoc », et à la conception, en amont de la réalisation du champ captant, d'un modèle hydrodynamique de gestion fin qui permettra d'orienter les choix en cours de réalisation (emplacement optimum des forages, mise à jour de la géométrie du système multicouche) et de piloter *in fine* l'exploitation du champ, ci-après désigné par « le Programme ».
- D. Les Parties ont établi en commun le présent Programme qui répond à leurs besoins respectifs. Elles en exploiteront les résultats chacune pour son propre compte.
- E. En outre, compte tenu du fait que (i) les Parties cofinancent le Programme et que (ii) la propriété des résultats de la recherche sera partagée entre elles, la présente convention n'est pas soumise au Code des Marchés Publics, tout comme le prévoit les dispositions de son article 3.6.

**CECI ETANT RAPPELÉ, IL EST ARRÊTÉ ET CONVENU CE QUI SUIT :**

## **ARTICLE 1. OBJET**

La présente convention a pour objet de définir les termes et conditions par lesquels le BRGM et la Communauté Urbaine de Bordeaux s'engagent à réaliser le Programme visé à l'article 4.1 de la présente convention.

## **ARTICLE 2. PRISE D'EFFET, DURÉE**

### **2.1. PRISE D'EFFET**

La présente convention entre en vigueur à compter de sa signature par les Parties.

### **2.2. DURÉE**

La durée de la présente convention est prévue jusqu'au 31 décembre 2017.

## **ARTICLE 3. DOCUMENTS CONTRACTUELS**

Sont également considérés comme étant des documents contractuels faisant partie de la présente convention :

- L'Annexe A : La proposition technique et financière arrêtée par les Parties
- L'Annexe B : L'annexe financière

## **ARTICLE 4. OBLIGATIONS DU BRGM**

### **4.1. PROGRAMME D'ACTION**

Le BRGM s'engage à réaliser dans le respect des règles de l'art les tâches suivantes conformément aux conditions de l'annexe A visée à l'article 3 supra, et notamment :

- Construction d'un modèle géologique à la maille de 100 m et la base de données géologique associée au format GDM,
- Un modèle hydrodynamique local au format Marthe cohérent avec le modèle Nord-Aquitain (géométrie, conditions aux limites) et calé au pas de temps trimestriel entre 1972 et 1999, mensuel à partir de 2000.

### **4.2. LIVRABLES**

Conformément à la proposition technique et financière (Annexe A), le BRGM s'engage à remettre à la Communauté Urbaine de Bordeaux les livrables suivants :

- La base de données géologique locale au format GDM,
- Une extraction du Gigogne sous forme d'un modèle local avec les conditions aux limites du MONA (format de fichier Win Marthe),
- Deux rapports, l'un à l'issue de la phase 1, l'autre à l'issue de la phase 2. A la demande du partenaire, ces rapports seront transmis aux formats numériques uniquement (Word,

libre office et Acrobat). Une version téléchargeable gratuitement du rapport au format PDF sera mise en ligne sur le site du BRGM,

- Un diaporama Power Point reprenant les principaux points de l'étude.
- Le BRGM, sur demande de la CUB, assurera également la présentation des résultats de l'étude auprès de la Commission Locale de l'Eau du SAGE Nappes Profondes et lors de réunions publiques avec les acteurs du territoire (élus, profession agricole...).

#### **4.3. OBLIGATIONS DE MOYENS**

Il est rappelé que le contenu des documents visés au 4.2 supra résulte de l'interprétation d'informations objectives ponctuelles et non systématiques (sondages, observations visuelles, analyses, mesures...), en fonction de l'état de la science et de la connaissance à un moment donné. Aussi, le BRGM est soumis par convention expresse à une obligation de moyens étant tenu au seul respect du cahier des charges et des règles de l'art.

#### **4.4. FINANCEMENT**

Le BRGM s'engage à participer au financement du Programme pour la part qui lui revient dans les conditions exposées à l'article 7 de la présente convention, sur la Subvention pour Charge de Service Public (SCSP) qui lui est attribuée par le Ministère chargé de la Recherche (Programme 187).

### **ARTICLE 5. OBLIGATION DE LA COMMUNAUTE URBAINE DE BORDEAUX**

La Communauté Urbaine de Bordeaux s'engage à communiquer au BRGM toutes les données, informations et études qui sont en sa possession, et qui sont utiles à la réalisation de la mission visée à l'article 4.1 de la présente convention.

La Communauté Urbaine de Bordeaux s'engage à faciliter l'accès du BRGM aux informations détenues par tout tiers à la présente convention.

La Communauté Urbaine de Bordeaux s'engage à participer au financement du Programme pour la part qui lui revient dans les conditions exposées à l'article 7 de la présente convention.

### **ARTICLE 6. NOTIFICATION ET ÉLECTION DE DOMICILE**

Toute notification faite au titre de la présente convention est considérée comme valablement faite si elle est effectuée par écrit aux adresses suivantes :

Pour le BRGM : <i>Nicolas Pédrón</i> Parc Technologique Europarc 24 avenue Léonard de Vinci 33600 PESSAC France Tel : 05 57 26 52 70 Fax : 05 57 26 52 71 E-mail : <a href="mailto:n.pedron@brgm.fr">n.pedron@brgm.fr</a>	Pour la Communauté Urbaine de Bordeaux :
---	--

## **ARTICLE 7. FINANCEMENT DE LA RECHERCHE**

### **7.1. MONTANT**

Le montant du Programme visé à l'article 4.1 de la présente convention, est fixé à 165 216,66 € HT, soit 198 260,00 € TTC au taux de 20 %.

Toute modification du taux de TVA intervenant durant la période d'exécution de la présente convention sera répercutée sur le montant hors taxes exprimé ci-dessus au moment de la facturation visée à l'article 8 de la présente convention.

### **7.2. RÉPARTITION**

Le montant du Programme visé à l'article 7.1 de la présente convention fait l'objet du financement prévisionnel qui suit :

- Pour le BRGM, la somme de 33 043,33 € HT, (39 652,00 € TTC) soit 20 % du montant ;
- Pour la Communauté Urbaine de Bordeaux, la somme de 132 173,33 € HT (158 608,00 € TTC) soit 80 % du montant.

## **ARTICLE 8. FACTURATION ET PAIEMENT**

### **8.1. FACTURATION**

- a) Le BRGM étant tenu de réaliser le Programme, la part du montant lui revenant ne donnera lieu à aucune facturation.
- b) Il sera facturé à la Communauté Urbaine de Bordeaux la part du montant visé à l'article 7.2 de la présente convention :
  - à la signature de la convention : 52 869,16 € HT (63 443,00 € TTC) soit 40 % du montant ;
  - A la réception du rapport de la phase 1 : 52 869,17 € HT (63 443,00 € TTC) soit 40 % du montant ;
  - A la réception du Rapport de la phase 2 : 26 435,00 € HT (31 722,00 € TTC) soit 20 % du montant

### **8.2. PAIEMENT**

Les factures émises par le BRGM seront payées sous 30 jours à compter de la réception, par chèque ou par virement à l'adresse suivante :

TRESOR PUBLIC  
Trésorerie générale du Loiret,  
4 pl du Martroi, Orléans  
Code Banque 10071  
Code Guichet : 45000  
Compte N° 00001000034  
Clé : RIB 92.

## **ARTICLE 9. PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE**

### **9.1. DROITS ET OBLIGATION DE L'AUTEUR**

#### **9.1.1. Droits de l'Auteur**

- a) Le BRGM est l'Auteur des livrables réalisés en exécution de la présente convention, et notamment ceux visés à son article 4.2.
- b) Le BRGM est titulaire des droits visés aux articles L. 111-1 et suivants du Code de la propriété intellectuelle, à savoir des droits patrimoniaux et moraux.

#### **9.1.2. Garantie**

Le BRGM garantit qu'il est titulaire des droits de propriété intellectuelle nécessaires à l'exécution de la présente convention.

### **9.2. CESSION DES DROITS DE PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE**

#### **9.2.1. Copropriété des Droits patrimoniaux**

Le BRGM cède à la Communauté Urbaine de Bordeaux les droits patrimoniaux qu'il détient sur les livrables visés à l'article 4.2 de la présente convention de sorte qu'à l'issue de son exécution, les Parties seront co-proprétaires de ces livrables et La Communauté Urbaine de Bordeaux pourra notamment, sans l'autorisation du BRGM :

- reproduire les documents sur tous supports connus et inconnus, quel que soit le nombre d'exemplaires ;
- représenter les livrables pour tout type d'usage;
- adapter, par perfectionnements, corrections, simplifications, adjonctions, intégration à des systèmes préexistants ou à créer, transcrire dans un autre langage informatique ou dans une autre langue et créer des œuvres dérivées pour ses besoins propres.

Cette cession est faite à titre gracieux pour le monde entier et pour une durée égale à la durée des droits du BRGM.

#### **9.2.2. Droits moraux du BRGM**

Par application des articles L. 121-1 et suivants du Code de la Propriété intellectuelle, La Communauté Urbaine de Bordeaux s'engage à respecter les droits moraux du BRGM sur les livrables visés à l'article 4.2 de la présente convention, et notamment à citer le BRGM en qualité d'Auteur, sur chacune des reproductions ou représentations.

## **ARTICLE 10. DIFFUSION DES CONNAISSANCES**

### **10.1. PRINCIPE**

Les Parties s'engagent à divulguer auprès du public le plus large, les résultats, rapports et documents relevant de l'exécution de la présente convention, selon les modalités de leur choix. Il est rappelé que le BRGM, dans le cadre de sa mission d'appui aux politiques publiques, pourra mettre ces rapports et documents à disposition du public, notamment par le moyen de son site Internet.

La Communauté Urbaine de Bordeaux s'engage en outre à citer le BRGM en qualité d'Auteur, sur chacun des documents produits, présentations ou communications faites sur le Programme.

De manière réciproque, le BRGM s'engage à citer la Communauté Urbaine de Bordeaux comme partenaire sur chacun des documents produits, présentations ou communications faites sur le Programme.

### **10.2. EXCEPTIONS**

La diffusion visée à l'article 10.1 de la présente convention sera interdite dans les cas suivants :

- L'interdiction résulte d'obligations légales ou réglementaires ou du respect du droit des tiers ;
- Une Partie a notifié à l'autre Partie son intention de restreindre la diffusion d'une information et l'autre Partie a accepté de manière expresse.

## **ARTICLE 11. SOUS-TRAITANCE**

Chaque Partie peut sous-traiter, sous sa responsabilité, l'exécution de certaines parties de ses obligations contractuelles, sous réserve de respecter les dispositions de la loi n° 75-1334 du 31 décembre 1975.

## **ARTICLE 12. RESPONSABILITÉ**

Chaque Partie est responsable, tant pendant l'exécution de la présente convention, des prestations et/ou travaux qu'après leur achèvement et/ou leur réception, de tous dommages qu'elle-même, son personnel, son matériel, fournisseurs et/ou prestataires de service, pourraient causer à l'autre Partie dans la limite du montant du financement apporté par chacun et visé à l'article 7.2 de la présente convention.

## **ARTICLE 13. ASSURANCES**

Chaque partie souscrira toutes les polices d'assurance nécessaires à la garantie des préjudices matériels ou immatériels qu'elle pourrait causer à l'autre partie du fait de l'exécution de la présente convention.

## **ARTICLE 14. RÉSILIATION**

En cas de non respect par l'une ou l'autre des Parties d'une obligation substantielle inscrite dans la présente convention, celle-ci pourra être résiliée de plein droit par l'une ou l'autre des Parties à l'expiration d'un délai de trois mois suivant l'envoi d'une lettre recommandée avec accusé de réception valant mise en demeure.

En cas de résiliation anticipée de la présente convention, le BRGM présentera à la Communauté Urbaine de Bordeaux un compte rendu détaillé et un bilan financier sur la base desquels la Communauté Urbaine de Bordeaux versera au BRGM les sommes dues au prorata des actions qui auront effectivement été réalisées.

## **ARTICLE 15. DROIT APPLICABLE ET REGLEMENT DES LITIGES**

La présente convention est régie par la loi française.

Tout différend portant sur l'interprétation et/ou l'exécution de la présente convention fera l'objet d'un règlement amiable entre les Parties. En cas d'impossibilité pour les Parties de parvenir à un accord amiable dans un délai de 3 semaines suivant sa notification, le différend sera soumis au Tribunal Administratif de Bordeaux..

Fait à Pessac, en deux exemplaires,  
Le

**Pour le BRGM**

Thierry Winter

**Pour la Communauté Urbaine de  
Bordeaux**

Directeur adjoint de la Direction de  
l'Appui aux Politiques Publiques du  
BRGM

Annexe A

## PROPOSITION TECHNIQUE



Annexe B

## **ANNEXE FINANCIERE**



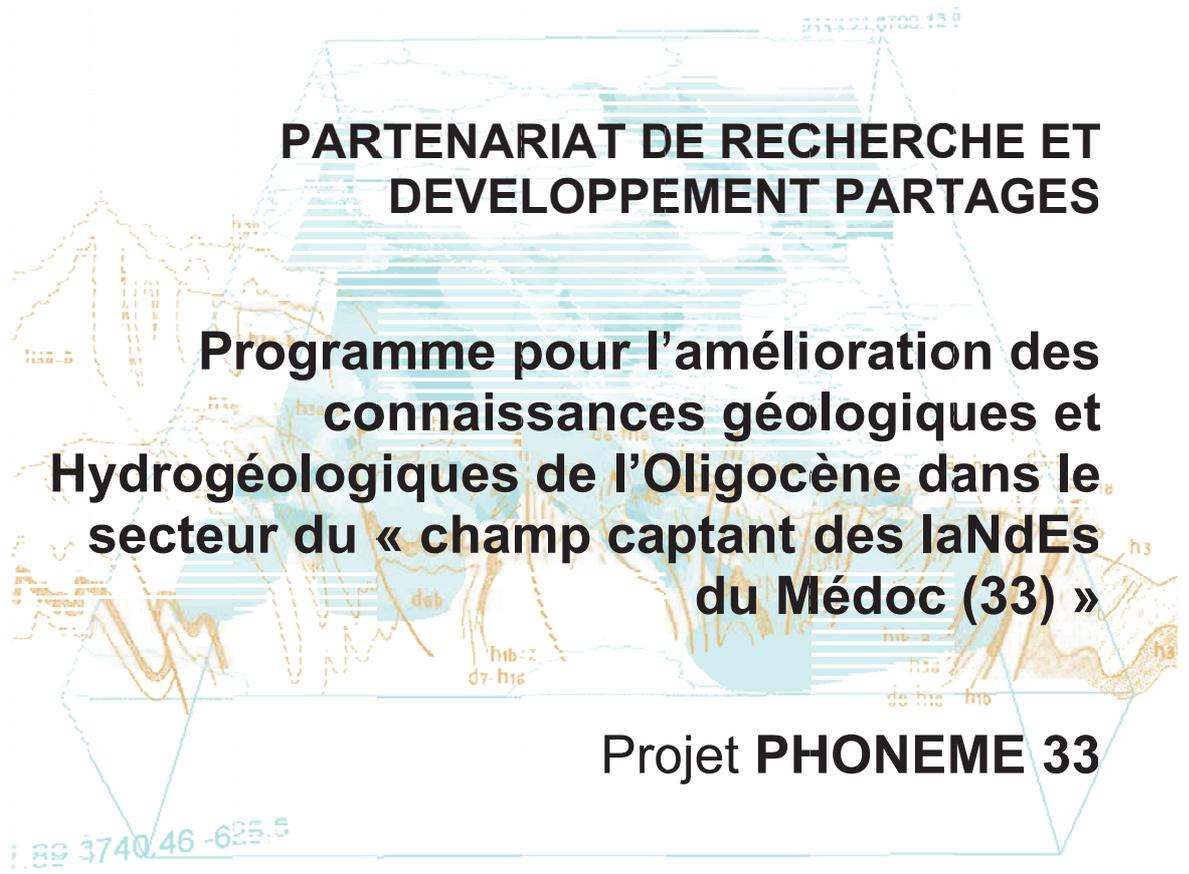
## Annexe B

Ce projet s'intègre parmi les missions prioritaires du BRGM en matière de connaissance sur les eaux souterraines. A ce titre, une part du financement de l'étude sera supportée par la Subvention pour Charges de Service Public du BRGM, apportée par le Ministère de la Recherche.

Sur cette base, et sur l'hypothèse de travaux lancés au 1<sup>er</sup> trimestre 2014, le plan de financement proposé se résume comme suit :

En € TTC	CUB (80%)	BRGM (20%)	Total
Phase 1	80 971.20	20 242.80	<b>101 214.00</b>
Phase 2	77 636.80	19 409.20	<b>97 046.00</b>
<b>Total phases 1+2</b>	<b>158 608.00</b>	<b>39 652.00</b>	<b>198 260.00</b>

La Communauté Urbaine de Bordeaux sollicitera l'Agence de l'Eau Adour-Garonne pour obtenir une subvention.



**PARTENARIAT DE RECHERCHE ET  
DEVELOPPEMENT PARTAGES**

**Programme pour l'amélioration des  
connaissances géologiques et  
Hydrogéologiques de l'Oligocène dans le  
secteur du « champ captant des laNdEs  
du Médoc (33) »**

**Projet PHONEME 33**

**Proposition technique et financière**





## 1. CONTEXTE

Dans le cadre de son approvisionnement en eau potable, la Communauté urbaine de Bordeaux (CUB) doit répondre aux enjeux suivants :

- baisse de sa capacité de production suite à la pollution récente de certaines de ses ressources,
- augmentation programmée de sa population (CUB millionnaire).

C'est dans ce contexte, et pour répondre aux objectifs d'atteinte du bon état quantitatif des nappes profondes, que le SAGE (Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux) Nappes profondes de Gironde a étudié les possibilités de mise en œuvre de nouvelles ressources et a évalué leur impact potentiel sur les aquifères nord-aquitains.

La Communauté urbaine de Bordeaux (CUB), dans l'exercice de sa compétence Alimentation en eau potable, a confirmé son engagement de porter la maîtrise d'ouvrage du 1<sup>er</sup> projet de ressource de substitution désigné comme le projet « Champ captant des Landes du Médoc » sur la commune de Saumos (33). Ce projet a fait l'objet de nombreuses études préalables auxquelles le BRGM a été associé via l'utilisation du Modèle hydrodynamique Nord-Aquitain (MONA). Cet outil de référence (cf. annexe 1), intérateur des connaissances géologiques et hydrogéologiques de la région, permet de simuler les écoulements au sein des grands aquifères du nord du Bassin. La robustesse de son calage permet de l'utiliser pour réaliser des simulations prospectives et ainsi appuyer les acteurs en charge de la gestion de ces ressources.

Il a été utilisé à plusieurs reprises, à la demande du SMEGREG, pour évaluer l'impact de l'exploitation du futur champ captant sur la nappe de l'Oligocène et les réservoirs encadrants [(Pédron et al., 2009) ; (Saltel, 2012) ; (Saltel et al., 2012) (Cabaret et al., 2012)].

Au cours des différentes étapes de son développement et dans le cadre de son utilisation sur ce secteur, le modèle Nord-Aquitain a fait l'objet d'ajustements à partir des différentes avancées : construction du modèle géologique (2000), thèses universitaires [(Larroque, 2004) ; (Saltel, 2008)], construction du modèle hydrodynamique de l'Oligocène (Saltel, 2010). Il constitue donc la base de connaissance la plus complète sur ce secteur d'étude où la densité des informations géologiques et hydrogéologiques reste malgré tout faible.

Les travaux de reconnaissance qui vont être menés pour déterminer l'implantation du futur champ captant vont amener à des avancées significatives dans la connaissance géologique et hydrogéologique des aquifères de l'Oligocène et du Miocène dans ce secteur du Médoc. Ces données nouvelles permettront d'une part d'affiner le modèle Nord-aquitain et d'autre part de produire un outil de modélisation local plus fin destiné à mieux évaluer l'impact du futur champ captant.

L'utilisation du Modèle Nord-aquitain pour créer ce modèle local, dans le cadre d'un partenariat CUB/BRGM, permettra de disposer d'un outil déjà opérationnel et de garantir la cohérence avec le modèle régional qui est l'outil de référence utilisé pour la définition des volumes prélevables du SAGE nappes profondes de Gironde. En effet, la capacité du futur champ captant (estimée 10 à 12 millions de m<sup>3</sup>/an) des « Landes du Médoc » et son impact régionalisé attendu sur la piézométrie nécessitent une prise en compte fine dans le Modèle

Nord-Aquitain. Ce travail partenarial doit donc permettre d’assurer cette cohérence entre les deux outils tout en répondant aux objectifs propres à chacun des deux organismes (connaissance géologique et hydrogéologique régionale, et fiabilité du MONA pour le BRGM ; connaissance géologique et hydrogéologique locale, et outil de pilotage opérationnel du champ captant pour la CUB).

Le raffinement du maillage dans le secteur d’intérêt sera facilité du fait de l’existence d’une base géologique consolidée au sein du BRGM et la CUB pourra s’appuyer sur l’expertise du BRGM en géologie, hydrogéologie et en modélisation. En retour, les données nouvellement acquises sur le secteur permettront de préciser la géométrie du modèle régional et d’accroître encore sa représentativité.

## 2. OBJECTIF

L’objectif global de ce programme de recherche est :

- Pour le BRGM : d’améliorer les connaissances géologiques et hydrogéologiques dans un secteur disposant de peu d’informations ce qui permettra de préciser la géométrie des aquifères et leurs paramètres hydrodynamiques, et donc d’accroître la représentativité du modèle nord Aquitain (MONA).

- Pour la CUB : d’améliorer la connaissance géologique et hydrogéologique des ressources qu’elle exploite pour l’eau potable, et d’élaborer, en amont de l’exécution du champ captant, un outil de gestion fin qui permettra d’orienter les choix en cours de réalisation (emplacement optimum des forages, mise à jour de la géométrie du système multicouche), de contrôler l’impact des différentes configurations sur l’aquifère de l’Oligocène et les aquifères encadrants (Miocène et Plio-quadernaire principalement) et à terme, pour le maître d’ouvrage, de piloter l’exploitation du champ.

### **Phase 1 - préalable :**

La première étape consistera à construire à l’aide de GDM (Geological Data Management) un modèle géologique fin à la maille de 100 m sur l’extension du domaine d’intérêt. L’extension de ce modèle (en rouge dans la figure 1) correspondra à la zone d’influence du champ captant telle qu’elle a été simulée dans le rapport du BRGM de juin 2012 (Cabaret et al., 2012) et comportera 13 couches correspondant aux horizons aquifères et aux épontes allant du Plio-Quaternaire à l’Éocène inférieur.

Cette géométrie sera insérée sous la forme d’un gigogne (en rouge sur la figure 1) ou d’un maillage irrégulier au sein d’une extraction du MONA (version 3.3b 2010) pour créer un modèle local (extension en noir dans la figure 1) qui une fois recalé permettra de réaliser en phase 2 les simulations pour définir plus précisément : la localisation des forages de production (localisation et nappe captée), les impacts sur la nappe et les aquifères encadrants, et les différents régimes de production.

Les modèles finalisés (géologique sous GDM et hydrodynamique sous Win Marthe), seront fournis à la CUB (l’acquisition des licences logicielles nécessaires à l’exploitation des outils par la CUB et les formations afférentes ne sont pas prévues dans le cadre de ce programme).

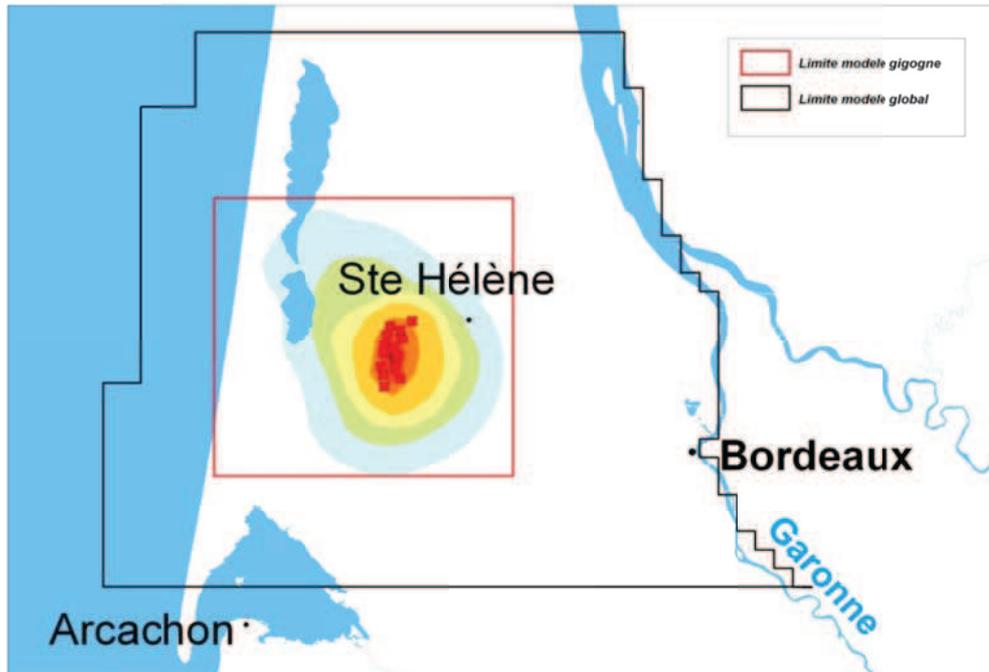


Figure 1 : Extension totale (en noir) du modèle hydrodynamique local fourni au maître d’ouvrage et position de la partie raffinée (en rouge)

### **Phase 2 – mise à jour des modèles :**

Durant la phase de réalisation des forages, le géologue régional du BRGM pourra assurer, à la demande de la CUB, un accompagnement technique ponctuel pour lever les coupes géologiques.

La géométrie du modèle sera mise à jour par le BRGM, en fonction des données issues de ces nouvelles investigations que la CUB réalisera.

Par ailleurs, les paramètres hydrodynamiques du modèle seront ajustés par le BRGM en fonction des informations provenant des pompages d’essais qui seront réalisés par la CUB, ce qui permettra d’affiner le calage de l’outil.

Un total de 10 simulations seront réalisées pour évaluer l’impact du futur champ sur la nappe de l’Oligocène et les aquifères encadrants, optimiser l’implantation des nouveaux forages et évaluer/limiter les interférences entre eux. Les scénarios seront construits en relation avec la CUB.

Le BRGM, sur demande de la CUB, assurera également la présentation des résultats du programme de recherche auprès de la Commission Locale de l’Eau du SAGE Nappes Profondes et lors de réunions publiques avec les acteurs du territoire (élus, profession agricole...).

### 3. PROGRAMME DE RECHERCHE

#### **Phase 1a - Construction du modèle géologique fin à la maille de 100 m**

Ce travail s’appuiera sur la base géologique version 4 du MONA actuellement en cours de finalisation. Celle-ci intègre près de 3 400 forages et près de 350 données diagraphiques. L’intérêt de cette démarche est qu’elle permet de s’appuyer sur une base consolidée et qu’elle assure la cohérence avec le MONA dans ses prochaines versions.

Dans le secteur raffiné (zone d’impact substantielle du champ captant), un recueil complémentaire des données de base sera réalisé afin de garantir l’exhaustivité des informations disponibles : sondages, carte géologique, MNT 50 m, failles, données sismiques, ...

Ces données complémentaires seront codées en fonction des horizons aquifères ou des épontes traversées suivant le formalisme adopté pour le MONA, mises en cohérence avec les données validées du MONA et intégrées dans le modèle géologique.

La dernière étape correspond à l’interpolation des surfaces et le contrôle de cohérence pour validation du modèle. Un maillage à 100 m permettra de bénéficier d’une représentation fine de la topographie et ainsi de retranscrire au mieux la zone d’influence du champ captant.

Il est proposé d’assurer le développement de ce modèle géologique à l’aide du logiciel de modélisation géologique GDM, développé par le BRGM (<http://gdm.brgm.fr/>), et qui est utilisé par le BRGM en Aquitaine pour sa base forage de la version 4 du MONA. Ce logiciel disponible en français et en anglais est utilisé par de nombreux organismes tels que l’ANDRA, EDF, CFG, ANTEA, GEOTEC.... Reconnu en France, il est également utilisé dans plus de 65 pays dans le monde (cf. annexe 2)

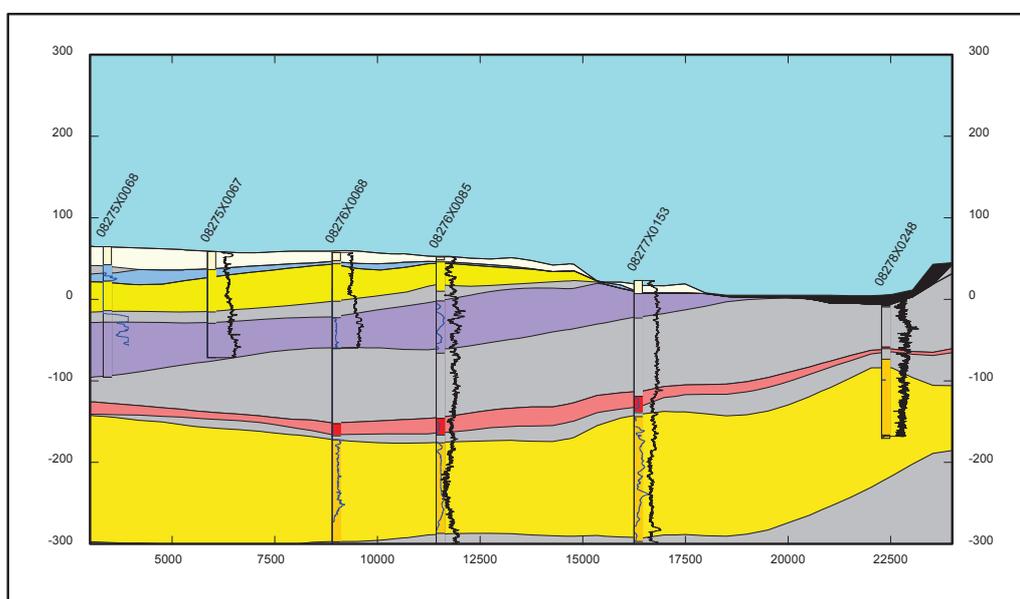


Figure 2 : Vue en coupe de la géométrie de la version 4 du MONA

### **Phase 1b - Modèle hydrodynamique**

Cette géométrie actualisée sera intégrée dans le MONA dans sa version 3.3 qui est à l'heure actuelle la version opérationnelle la plus récente.

Il sera alors nécessaire d'adapter le modèle pour intégrer correctement dans le logiciel les prélèvements et les mailles à historiques.

Une attention particulière sera apportée à l'intégration du réseau hydrographique sur la zone d'intérêt de manière à pouvoir appréhender dans le modèle les éventuels impacts de l'exploitation du champ captant sur les eaux superficielles. Son intégration permettra notamment de lever les incertitudes sur l'ampleur des rabattements dans la nappe du Plio-quadernaire. Leur estimation par les modèles régionaux (Modèle Nord-Aquitain ou modèle universitaire (Larroque, 2004)) est soumise à une grande incertitude du fait de leur maillage (non adapté à ce type de problématique) et de la non prise en compte du réseau hydrographique superficiel (Cabaret, 2012).

L'ensemble des chroniques piézométriques de la zone sera ensuite utilisé pour ajuster le calage de l'outil en régime transitoire au pas de temps trimestriel de 1972 à 1999 et pas de temps mensuel à partir de 2000 jusqu'à l'année n-1.

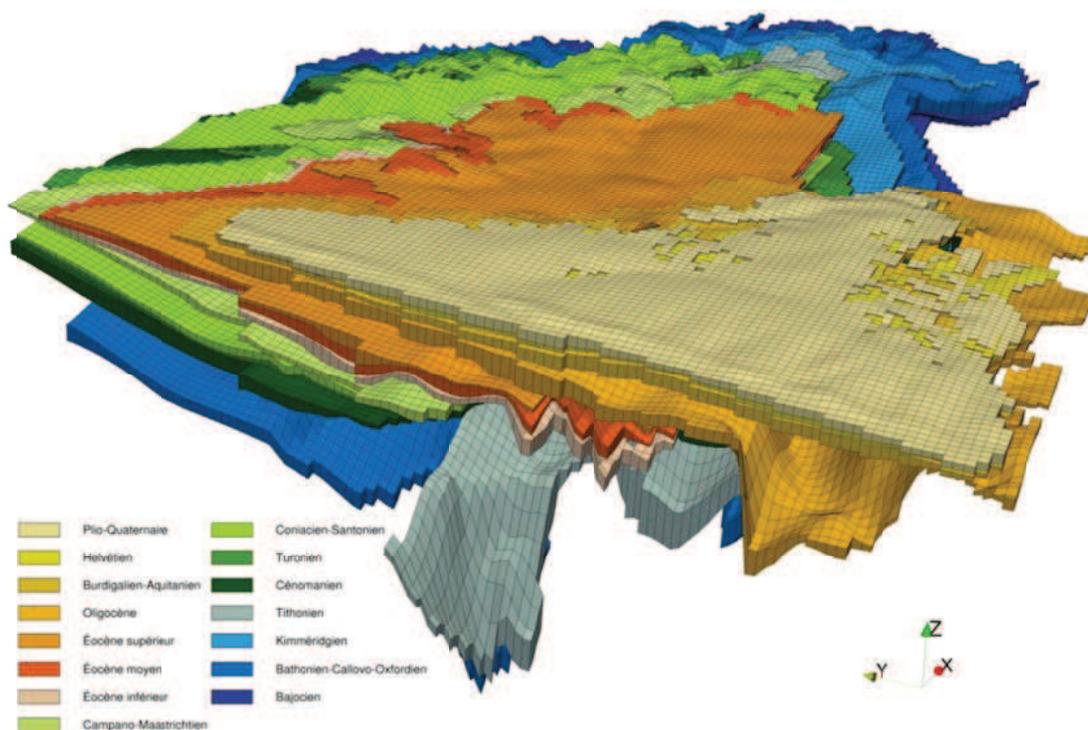


Figure 3 : Géométrie du Modèle Nord-Aquitain dans sa version 3.3

### **Phase 2a - Mise à jour des modèles**

Le modèle géologique pourra être utilisé par la CUB comme référence pour réaliser les coupes prévisionnelles et dimensionner l’équipement des ouvrages. Pendant la phase de travaux, il sera mis à jour régulièrement par le BRGM afin de bénéficier d’une vision 3D de la géométrie des réservoirs la plus précise possible.

Par ailleurs les paramètres hydrodynamiques du modèle seront ajustés par le BRGM en fonction des informations provenant des pompages d’essais qui seront réalisés par la CUB et des valeurs de charge provenant des différents ouvrages.

Une simulation de contrôle avec toutes les données disponibles permettra d’évaluer l’impact des modifications apportées à la géométrie et aux paramètres hydrodynamiques sur les résultats du modèle. Cette évaluation qualitative se fera sans pour autant reprendre l’ensemble des simulations d’impacts réglementaires de la phase 1c.

### **Phase 2b - Exploitation de l’outil**

Les simulations d’impacts seront réalisées par le BRGM dans ce modèle pour définir plus précisément : la localisation des forages de production (localisation et nappe captée), les impacts sur la nappe et les aquifères encadrants, les différents régimes de production.

Un total de 10 simulations est à prévoir. La définition des scénarios sera effectuée par la CUB (période considérée, conditions climatiques prises en compte et modalités d’exploitation).

Seront fournis par le BRGM, pour chaque scénario et pour les couches considérées : la piézométrie en fin de simulation et l’impact du champ captant par rapport à un état de référence, l’évolution comparée de la piézométrie pour différents points de contrôle et les variations de stock dans les différents aquifères sur la zone considérée.

## **4. LIVRABLES**

Seront remis à la Cub à l’issue de l’étude :

- La base de données géologique locale au format GDM,
- Une extraction du Gigogne sous forme d’un modèle local avec les conditions aux limites du MONA (format de fichier Win Marthe),
- Deux rapports, l’un à l’issue de la phase 1, l’autre à l’issue de la phase 2. A la demande du partenaire, ces rapports seront transmis aux formats numériques uniquement (Word, libre office et Acrobat). Une version téléchargeable gratuitement du rapport au format PDF sera mise en ligne sur le site du BRGM,
- Un diaporama Power Point reprenant les principaux points de l’étude.
- Le BRGM, sur demande de la CUB, assurera également la présentation des résultats de l’étude auprès de la Commission Locale de l’Eau du SAGE Nappes Profondes et lors de réunions publiques avec les acteurs du territoire (élus, profession agricole...).



## 5. CHRONOGRAMME

	mois à compter du début des travaux											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	...	10	11
<b>1a - Modèle géologique</b>												
<b>1b - Modèle hydrodynamique</b>												
<b>2 (a et b) - Mise à jour des modèles géologiques et hydrodynamiques à l'issue de la réalisation des sondages de reconnaissance et exploitation de l'outil</b>												
<b>Synthèse, rapports, restitutions</b>												

## 6. EQUIPE DE PROJET

**Chef de projet** : M. SALTEL

**Hydrogéologie** : M. SALTEL  
O. CABARET  
N. PEDRON

**Géostatistique** : B. BOURGINE

**Géomaticien** : B. AYACHE

**Secrétariat** : V. MALANDIT

## 7. DECOMPOSITION FINANCIERE

### Phase 1 - Préalable

	UO BRGM (nbre de jours)	Frais (déplacements, reprographie..)	Total par sous-tache	Total par tâche
<b>Phase 1 -"Champ captant Landes du Médoc"</b>				
<b>1. Gestion de projet</b>				<b>5 890.00</b>
Gestion et coordination du projet, établissement de la proposition technique et financière	6.00		5 890.00	
<b>2. Construction du modèle géologique (1a)</b>				<b>24 980.00</b>
Recueil des données complémentaires dans la zone d'intérêt (Sondages : coupes géologiques, techniques, chroniques de piézométrie et de prélèvements, diagraphies..., carte géologique, MNT 50 m, Failles, données sismiques,..)	5.00		3 850.00	
Codage des données et intégration dans le modèle géologique du MONA	10.00		7 700.00	
Interpolation des surfaces au pas de 100 m et contrôle de cohérence pour validation dans la zone d'intérêt (Gigogne)	17.00		13 430.00	
<b>3. Modèle hydrodynamique (1b)</b>				<b>34 130.00</b>
Adaptation du modèle MONA aux nouvelles limites (création du gigogne, fixations de toutes les conditions aux limites)	5.00		3 850.00	
Intégration de la nouvelle géométrie dans un Gigogne créé dans le MONA (version 3.3)	3.00		2 480.00	
Affectation des prélèvements et définition des mailles à historique	5.00		3 850.00	
Intégration du réseau hydrographique sur la zone d'intérêt	5.00		3 850.00	
Recalage de l'outil en transitoire (pas de temps trimestriel de 1972 à 1999 et pas de temps mensuel à partir de 2000 jusqu'à l'année n-1)	25.00		20 100.00	
<b>4. Synthèse, rapport</b>				<b>19 345.00</b>
Rapport + document de synthèse PPT : Rédaction, Relecture, Qualité.	24.00		19 290.00	
Edition du rapport (1ex papier BRGM) + version numérique		55.00	55.00	
<b>Coût total (€ HT)</b>			<b>84 345.00</b>	
<b>Coût total (€ TTC)</b>			<b>101 214.00</b>	

## Phase 2 - Réalisation

	UO BRGM (nbre de jours)	Frais (déplacements, reprographie..)	Total par sous-tache	Total par tâche
<b>Phase 2 -"Champ captant Landes du Médoc"</b>				
<b>1. Appui à la phase de réalisation des forages (2a)</b>				<b>18 220.00</b>
Mise à jour de la géométrie en fonction des investigations	12.00		9 580.00	
Ajustement des paramètres hydrodynamiques en fonctions des pompages d'essais et des données piézométriques	11.00		8 640.00	
<b>2. Exploitation de l'outil (2b)</b>				<b>43 280.00</b>
Réunions : définition des scénarios (différentes configurations des champs et climat)	4.00		3 080.00	
Réalisation de 10 simulations	10.00		7 700.00	
Editions des cartes (piézométrie, impacts) et des bilans pour chaque scénario. Analyse et valorisation des résultats.	40.00		32 500.00	
<b>3. Synthèse, rapport, restitution</b>				<b>19 371.67</b>
Rapport : Rédaction, Relecture, Qualité.	15.00		11 990.00	
Edition du rapport (1ex papier BRGM) + version numérique		54.00	54.00	
Accompagnement technique - présentation des travaux en CLE du SAGE Nappes Profondes, Réunion publique de restitution auprès des élus/profession agricole du Médoc	8.00	447.67	7 327.67	
<b>Coût total (€ HT)</b>			<b>80 871.67</b>	
<b>Coût total (€ TTC)</b>				<b>97 046.00</b>

## 8. PLAN DE FINANCEMENT PREVISIONNEL

Ce projet s'intègre parmi les missions prioritaires du BRGM en matière de connaissance sur les eaux souterraines. A ce titre, une part du financement de l'étude sera supportée par la Subvention pour Charges de Service Public du BRGM, apportée par le Ministère de la Recherche.

Sur cette base, et sur l'hypothèse de travaux lancés au 1<sup>er</sup> trimestre 2014, le plan de financement proposé se résume comme suit :

En € TTC	CUB (80%)	BRGM (20%)	Total
<b>Phase 1</b>	80 971.20	20 242.80	<b>101 214.00</b>
<b>Phase 2</b>	77 636.80	19 409.20	<b>97 046.00</b>
<b>Total phases 1+2</b>	<b>158 608.00</b>	<b>39 652.00</b>	<b>198 260.00</b>

La Communauté Urbaine de Bordeaux sollicitera l'Agence de l'Eau Adour-Garonne pour obtenir une subvention.

***Annexe 1 : présentation du modèle Nord  
aquitain : ses différentes utilisations et les  
références***



## Les références du MONA

Le modèle Nord-Aquitain (**MONA**), initié au départ pour apporter des réponses à la problématique de la baisse continue des niveaux de la nappe de l'Eocène en Gironde, a connu depuis le début des années 1990 de nombreuses évolutions notamment dans le cadre des deux conventions pluriannuelles régionales « Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine » précédentes (1996-2001, 2002-2006 et 2008-2013)

Il a notamment été utilisé dans le cadre du Schéma Directeur de Gestion de la Ressource en Eau de la Gironde puis du SAGE « nappes profondes » de Gironde, pour chiffrer les économies d'eau à réaliser et proposer des réductions de prélèvements ou des ressources de substitution. Il a également été utilisé, ponctuellement, dans le cadre de la simulation de nouveaux champs captant à Sainte-Hélène [ (Pédron et al., 2009) ; (Saltel, 2012) ; (Cabaret et al., 2012)]. En 2010, il a permis d'appuyer la définition de volumes prélevables dans toutes les nappes captives du nord du Bassin aquitain (Gomez et al., 2010). Il est actuellement utilisé dans le cadre de la révision du SAGE « nappes profondes » de Gironde [ (Saltel et al., 2012) ; (Cabaret et al., 2012) ].

Il a été employé pour des problématiques qui émergent comme l'exploitation de l'aquifère jurassique en Lot-et-Garonne ou de l'Eocène et du Crétacé supérieur en Dordogne (Platel et al., 2010).

D'un point de vue national, il a récemment été utilisé pour étudier les problématiques du changement climatique dans le cadre du projet Explore 2070.

## Liste des études sur le MONA :

**Ackerer P., Delay F., Porel G., Marsily G. (1998)** - Expertise de la restructuration du modèle nord-aquitain de gestion des nappes.

**Amraoui N., Bichot F., Platel J.P., Seguin J.J. (1998)** - Gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Année 2 - Evaluation des ressources. Ajout des couches du Santonien-Turonien, du Cénomanien et du Jurassique moyen et supérieur au modèle nord aquitain. BRGM/RR-40110-FR, 239p.

**Amraoui N., Bichot F., Seguin J.J., Platel J.P., Sourisseau B. (1999)** - Restructuration du modèle nord aquitain de gestion des nappes. Réalisation de 6 simulations pour le Schéma de Gestion des Eaux du département de la Gironde. BRGM/RR-40224-FR, 20p.

**Braneyre M., Chigot D., Lambert M., Moreau C., Sourisseau, J., Dubreuilh J., Gaaloul N. (1993)** - Modélisation mathématique multicouche de trois aquifères exploités du sédimentaire nord-aquitain (Oligocène - Eocène - Crétacé). R-37361, 73p.

**Braneyre M., Chigot D., Lambert M., Moreau C.F., Sourisseau B., Platel J.P., Dubreuilh J., Gaaloul N. (1993)** - Modélisation mathématique multicouche des trois aquifères exploités du bassin sédimentaire nord-aquitain (Oligocène - Eocène - Crétacé) - BRGM/RR-37361-FR.

**Braneyre M., Lambert M., Sourisseau B. (1994)** - Rapport de synthèse du modèle régional multicouche du Bassin Nord-Aquitain : Calage en régime transitoire et simulations. Rapport BRGM R38006 SGN SP 94, 255p.

**Braneyre M., Lambert M., Sourisseau B. (1994)** - Rapport de synthèse du modèle régional multicouche du Bassin Nord-aquitain. Calage en régime transitoire et simulations - BRGM/RR-38006-FR.

**Braneyre M., Seguin J., Lambert M. (1993)** - Modèle conceptuel sommaire - Multicouche aquitain. Rapport BRGM R37322 BOR AQI 93, 25p.

**Cabaret O., Saltel M. (2012)** - Simulations d'impacts d'un champ captant d'une capacité de 10 et 12 millions de m<sup>3</sup> dans l'Oligocène à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA) – Sainte-Hélène (33) – Rapport BRGM/RP-61290-FR, 81 p., 62 fig., 3 ann.

**Cabaret, O., Saltel, M. (2012)** - Contribution à la révision du SAGE Nappes Profondes de Gironde : Utilisation du Modèle Nord-Aquitain - phase « Tendances et Scénarios » - Simulations complémentaires - Rapport final, BRGM/RP-61479-FR, 46 p., 21 fig., 4 ann.

**Gomez E., Pédron N., Buscarlet E. (2010)** - Utilisation du Modèle Nord-Aquitain (MONA) pour appuyer la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds du Nord du Bassin aquitain - BRGM/RP-57878-FR.

**Gomez E., Pédron N., Winckel A., Corbier P., Caperan F., Grabenstaetter L., Fondin A. (2008)** - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine. Piézométrie d'objectif d'étiage et de crise. Module 3, Année 4. Rapport final, BRGM/RP-56615-FR.

**Gomez E., Saltel M., Pédron N. (2010)** - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain - Module 4 - Année 1 - Convention 2008-2013. BRGM/RP-57810-FR.

**Pédron N., Akar A., Gomez E. (2009)** - Simulation d'impact d'un champ captant dans l'aquifère Oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA) – BRGM/RC-57035-FR.

**Pédron N., Akar A., Platel J. (2007)** - Evaluation de la ressource en eau de l'Eocène dans le Bergeracois. Phase 2 : Finalisation de l'inventaire, intégration des données au modèle régional et simulations. Rapport final.

**Pédron N., Gomez E. (2010)** - Utilisation du MOdèle hydrodynamique Nord Aquitain (MONA) pour appuyer à la définition des volumes prélevables dans les aquifères profonds du nord du Bassin aquitain.. Dix-septièmes journées techniques du Comité Français d'Hydrogéologie de l'Association Internationale des Hydrogéologues. « La DCE 10 ans après : une dynamique pour la connaissance et la gestion des eaux souterraines. Avancées techniques et scientifiques ».

**Pédron N., Lopez B. (2006)** - Actualisation du modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes. Période 2001 - 2003. Rapport final - BRGM/RP-54220-FR.

**Pédron N., Platel J., Bourguine B. (2006)** - Gestion des eaux souterraines en région aquitaine. Développement et maintenance du modèle nord-aquitain de gestion des nappes - Module 4 - Année 3 - BRGM/RP-55242-FR, 56 pages, 24 figures, 3 annexes.

**Pédron N., Platel J.P., Akar A. (2008)** - Évaluation de la ressource en eau de l'Éocène dans le Bergeracois. Phase 2 : Finalisation de l'inventaire, intégration des données au modèle régional et simulations. Rapport final. - BRGM/RP-56301-FR.

**Pédron N., Platel J.P., Bourguine B. (2006)** - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes – Module 4 – Année 3 – BRGM/RP-55242-FR.

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

**Pédron N., Platel J.P., Lopez B. (2005)** - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord Aquitain de gestion des nappes - Modules 4 - Année 2 - Rapport final - BRGM/RP-53659-FR.

**Pédron N., Seguin J., Capdeville J. (2003)** - Gestion des eaux souterraines en région Aquitaine. Développements et maintenance du modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes - Module 4 - Année 1 - BRGM/RP-52602-FR, 56 pages, 25 figures, 5 tableaux, 7 annexes.

**Pédron N., Seguin J.J., Capdeville J.P. (2003)** - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine - Développements et maintenance du Modèle Nord Aquitain de gestion des nappes - Module 4 - Année 1. BRGM/RP-52602-FR.

**Platel Jean-Pierre, Pédron N., Gomez E., Saltel M. (2010)** - Perspectives de gestion des nappes du Secondaire en Agenais-Périgord. Synthèse géologique et hydrogéologique, modélisation hydrodynamique.

**Saltel M. (2012)** - Simulation d'impact d'un champ captant d'une capacité de 10 millions de m<sup>3</sup> par an dans l'aquifère oligocène sur le secteur de Sainte-Hélène (33) à l'aide du Modèle Nord-Aquitain (MONA) –Rapport BRGM/RP-60822-FR, 40 p., 18 fig., 3 ann.

**Saltel M., Pédron N. (2012)** - Contribution à la révision du SAGE Nappes Profondes de Gironde : Utilisation du Modèle Nord-Aquitain dans le cadre du module « Tendances et Scénarios » -Rapport final, BRGM/RP-60416-FR 56 p., 24 fig., 5 ann.

**Saltel M., Pédron N., Platel J.P., Bourguine B., Gutierrez T. (2011)** - Gestion des eaux souterraines en Région Aquitaine -Développements et maintenance du Modèle Nord-Aquitain de gestion des nappes – Module 1 – Année 2 – BRGM/RP-59 959-FR, 63 pages, 38 figures, 6 annexes.

**Seguin J.J. (1999)** - Contrôle qualité et gestion des nappes d'eaux souterraines en Gironde. Actualisation du modèle nord-aquitain de gestion des nappes. Période 1997-1998. BRGM/RR-40760-FR.

**Seguin J.J. (1999)** - Restructuration du modèle nord-aquitain de gestion des nappes. Correction du biais de calage du modèle. BRGM/RR-40711-FR.

**Seguin J.J. (2002)** - Gestion des eaux souterraines en Aquitaine. Actualisation du modèle nord-aquitain. Période 1999-2000. BRGM/RP-51758-FR. .



## ***Annexe 2 : le logiciel GDM : plaquette commerciale et argumentaire***





## Information géologique Modélisation et visualisation

# GDM 6.0

## Le logiciel des géologues



### > Descriptif

GDM est utilisé pour la représentation et la modélisation de données géologiques pourvuées de coordonnées X, Y et Z.

- de tout type : limites géologiques, failles, sondages, échantillons,
- et de toute forme : codes géologiques, textes descriptifs, résultats d'analyses, diagraphies, images.

GDM lit directement des données Texte / Excel / Access / Oracle / SQL Server / PostgreSQL

GDM produit des graphiques vecteur :

- multicouches : cartes, sections verticales,
- multicolonne : logs de sondages,

et des vues 3D dynamiques (raster).

La modélisation peut être faite :

- sur cartes et sur sections,
- avec prise en compte de failles et limites,
- de façon automatique (interpolation) ou manuelle (digitalisation).

### > Domaines d'application

- Exploration et exploitation de ressources minérales.
- Gestion des ressources en eau,
- Conception de tunnels, barrages, sites de stockage souterrains,
- Aménagement du territoire,
- Diagnostics de pollution du sous-sol.

### > Conditions / Tarification

- Application Windows GDM 6.0 :  
*Licence mono-utilisateur : 3200 € HT*  
Tarif dégressif pour les licences suivantes.  
Licences université : nous consulter
- Visualiseur GDM : gratuit.
- Composants pour intégrer les fonctions de GDM dans un SIG ou dans une application Internet : nous consulter

### > Contact

**brgm**

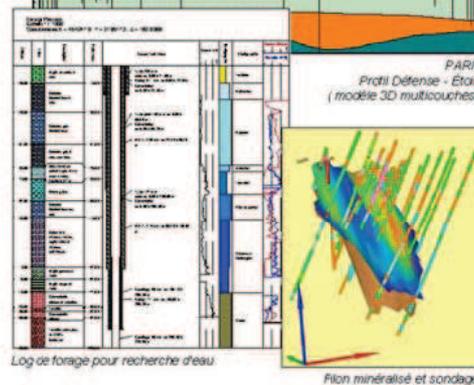
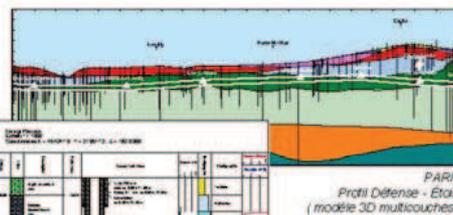
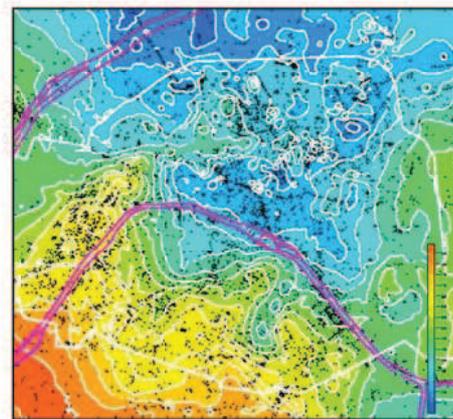
Systèmes et Technologies de l'Information

Tél. : 02 38 64 30 14

Fax : 02 38 64 39 70

Mél : [adm@brgm.fr](mailto:adm@brgm.fr)

Web : <http://software.brgm.fr>



# GDM 6.0

## Fiche technique

### GESTION DES DONNEES

#### Caractéristiques générales

- Connexion directe aux bases Access, Oracle, SQLServer, PostgreSQL, MySQL (lecture seule)
- Connexion directe aux fichiers Excel, dBase, Texte (lecture seule)
- Connexion à des services standard OGC : WMS (cartographie) et WFS (données codées en XML)
- Connexion à des données de sondages GeoScML
- Utilisation de coordonnées locales et générales, avec des unités variées
- Nombre illimité d'enregistrements
- Jusqu'à 256 champs
- Champs textes : jusqu'à 5000 caractères
- Champs codes : jusqu'à 20 caractères
- Champs numériques : distinction entre valeurs nulles et absentes
- Calcul automatique et conservation des paramètres statistiques des champs numériques
- Critères de sélection définissables sur tous les champs
- Exportations : XLS, DBF, MDB, CSV, DXF, MIF, SHP
- Gestion de sondages verticaux ou déviés
- Fusion de données de sondages en fonction de la profondeur
- Détermination de formations et de composites à partir des bases de sondages

#### Dans les bases GDM

- Définition, sauvegarde et réutilisation de modèles de bases de données
- Suppression, addition, insertion, copie, couper-coller d'enregistrements
- Recherche, remplacement, saisie répétitive de valeurs
- Digitalisation à l'écran de points, courbes, polygones 3D sur plans ou sections rectilignes ou non
- Importations : XLS, DBF, MDB, CSV, DXF, MIF, SHP, Oracle, SQLServer, PostgreSQL, MySQL, ESRI Ascii grid
- Mise à jour (par champ clef), et concaténation d'enregistrements
- Valorisation de champs avec des opérateurs et des fonctions
- Calcul de surface de polygones 3D projetés sur un plan

### INTERPOLATION

- Prise en compte de failles, de limites polygonales, de variable indicatrice
- Estimation de points, de grilles de points, ou de grilles de blocs 2D
- 8 méthodes d'interpolation dont le krigeage
- Calcul de la variance d'estimation
- Définition de dérive polynomiale et/ou externe
- Recherche de voisinage global, ou rectangulaire, ou par octants avec prise en compte de groupement des données en profils ou en clusters
- Contrôle du pré-classement des données et du seuil de fusion
- Sauvegarde et réutilisation des paramètres d'interpolation
- Vario2D : Calcul et modélisation de variogrammes en option : module vendu en complément de GDM

### GRAPHIQUES

#### Caractéristiques générales

- Catalogues de figurés, de symboles 2D/3D et de types de traits
- Affichage d'images référencées dans des sources de données de points ou de sondages : JPG, BMP, GIF, TIF, PNG, WMF. Un convertisseur est fourni pour d'autres formats
- Export WMF + conversion en DXF / BMP / 15 autres formats. Export COLLADA pour les vues 3D
- Un clic de la souris dans les données repère la donnée correspondante sur tous les plans, sections, logs de sondage ou vues 3D affichés
- Un clic sur le plan, la section ou la vue 3D affiche le log de sondage ou pointe sur la donnée dans la base
- Un clic dans le log de sondage pointe sur la donnée dans la base, ou repère la donnée sur tous les plans, sections ou vues 3D affichés

#### Plans et sections

- Représentation en coordonnées locales ou générales
- Structure en couches du dessin (jusqu'à 20 couches, 9 types de couches)
- Superposition des données sur une ou plusieurs images en fond de plan
- Légendes, échelles graphiques, flèche Nord
- Sections rectilignes, ou non rectilignes dépliées (profils en long)

- Échelles horizontale et verticale distinctes sur les sections
- Représentation des échantillons : symbole déterminé par valeur d'un champ, identifiant au choix, et 8 positions de valeurs autour du symbole
- Représentation des données de sondages : trace du sondage, report de textes / valeurs, figurés, diagrammes en barres / linéaires, symboles
- Représentation des données de courbes : types de traits et/ou remplissages par figurés déterminés par valeurs de champs
- Représentation des données interpolées par des courbes isovaleurs avec ou sans remplissage, ou par des blocs colorés
- Représentation des formations interpolées sur les sections (rectilignes ou non)

#### Logs de sondages

- Cartouche standard ou importé
- Jusqu'à 200 colonnes définies par l'utilisateur
- 14 types de colonnes : textes, figurés, images, équipement de forage, diagraphies, symboles, etc.
- Duplication, déplacement et superposition des colonnes
- Impression / exportation de logs en série
- Mise en page pour impression feuille à feuille ou en un seul morceau

#### Vues 3D dynamiques

- Types de couches graphiques : points, sondages, courbes 3D, failles, grilles (surfaces calculées par interpolation), sections verticales rectilignes ou non
- Rotation, zoom et translation
- Dilatation selon la coordonnée Z
- Deux coupes mobiles verticales

- Disponible pour Windows XP / Vista, en version monoposte ou réseau
- Interface avec menus contextuels sur une structure de projet
- Interface Documents Multiples (MDI)
- Polices et couleurs Windows dans les graphiques
- Disponibilité de tous les périphériques d'affichage et d'impression reconnus par Windows



Systèmes et Technologies de l'Information  
Tél : 02 38 64 30 14 - Fax : 02 38 64 39 70  
Mél : [gdm@brgm.fr](mailto:gdm@brgm.fr)  
Web : <http://software.brgm.fr>

© BRGM Copyright 1987-2008  
Ce document a été conçu dans un but informatif et n'a pas de valeur contractuelle  
GDM est une marque déposée du BRGM  
Toutes les marques citées sont déposées par leurs sociétés respectives

© brgm - octobre 2008

## ***Annexe 3 : le logiciel Marthe : plaquette commerciale et argumentaire***



# M A R T H E

## MODÉLISATION D'AQUIFÈRES AVEC MAILLAGE RECTANGULAIRE, TRANSPORT ET HYDRODYNAMIQUE

### DOMAINE D'APPLICATION

Conçu et réalisé au groupe BRGM pour la modélisation hydrodynamique et hydrodispersive des écoulements souterrains en milieu poreux, le code de calcul MARTHE est destiné à modéliser les problèmes d'écoulement rencontrés dans des contextes variés :

- Gestion des ressources aquifères :
  - Évaluation des termes du bilan hydraulique d'un système aquifère : recharge par infiltration pluviale, apports latéraux par les bassins versants, circulations souterraines et flux associés, fluctuations annuelles, stockages-déstockages saisonniers ...
  - Impacts hydrodynamiques d'aménagements existants ou à créer : pompages, irrigation, drainage, gravières, bassins d'infiltration ...
  - Gestion et optimisation de champs captants.
  - Étude de l'influence de la variabilité climatique et des effets prévus du changement climatique.
- Génie civil :
  - Assèchement de fouilles.
  - Effets hydrauliques de parois étanches.
  - Travaux souterrains (métros, parking, tunnels, ...).
- Environnement :
  - Infiltration d'un polluant en zone non saturée, percolation jusqu'à la nappe, puis migration souterraine.
  - Simulation du panache de pollution s'échappant d'une zone contaminée : trajectoires, vitesses de déplacement, concentrations atteintes à l'aval. Modélisation de scénarios hydrauliques de confinement ou de décontamination.
  - Impacts de décharges domestiques et industrielles sur les eaux souterraines.
  - Étude du confinement de stockages souterrains.
- Exploitation minière :
  - Calcul de débits d'exhaures miniers et des rabattements associés.

### REFERENCES

Au cours des 20 dernières années, MARTHE a été utilisé pour modéliser plus de 250 contextes aquifères répartis dans une vingtaine de pays, sur des financements français, nationaux et internationaux.

<p><b>Manuels d'utilisation :</b></p> <p>Rapports BRGM : R 32210, R 37762, R 38018, R 38085, R 38149</p>	<p><b>Ordinateurs :</b></p> <p>Micro-ordinateurs PC sous Windows (Également environnement LINUX)</p>
<p><b>Langage de programmation :</b></p> <p>Fortran 95 Pré-post processeurs : C++</p>	<p><b>Langues :</b></p> <p>Français, Anglais</p>

# M A R T H E

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

MARTHE permet de simuler de nombreux types d'écoulement en milieu poreux, en zones saturées et non saturées, en milieux monophasiques et diphasiques. Plusieurs niveaux d'utilisation sont distingués :

• **Hydrodynamique classique :**

- Maillages 2D (en plan, en coupe verticale, en coordonnées cylindriques) ou 3D.
- Aquifères monocouches ou multicouches (empilement d'aquifères séparés par des épontes semi-perméables).
- Nappes libres, captives ou semi-captives en régime hydraulique permanent ou transitoire.
- Prise en compte de discontinuités telles que plans d'eau à surface libre (lacs, gravières), assèchements locaux de nappe (et remise en eau), y compris en aquifères multicouches, débordements de nappe (cours d'eau, sources, drains), parois étanches (palplanches, ...).
- Limitation automatique du débit des pompages en fonction du dénoisement des crépines
- Couplage total avec les réseaux hydrographiques.
- Bilan hydro-climatique couplé.
- Anisotropies horizontale et verticale des perméabilités.
- Calcul de trajectoires (directes et inverses) en régime hydraulique permanent ou transitoire.

• **Transport hydrodispersif :**

- Migration hydro-dispersive d'un effluent dans la nappe et la zone non saturée.

• **Zone Non Saturée, Densité, Température :**

- Traitement continu de la zone saturée et de la zone non saturée.
- Transferts d'énergie.
- Effets densitaires induits par des salinités et/ou des températures hétérogènes.
- Variation de viscosité avec la température.

• **Calage automatique, Optimisation :**

- Calage automatique du modèle, selon des zones homogènes ou maille par maille.
- Analyse de sensibilité aux paramètres de calage.

• **Utilisations spéciales :**

- Fractures verticales par transmissivités équivalentes ; Réseaux de galeries.
- Transport avec interactions physico-chimiques entre eau, effluents et matrice poreuse.
- Écoulements diphasiques : eau douce et eau salée, eau et air, eau et "huile".
- Écoulements de gaz.
- Prise en compte du développement de la végétation.

• **Maillages :**

Le domaine à modéliser est discrétisé selon un maillage rectangulaire de type "écossais" : chaque ligne et chaque colonne de mailles a une largeur constante, mais l'utilisateur est libre d'adapter la largeur de chacune de ces lignes et colonnes en fonction des hétérogénéités locales, de la densité des informations disponibles, et de la précision recherchée.

Il est possible d'affiner localement le maillage par des sous-maillages emboîtés (gigognes).

Selon les configurations, il est possible de gérer des maillages de plus de 2 millions de mailles sur un ordinateur PC de 32 bits (1.5 millions de mailles avec transport).

# M A R T H E

Les données des maillages peuvent être définies maille par maille, ou bien par zones, par couches ou globalement pour tout le maillage.

• **Représentations graphiques :**

Les mailles du modèle sont automatiquement associées à des coordonnées géographiques, ce qui permet de superposer les données initiales et les résultats des simulations à des fonds cartographiques préalablement digitalisés.

Les résultats de modélisation sont édités dans des fichiers texte. Ils peuvent être édités et représentés graphiquement : Post-processeur WinMarthe, Model3D, exportations Mapinfo®, VRML, VTK, Paraview®.

Les débits calculés (débits aux potentiels imposés, débits résiduels de convergence) peuvent être présentés maille par maille, ou bien par zones, par couches, ou encore pour tout le modèle.

• **Contrôle de la convergence des calculs :**

La convergence des calculs est contrôlée par plusieurs critères : écarts de charge (moyen et maximal entre deux itérations successives) et débits résiduels d'erreur (global sur l'ensemble du modèle, et ponctuel dans chacune des mailles).

## SCHÉMAS DE CALCULS

### **Calcul des écoulements**

Les calculs hydrodynamiques sont effectués selon une méthode aux volumes finis (Différences Finies Intégrées). Plusieurs algorithmes de résolution par gradients conjugués sont proposés (gradients conjugués avec pré-conditionnement de Choleski, méthode Eisenstat).

### **Calcul du transport**

Selon le type de problème posé (dominance de la convection ou de la dispersion), l'utilisateur peut choisir entre trois techniques de calcul pour optimiser le schéma de transport mis en oeuvre :

- méthode TVD (Total Variation Diminishing) à limiteur de flux ;
- volumes finis ;
- méthode des caractéristiques (MOC) utilisant des particules ;
- méthode des déplacements aléatoires (Random Walk), dite aussi méthode des particules ;

Le transport en nappe est simulé sous ses composantes convective, diffusive et dispersive. Plusieurs options sont proposées pour le transport réactif :

- décroissance exponentielle de l'effluent en fonction du temps (fonction de la teneur en eau et de la température) ;
- dégradation en chaîne ;
- facteur de retard avec coefficient de partage  $K_d$  (phénomènes d'adsorption-désorption) ;
- prise en compte de la double porosité (avec cinétique ou en équilibre) ;
- isothermes de Freundlich ou de Langmuir.

### **Interactions géochimiques**

MARTHE a été couplé avec deux solveurs géochimiques : Le module hydrogéochimique REACT du code de calcul TOUGHREACT (Lawrence Berkeley National Laboratory) et les modules hydrogéochimiques IPHREEQC de l'USGS. Les interactions physico-chimiques entre eau, effluents et matrice peuvent être simulées au choix par une de ces versions couplées. [Diffusion restreinte]

# M A R T H E

## AVANTAGES DE MARTHE PAR RAPPORT À D'AUTRES CODES

MARTHE présente un certain nombre d'avantages par rapport à des codes de calcul de référence.

Avantage	MODFLOW	FEFLOW	TOUGH2
Dialogues, entrées-sorties en français	N	N	N
Couches qui peuvent se biseauter et disparaître, comme les vraies couches géologiques.	N		
Modifications de n'importe quel champ (géométrie, perméabilités, cours d'eaux, conditions aux limites) en cours de calcul, à n'importe quel pas de temps.	N	N	N
Réseau hydrographique (rivières) totalement couplé avec les aquifères.		N*	N
Bilan hydroclimatique (Pluie, ETP, fonte de neige, ruissellement vers les cours d'eau, infiltration).	N	N	N
Maillages gigognes couplés.	N*		
Transferts d'énergie (géothermie) simultané au transport de masse et de salinité : permet la prise en compte de la température sur la densité et la salinité.	N		
Transport de masse et d'énergie totalement couplé, dans un même exécutable ce qui évite des fichiers très volumineux et permet une bonne efficacité.	N		
Transferts d'énergie avec une solution analytique (Vinsome) dans les épontes : ce qui réduit considérablement le nombre de mailles.	N	N	
Vraie modélisation du continuum Zone Non Saturée – Zone Saturée (Loi de Richards).	N		
Modélisations en « nappe libre » par utilisation de charge hydraulique, de cotes de débordement.			N
En nappe libre : assèchement (dénoisement de mailles), et re-saturation ultérieure sans aucun problème.	N*		
Limitation des débits de pompages par rapport aux dénoisements et altitudes de crépines.	N	N	N
Calcul des charges au puits en fonction du diamètre de l'ouvrage par rapport à la dimension de la maille.	N	N	N
Transport avec dispersion (dispersivités).			N
Transport par schéma TVD et MOC.		N	N
Bilan de nitrates dans le sol (applications d'engrais, besoins des cultures, minéralisation du sol).	N	N	N
Développement de la végétation et des racines des cultures avec Évapotranspiration fonction du stress.	N	N	N
Réseaux couplé de drains en charge.	N		
Prise en compte de plus d'un million de mailles sur un ordinateur de bureau.			N

« N » = Non disponible à notre connaissance ; \* = Disponible dans certaines versions.

La comparaison s'applique à la version standard des codes (ex. MODFLOW de l'USGS), et provient des informations des manuels d'utilisation officiels.

Il convient de remarquer que ces codes de références présentent par ailleurs certains avantages non disponibles dans MARTHE. Par exemple : multiphasique complexe avec changement de phase avec TOUGH2 ou discrétisation très raffinée avec FEFLOW.

# M A R T H E

## STRUCTURE DU LOGICIEL

Au module de calcul hydrodynamique et hydrodispersif (MARTHE proprement dit), sont associés des modules de préparation, gestion et représentation graphique des données et des résultats de modélisation ces modules sont centralisés dans l'interface WinMarthe :

### WinMarthe

Définition et modification graphique, sous environnement Windows, d'un maillage écossais, en superposition à un fond cartographique digitalisé.

Visualisation des données couche par couche ou en coupe verticale Ouest-Est ou Nord-Sud

Opérations diverses sur les données de maillages :

- opérations algébriques, logiques ou géographiques sur les données d'un maillage,
- combinaisons algébriques, logiques ou géographiques entre les données de plusieurs grilles de données.

Représentation graphique des fichiers de résultats générés par MARTHE :

- courbes isovaleurs (piézométrie, rabattements, épaisseurs mouillées, Visualisation 3D, ...)

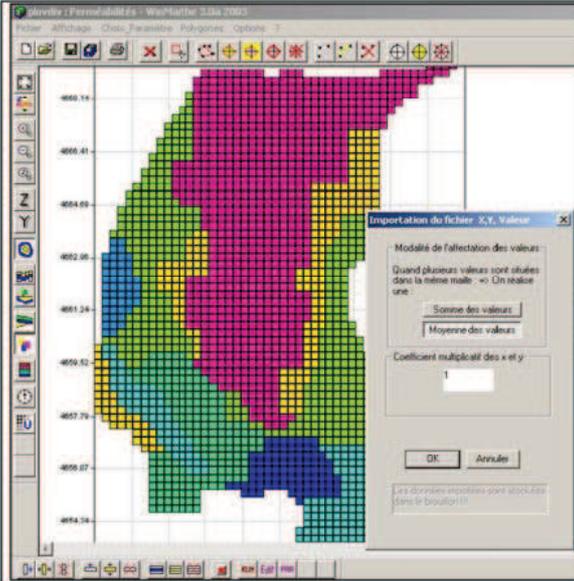
## CONTACTS

Dominique THIERY : BRGM Service EAU

[marthe@brgm.fr](mailto:marthe@brgm.fr)

# M A R T H E

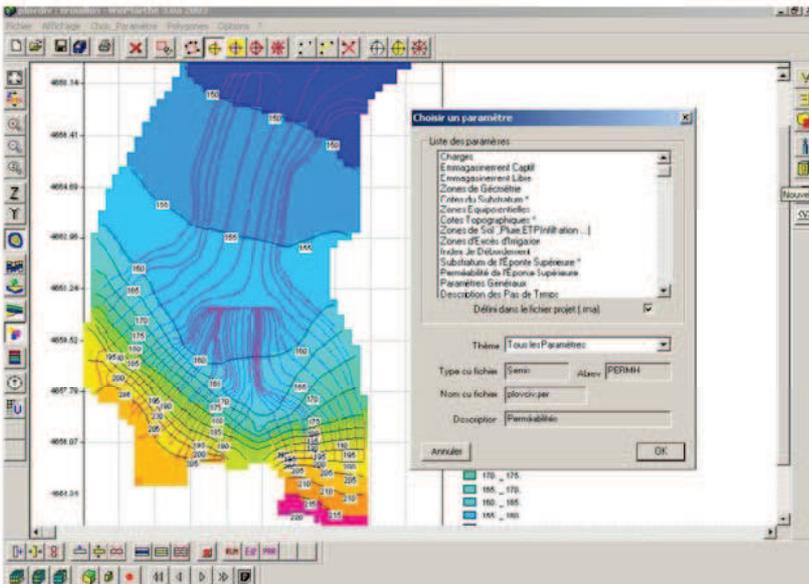
## Préparation et visualisation des données avec le préprocesseur WinMarthe



Le préprocesseur WinMarthe permet :

- l'entrée des données
- les calculs (éventuels) sur les données
- l'introduction des paramètres généraux de la modélisation
- l'exploitation des résultats (interpolateur intégré) :

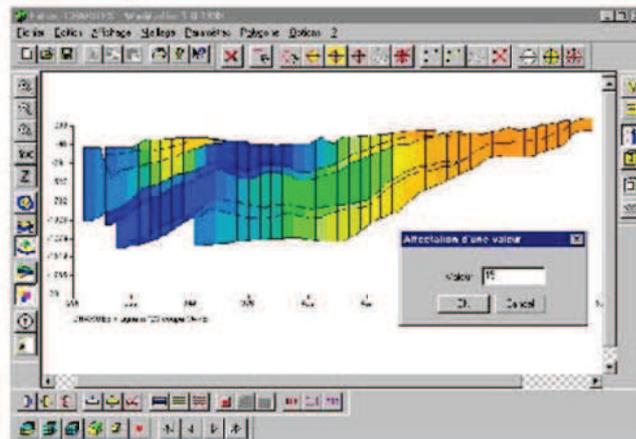
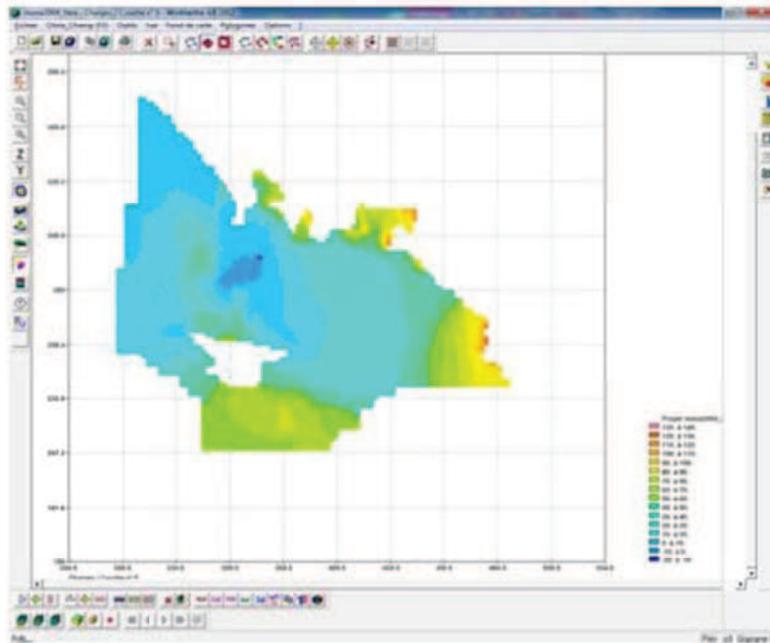
isovaleurs de charges, de concentrations...  
champs de vitesses, trajectoires  
comparaisons calculs/observations



Visualisation de la piézométrie simulée et des trajectoires

# M A R T H E

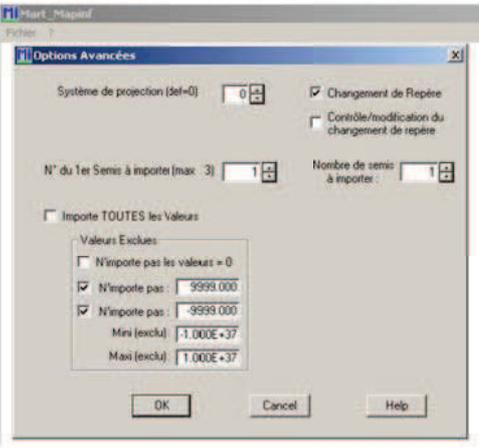
Vue en plan et en coupe verticale avec le préprocesseur WinMarthe  
Multicouche aquitain : charges hydrauliques dans l'Éocène



Vue en coupe verticale

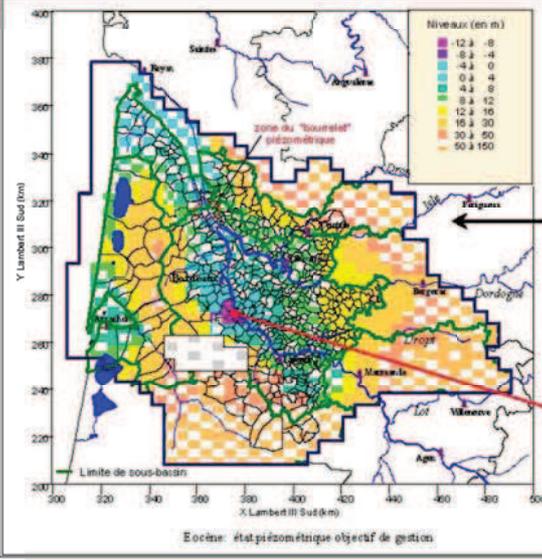
# M A R T H E

Préprocesseur WinMarthe : exportation vers MAPINFO ©



Le préprocesseur WinMarthe permet d'exporter les résultats des calculs vers MAPINFO directement sous forme de grilles, permettant ainsi une analyse thématique directe et la réalisation de cartes de synthèses. Exemple ci-dessous

**Utilisation du modèle nord aquitain dans le cadre du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux de Gironde**



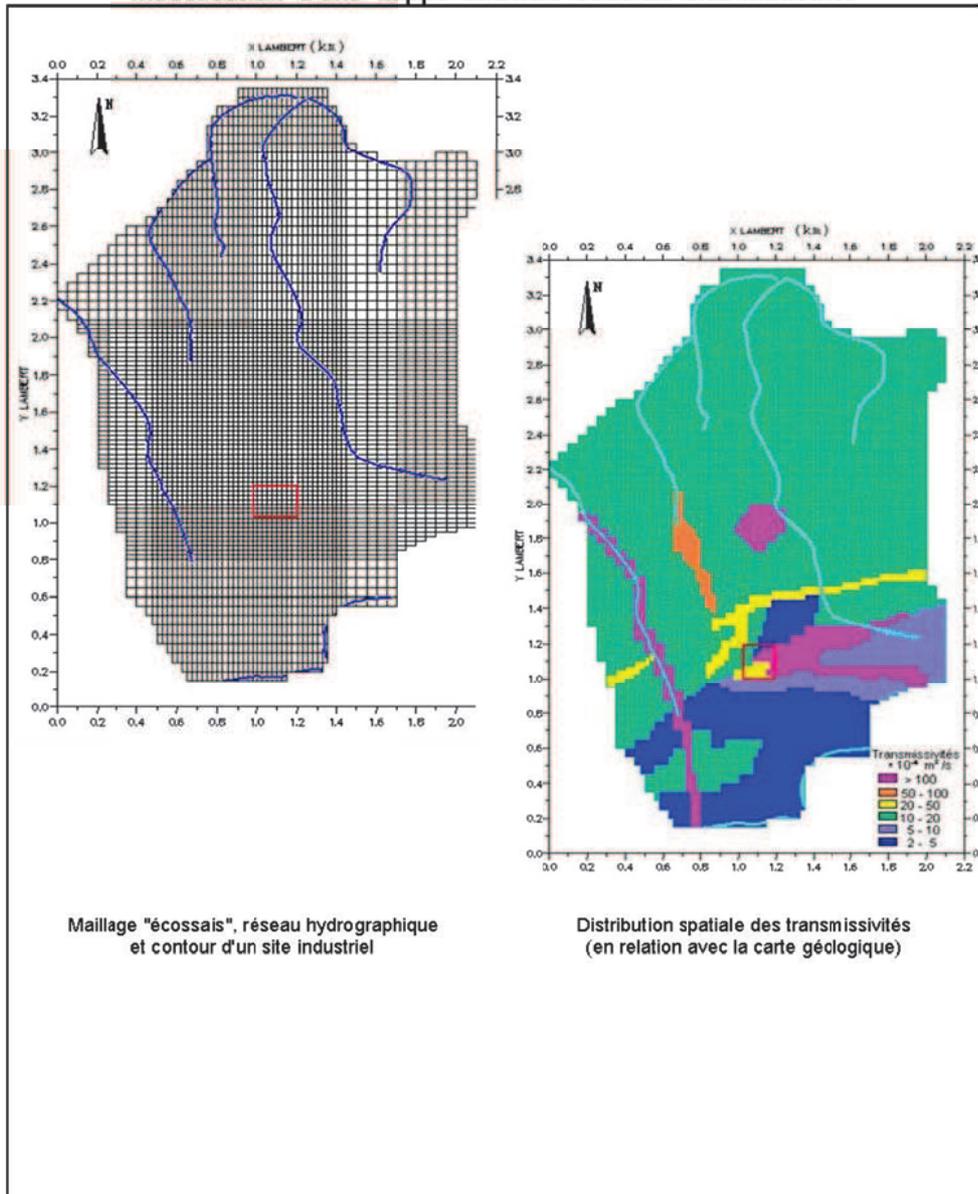


**Le scénario "économies et substitutions", définit un état piézométrique considéré comme objectif de gestion devant être atteint en 2015**

→ Résorption de la dépression

# M A R T H E

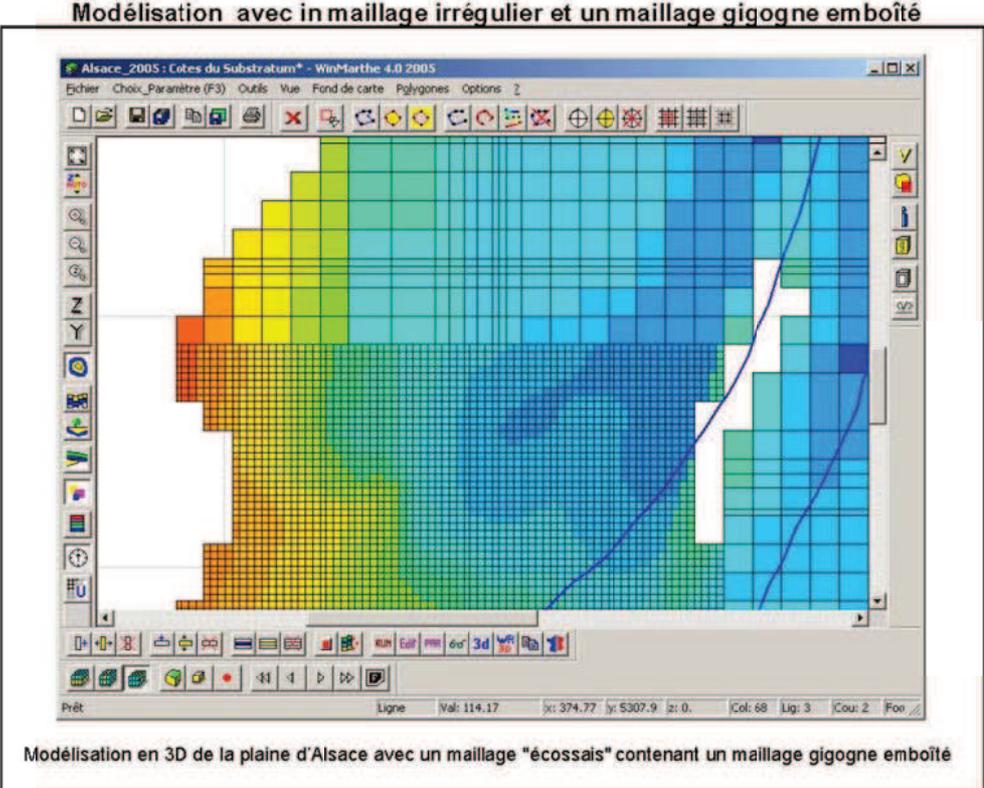
## Modélisation d'une nappe alluviale sous un site industriel



Maillage "écossais", réseau hydrographique et contour d'un site industriel

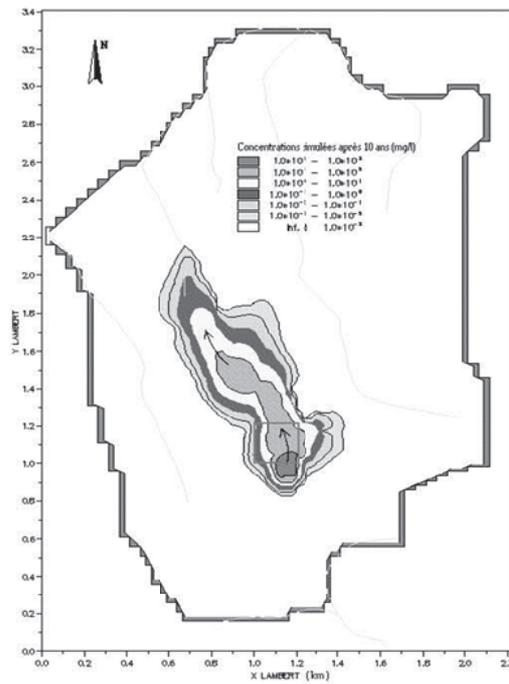
Distribution spatiale des transmissivités (en relation avec la carte géologique)

# M A R T H E

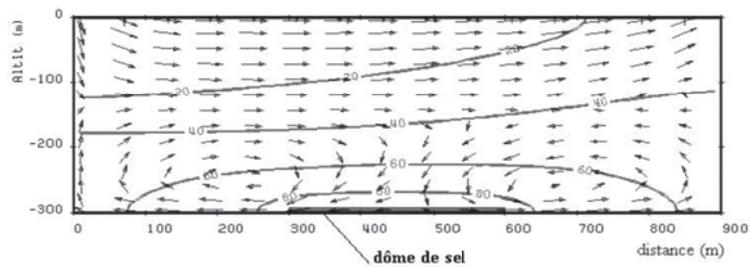


# M A R T H E

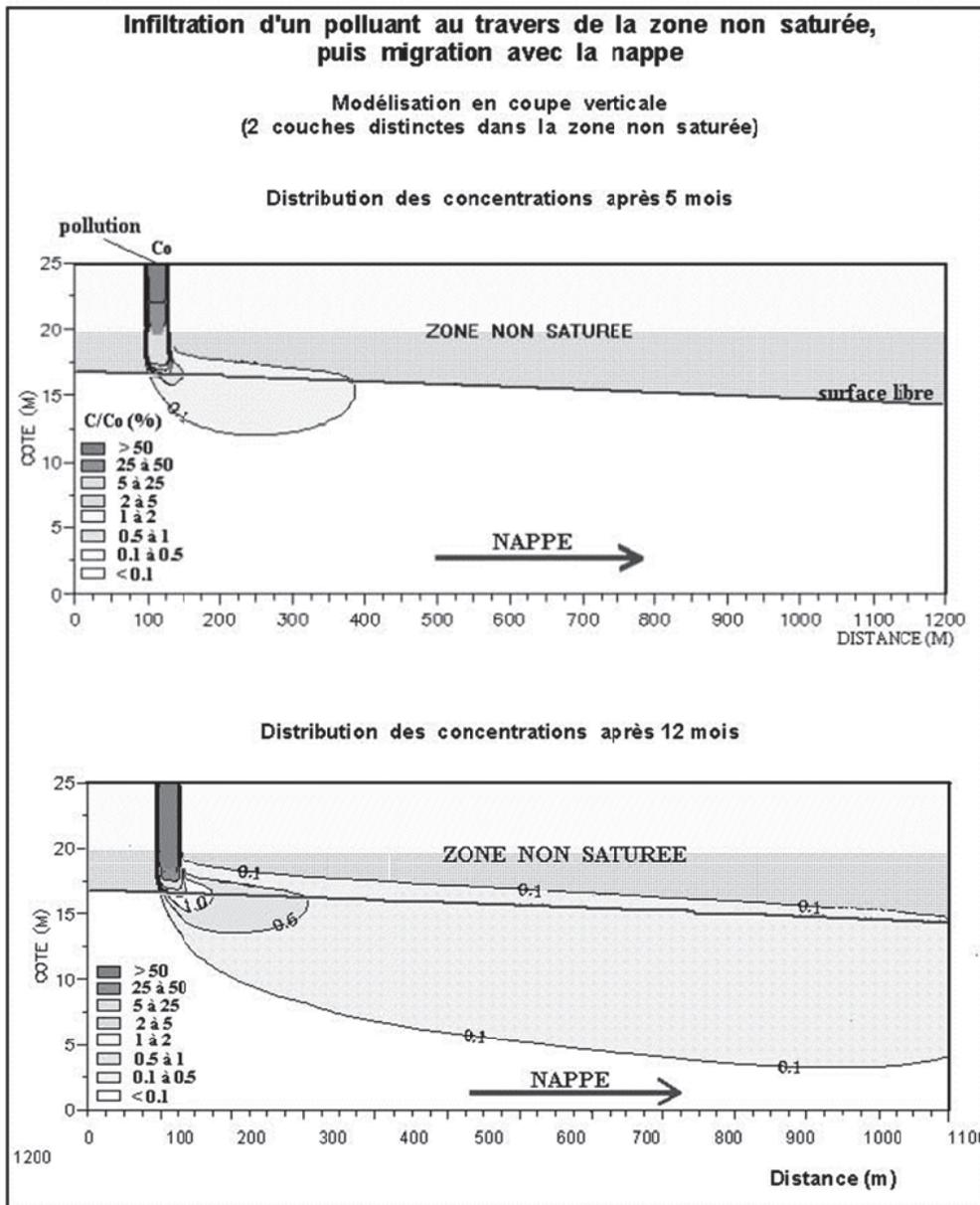
Simulation de la migration d'un panache de pollution



Cellules de convection induites dans une nappe par un dôme de sel  
(Champ des vitesses et courbes iso-concentrations en sel - Coupe verticale)

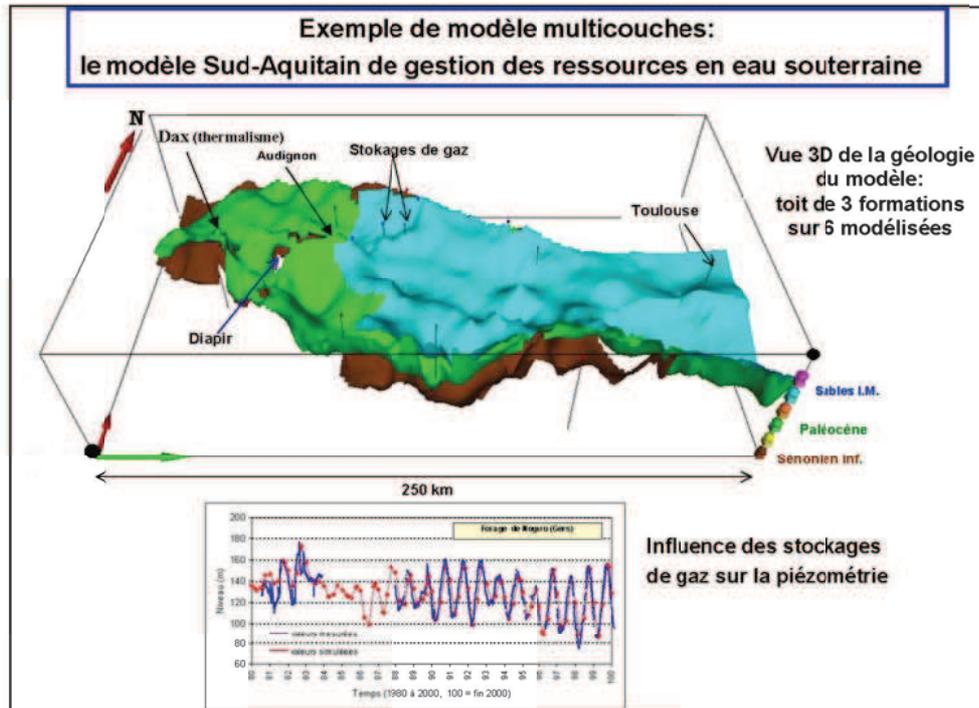


# M A R T H E



# M A R T H E

Configurations hydrogéologiques complexes

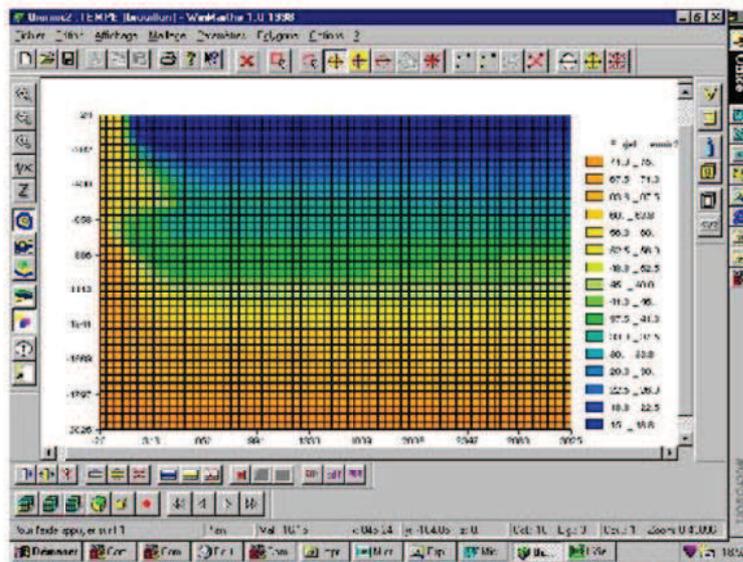
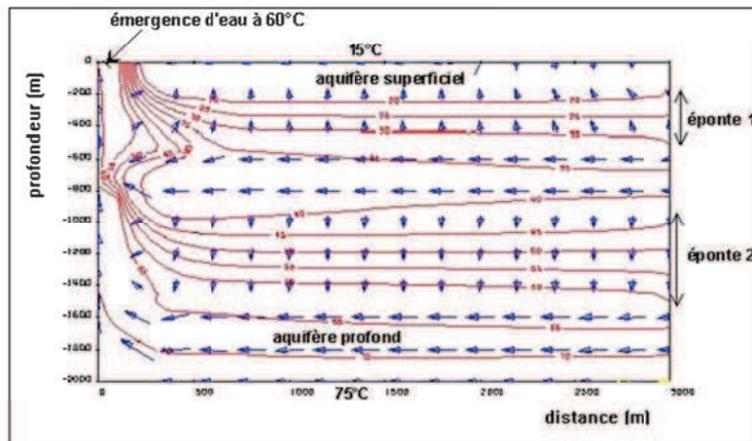


Le logiciel permet de traiter des configurations hydrogéologiques complexes comme des systèmes multicouches d'extension régionale.

# M A R T H E

## Effets densitaires - simulation couplée hydraulique et thermique

Émergence d’une source chaude (vue en coupe verticale)

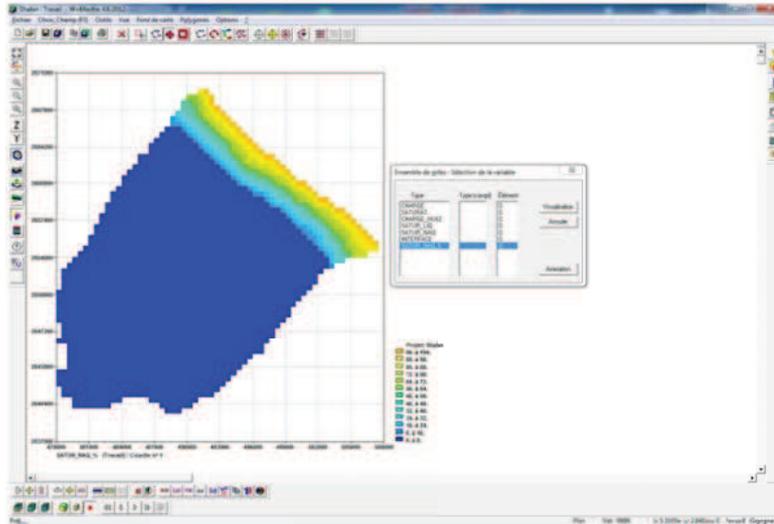


Températures calculées : (préprocesseur WinMarthe)

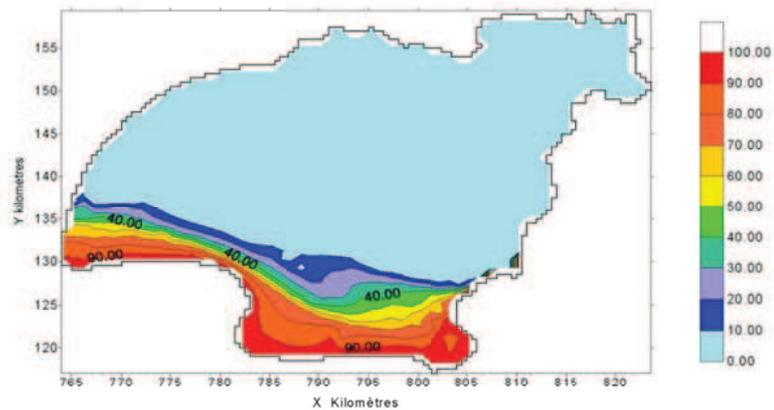
# M A R T H E

Simulations diphasique de l'intrusion saline  
(Les couleurs représentent le pourcentage d'eau salé)

Nappe côtière en Oman : carte des saturations en eau salée  
(visualisation WinMarthe)

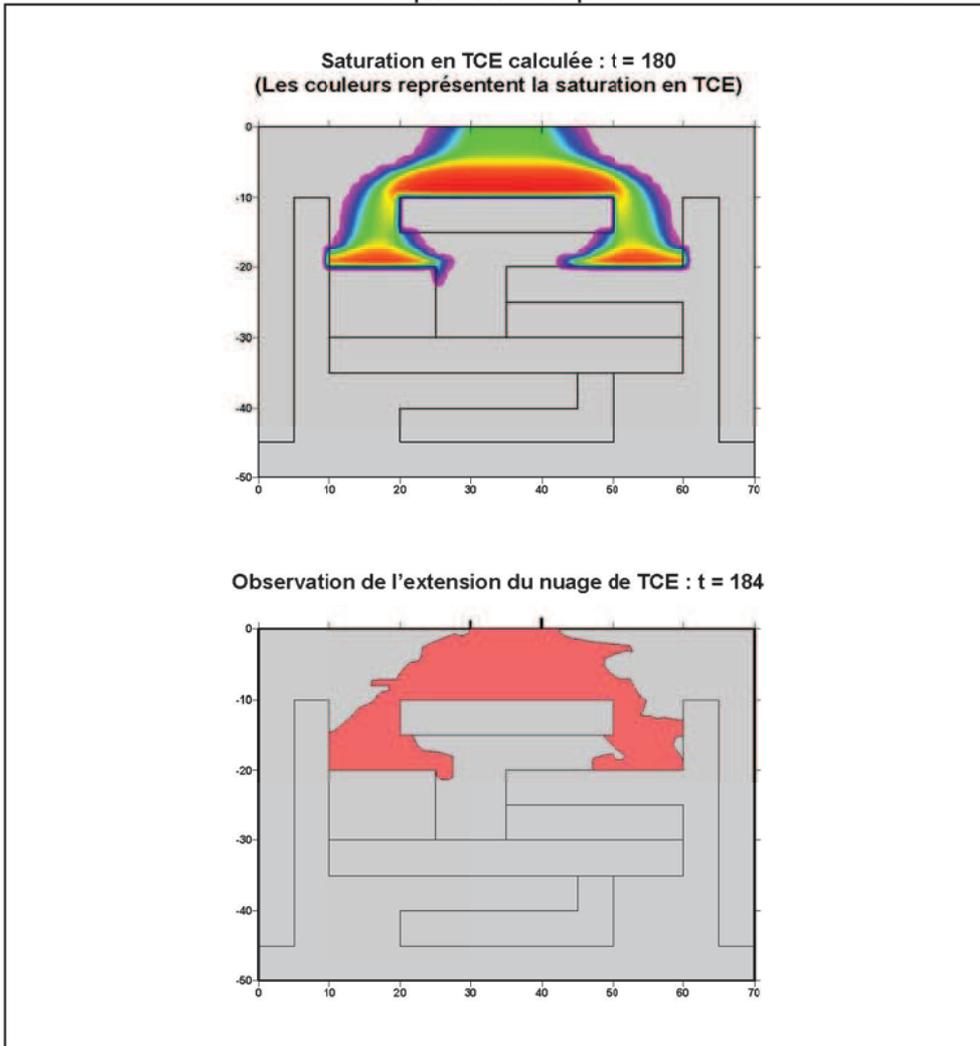


Nappe de la Crau en France : carte des saturations en eau salée  
(visualisation Surfer ©)



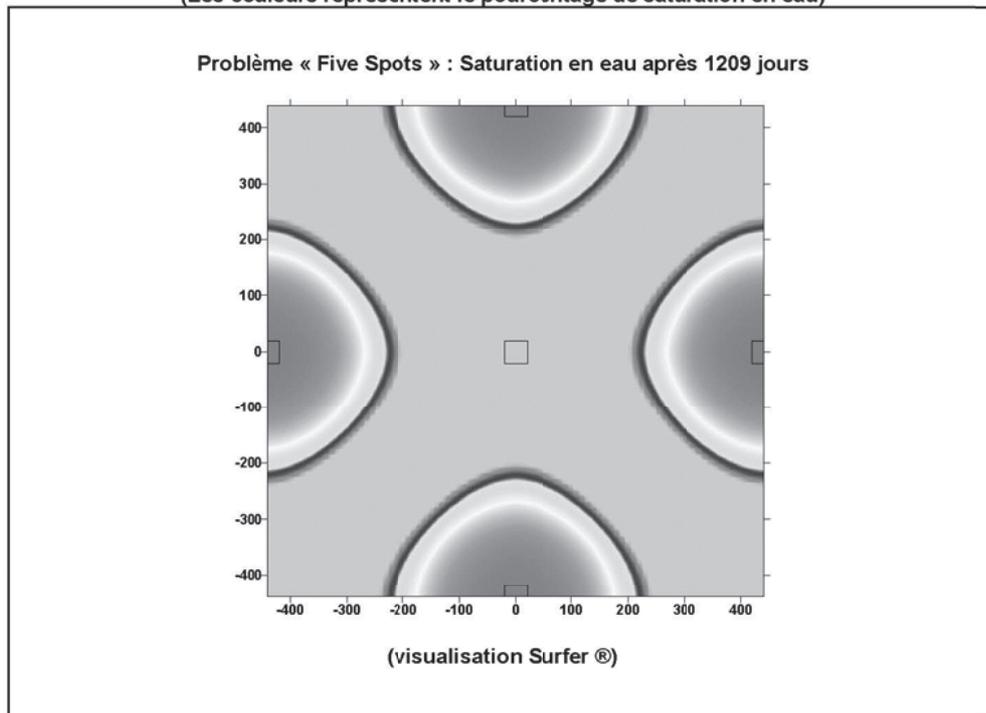
# M A R T H E

Infiltration de TCE (Tétra-Chloro-Éthylène) non miscible dans des sables hétérogènes initialement saturés en eau  
Expérience de Kueper



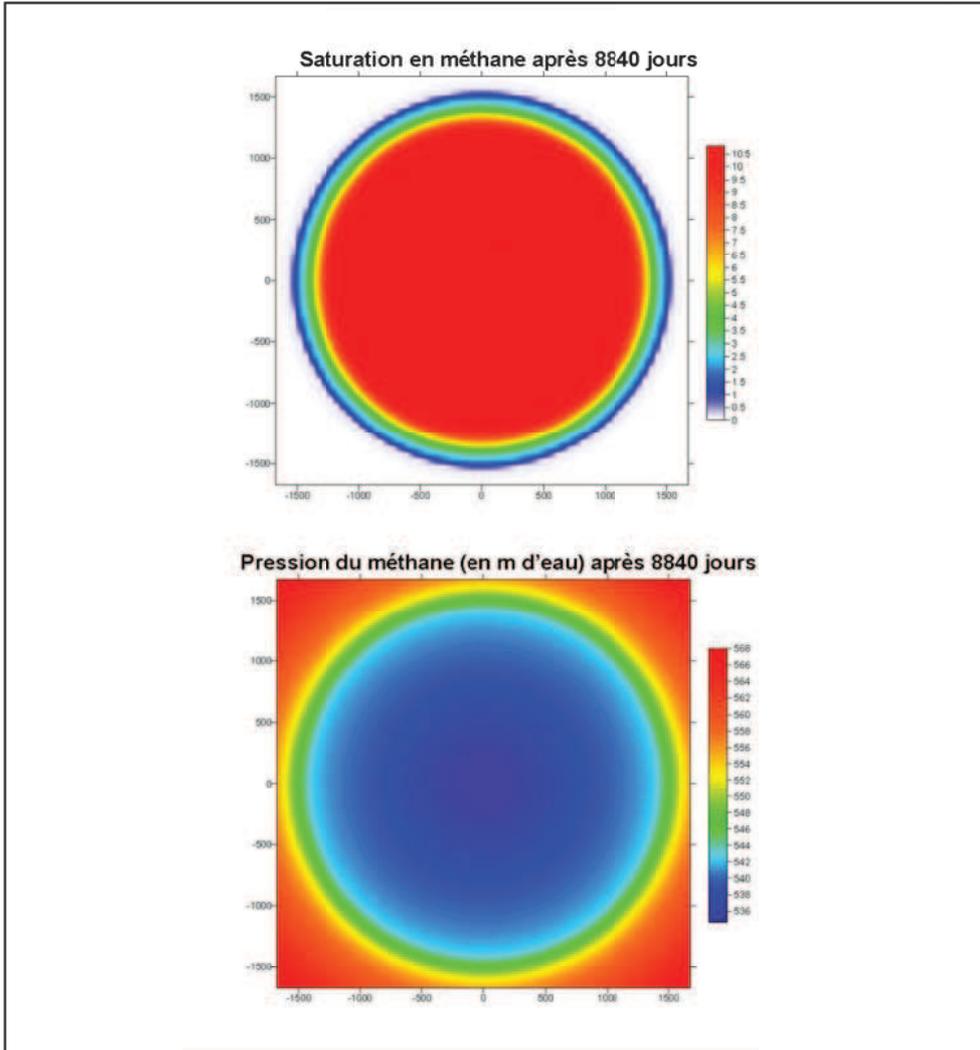
# M A R T H E

**Simulation diphasique de l'injection d'eau en 4 points dans une formation saturée en hydrocarbure**  
(Les couleurs représentent le pourcentage de saturation en eau)



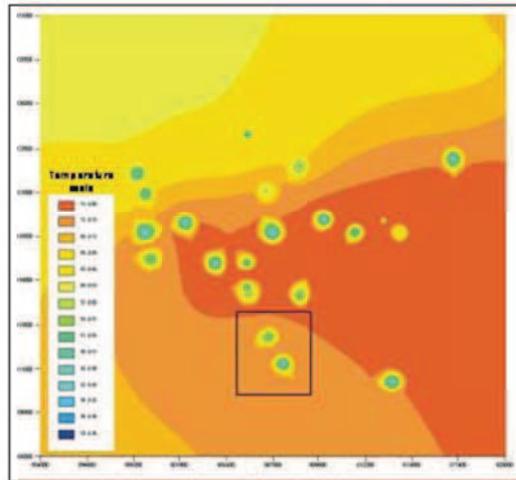
# M A R T H E

## Simulation diphasique d'un stockage de méthane dans un aquifère

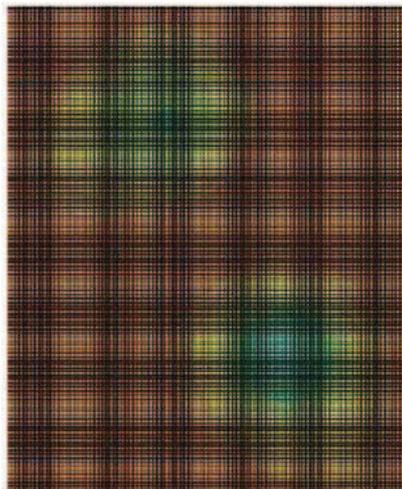


# M A R T H E

## Simulation de doublets géothermiques dans le Dogger



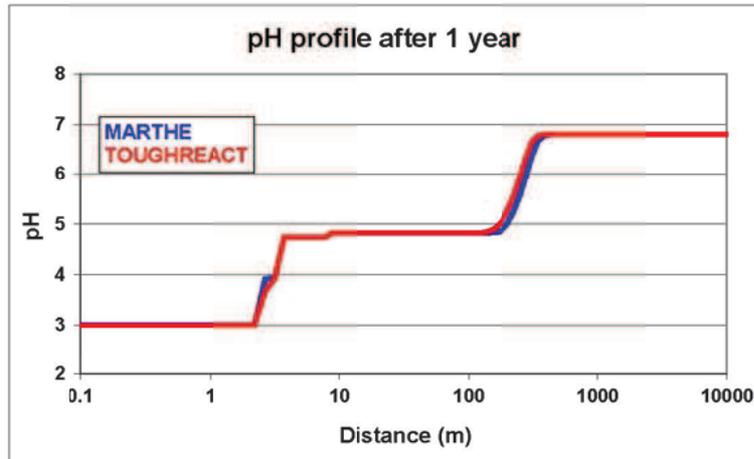
Doublets géothermiques dans le Dogger : vue en plan



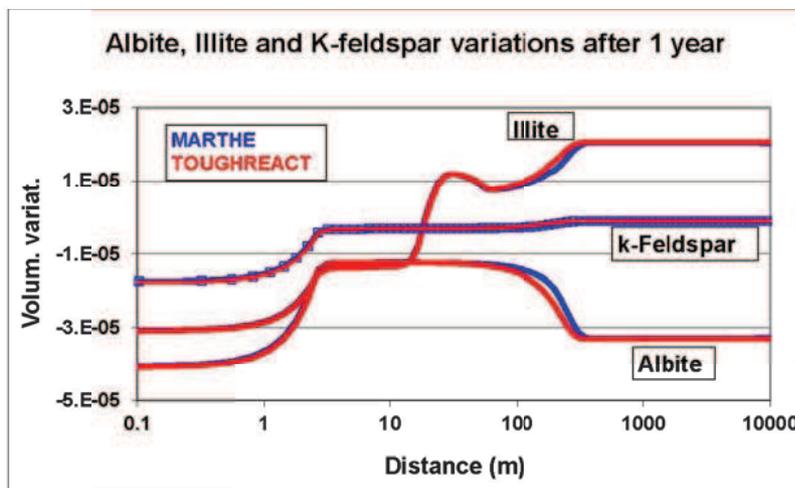
Détail de la zone centrale montrant le maillage utilisé

# M A R T H E

Injection d’une eau saturée en CO<sub>2</sub> dans l’aquifère du Dogger (Bassin de Paris).  
Maillage 2D radial  
Solveur Géochimique REACT du code TOUGHREACT du LBNL (Berkeley)



Profil de pH en fonction de la distance au point d’injection



Variation des volumes de certains minéraux de la matrice