

**Direction des Actions Territoriales - Direction Nouvelle Aquitaine**

**N/Réf. Offre n° AP24BDX509 du 22/01/2024**

Affaire suivie par Marc SALTEL (DAT/NVA/BDX, [m.saltel@brgm.fr](mailto:m.saltel@brgm.fr))

## Proposition technique & financière



# **AGORA 2 : Approche de Gestion Optimisée des Réservoirs Aquifères 2**

## **Optimisation du parc de forages oligocènes de la Métropole**

Demandeur

**Régie de l'eau Bordeaux Métropole**

91 RUE PAULIN  
CS 42086  
33081 BORDEAUX CEDEX

**À l'attention de Jessy JAUNAT**

Tél. : +33 6 16 71 67 12–[jessy.jaunat@leaubm.fr](mailto:jessy.jaunat@leaubm.fr)

## AVERTISSEMENT

Les éléments constituant cette offre (informations, documentation etc.) sont confidentiels. Ils constituent un secret scientifique et commercial dont le propriétaire est le BRGM.

Ils ne doivent être communiqués et divulgués qu'aux seuls salariés du récepteur et/ou tiers agissant dans le cadre du projet pour lequel cette offre est émise et à qui, en raison de leur implication directe dans le projet, il est nécessaire de les transmettre.

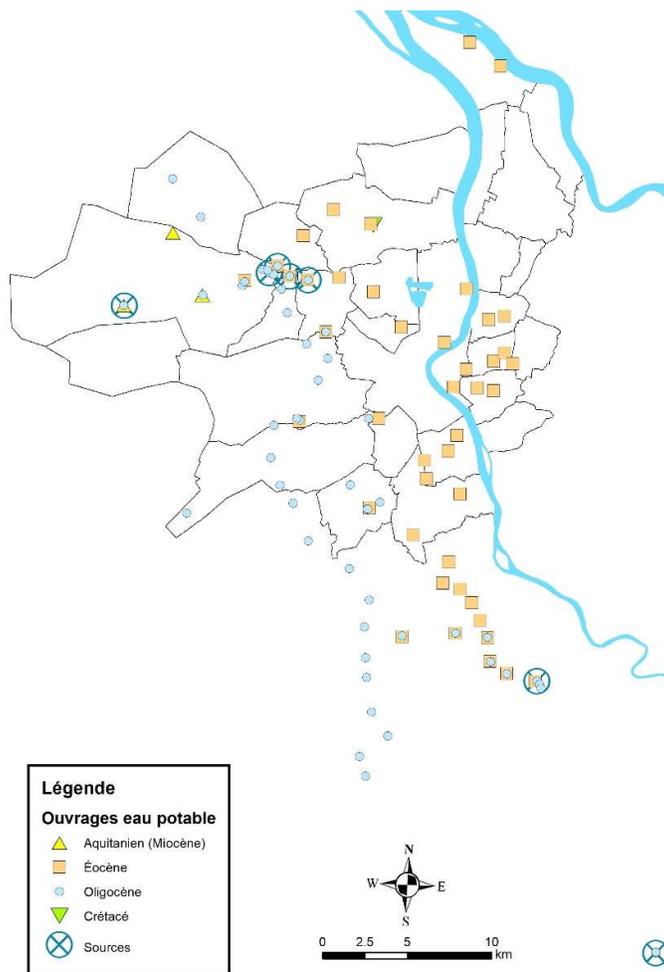
Tout ou partie de cette offre ne peut pas être utilisée, reproduite ou transmise à des personnes autres que celles citées ci-dessus, sous aucune forme ou par aucun moyen, y compris mais sans être limité à des photocopies, des enregistrements, etc., sans autorisation écrite préalable du BRGM.

## 1. Contexte et objectifs

Bordeaux Métropole regroupe 28 communes et concentre la population la plus dense et la plus nombreuse de la Gironde avec près de 820 000 habitants.

Le parc de captages pour l'alimentation en eau potable de la Métropole comporte 101 points de prélèvement (très majoritairement des forages) :

- 3 sites de prélèvements dans les nappes du Miocène dont 1 source ;
- 53 sites de prélèvements dans la nappe de l'Oligocène dont 6 sources ;
- 45 sites de prélèvements dans les nappes de l'Éocène ;
- 1 site de prélèvement dans la nappe du Campano-Maastrichtien (Crétacé).



En 2020 le volume d'eau prélevé s'élève à 56,62 millions de m<sup>3</sup> avec un record de livraison d'eau potable le 30 juillet avec un volume livré au réseau de 182 137 m<sup>3</sup>.

La totalité de l'eau distribuée (volumes consommés par les usagers sur le territoire de Bordeaux Métropole ou délivrés par interconnexions des réseaux, forfaits et ventes aux navires), provient de nappes souterraines.

Historiquement, la nappe de l'Oligocène est la ressource principale pour Bordeaux Métropole suivi de l'Éocène. Puis, avec un nombre plus réduit d'ouvrages, le Miocène et le Crétacé apportent un volume beaucoup plus faible. Les volumes prélevés dans l'aquifère de l'Oligocène, longtemps inférieurs à ceux des nappes de l'Éocène, ont progressivement augmenté jusqu'à devenir, à partir de 1997, équivalents à ceux des nappes de l'Éocène. Cette ressource a donc un intérêt stratégique primordial pour l'alimentation en eau potable de l'agglomération bordelaise.

Toutefois, des études réalisées dans les années 2000 (Corbier *et al.*, 2005; Platel *et al.*, 2000; Schnebelen *et al.*, 2002) ont montré le fort impact des pompages effectués au sud de l'agglomération bordelaise le long de la ligne dite des « 100 000 m<sup>3</sup>/j ».

L'exploitation du réservoir de l'Oligocène au sud de l'agglomération bordelaise a entraîné dans certains secteurs une baisse progressive de la piézométrie provoquant un dénoyage graduel de l'aquifère.

La notion de dénoyage d'un aquifère, définie dans le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) Nappes Profondes de Gironde, est la suivante : « Le dénoyage consiste à désaturer un réservoir par abaissement de la surface piézométrique de la nappe. Cette notion s'applique plus particulièrement à un aquifère initialement captif dont la nappe est rendue libre par le rabattement. Le dénoyage d'un ouvrage d'exploitation est une opération qui met en péril la conservation des propriétés hydrauliques et la stabilité de l'ouvrage. Lorsque le phénomène de désaturation du réservoir s'étend dans l'espace, on parle de dénoyage de nappe. Un dénoyage de nappe est une opération qui met en péril la conservation des propriétés physico-chimiques, microbiologiques et hydrauliques de la ressource. Pour maîtriser ce risque, il convient de limiter l'abaissement de la surface piézométrique de la nappe sur les ouvrages d'exploitation ainsi qu'à grande échelle. »

Par ailleurs, dans le cadre de la disposition 5 du SAGE Nappes Profondes de Gironde, qui traite de l'Atlas des Zones à Risques, le secteur concerné par le dénoyage de l'aquifère de l'Oligocène en périphérie de l'agglomération bordelaise a été identifié comme devant faire l'objet de mesures de gestion en pression.

Afin d'alimenter cet atlas des Zones à Risques, un modèle hydrodynamique a été conçu spécifiquement pour étudier cette problématique (Saltel *et al.*, 2010) ; modèle Oligocène (Figure 1). Ce modèle est intégré dans la disposition 95 du SAGE nappes profonde de Gironde qui stipule que : « *Le modèle Oligocène élaboré pour l'Atlas des zones à risques est le modèle de référence qui sert à l'élaboration des règles de gestion de l'Oligocène. Les nouveaux prélèvements susceptibles d'avoir un impact sur les zones à risque de dénoyage (ZAR) ou les zones à enjeux aval (ZAEA) feront l'objet d'une simulation au sein du modèle Oligocène pour vérification de la compatibilité avec les règles de gestion.* »

Dans un premier temps, le modèle a permis de simuler la zone dénoyée et de reconstituer son évolution (extension) au cours du temps. Le modèle a ensuite été utilisé pour réaliser des simulations prospectives afin d'évaluer de manière globale l'ordre de grandeur de la réduction des prélèvements à envisager pour réduire l'impact de l'exploitation du réservoir sur le dénoyage de la nappe.

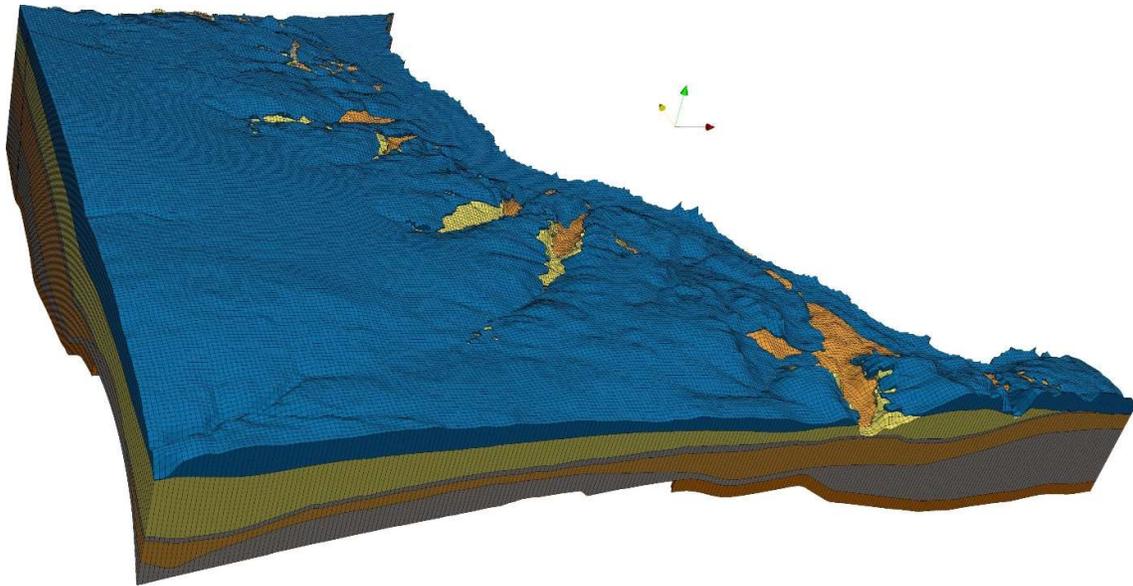


Figure 1 : Visualisation 3D du modèle Oligocène

Cependant, ces premières simulations avaient été faites selon une approche essai/erreur sans tenir compte des contraintes propres au parc d'ouvrages existant (rabattements maximums, interconnexions/fonctionnement du réseau, position des conduites). On ne peut donc exclure que certains des scénarios testés au cours de ce premier travail soient dans les faits inapplicables.

En parallèle, pour répondre aux enjeux de son approvisionnement en eau potable, Bordeaux Métropole s'est associée au BRGM pour élaborer le projet AGORA. Ce dernier visait à proposer des scénarii d'optimisation de l'exploitation de la ligne des « 100 000 m<sup>3</sup>/jour » permettant d'accroître la production, et par-là même sécuriser son approvisionnement en eau potable, tout en limitant au maximum l'extension de la zone dénoyée. L'optimisation de la distribution des pompages a été effectuée en appliquant le logiciel CAPUCINE® (CALcul de Pompages par Utilisation de Coefficients d'INfluence Externes - logiciel BRGM, Thiéry, 1993) au modèle Oligocène (Saltel *et al.*, 2019).

Le logiciel CAPUCINE permet d'optimiser sous contraintes les débits des forages d'un champ captant. Il s'utilise en aval d'un modèle hydrodynamique maillé (ici : le modèle Oligocène développé sous MARTHE) préalablement calé, à partir duquel ont été déterminé les coefficients d'influence entre forages, en régime permanent et/ou en transitoire. L'optimisation se fait en respectant des contraintes sur les niveaux dynamiques simulés en divers points de la nappe (forages exploités et piézomètres de suivi). Le logiciel fonctionne aussi bien en régime permanent qu'en régime transitoire, et il tient compte automatiquement des corrections de rabattement entre la maille et le puits, ainsi que des pertes de charges linéaires et quadratiques dans les forages. Les contraintes peuvent s'appliquer aux niveaux piézométriques (minimaux ou maximaux) ou aux débits prélevés, individuels ou groupés : par ex. maximiser le débit global pompé sur un ensemble de puits tout en respectant des plages de niveau dynamique dans les captages et/ou dans des piézomètres d'observation.

Ce travail a nécessité au préalable de réaliser un diagnostic des forages de la ligne des « 100 000 m<sup>3</sup>/jour » par la réinterprétation des anciens pompages d'essai afin d'évaluer

finement les propriétés des réservoirs sur le secteur en utilisant la méthode des dérivées, et de définir pour chaque forage les pertes de charges linéaires et quadratiques. L'analyse des données de terrains et des données de l'exploitant (débits d'exploitation, transmissivité, Déclaration d'Utilité Publique (DUP), avis d'hydrogéologue agréé, contraintes d'exploitation...) a permis d'aboutir à un diagnostic partagé sur les 18 forages existants et de redéfinir l'état de chaque forage : libre, captif, dénoyé ou à aléa de dénoyage. Cette analyse a également permis de déterminer les puits pour lesquels une révision des seuils fixés dans la DUP seraient envisageables.

L'optimisation du champ captant de la ligne des « 100 000 m<sup>3</sup>/jour » a permis de proposer, dans une approche globale, des marges de manœuvre dans la configuration actuelle tout en préservant l'équilibre de la nappe. Le scénario optimisé montre que des ajustements d'exploitation (abaissement des niveaux de régulation et des modifications de DUP) permettraient d'augmenter le volume global produit par la ligne des « 100 000 m<sup>3</sup>/jour » de l'ordre de + 17,8 %.

Dans un second temps des propositions de configurations alternatives ( $\alpha$  et  $\beta$ ) ont permis d'envisager des pistes de développement en créant de nouveaux ouvrages. Même si cette approche reste exploratoire, du fait que les résultats soient fortement dépendants des transmissivités implémentées dans le modèle qui sont issues d'un processus de calage et peuvent différer des paramètres sur site qui n'ont pas fait l'objet de mesures sur le terrain, les gains évalués sont substantiels (de 2,2 à 5,5 millions de m<sup>3</sup>/an). Ce travail a permis in fine d'aboutir à la proposition de plusieurs options à plus ou moins long terme avec des coûts variables en fonction de la configuration qui pourrait être retenue. Il a également fait l'objet de valorisations scientifiques (Saltel *et al.*, 2021) et d'un retour d'expérience partagé avec la régie de l'eau présenté en congrès (Chesneau *et al.*, 2023).

Dans le cadre de son contrat d'objectif établi avec Bordeaux Métropole, la Régie de l'Eau de Bordeaux Métropole envisage un contexte à venir plus incertain en termes de ressources. Au-delà même du respect des règles établies par le SAGE nappes profondes de Gironde, la Régie de l'Eau Bordeaux Métropole doit faire face à :

- i) une vulnérabilité accrue de certaines de ses ressources majeures, des points de vues qualitatif (certaines ressources peu profondes font l'objet de relations nappes-rivière ayant déjà entraîné des contaminations) comme quantitatif (les aquifères exploités sont soit déficitaires soit déjà fragilisés et une diminution de la recharge est attendue dans les décennies à venir en conséquence du changement climatique);
- ii) une évolution démographique continue qui pourrait entraîner une augmentation de la demande en eau potable. Des projections établies dans le cadre de la réalisation du schéma directeur de l'eau potable, en cours de finalisation, mettent en évidence que les ressources actuellement disponibles pourraient ne pas satisfaire les besoins de pointe dès 2030.

Il est donc indispensable que le service mobilise des ressources complémentaires pour répondre aux besoins du territoire, tout en maîtrisant l'impact sur les ressources déficitaires.

Au vu des avancées probantes permises par le projet AGORA sur des enjeux similaires, la Régie de l'Eau et le BRGM souhaitent étendre l'approche à plus grande échelle sur l'ensemble des forages oligocènes exploités par la Métropole.

L'objectif global de ce nouveau programme de recherche est :

- Pour la Régie de l'Eau de Bordeaux Métropole : d'améliorer la connaissance géologique et hydrogéologique des ressources exploitées pour l'eau potable, d'optimiser le fonctionnement de son parc d'ouvrage et d'évaluer la possibilité d'élaborer in fine un outil de gestion performant qui permettra de piloter l'exploitation de ses champs captant. Ce programme permettra en outre de vérifier la possibilité d'augmenter les volumes produits à partir d'infrastructures déjà existantes ou en en créant de nouvelles, tout en garantissant la pérennité de la ressource sur le long terme. Il permettra par ailleurs de valoriser cette méthode d'exploitation raisonnée de la ressource basée sur un approche intégrative et concertée.
- Pour le BRGM : d'affiner la connaissance des paramètres hydrodynamiques dans un secteur à forts enjeux à partir des données de pompage, ainsi que d'accroître la représentativité du modèle oligocène, et indirectement du MONA.

## 2. Rappels préliminaires

Service géologique national, le BRGM est l'établissement public de référence dans les applications des sciences de la Terre pour gérer les ressources et les risques du sol et du sous-sol dans une perspective de développement durable. Le BRGM dispose de compétences, d'une expertise et d'une capacité de recherche reconnue dans la modélisation hydrodynamique et la gestion des eaux souterraines. Près de 70 % de l'eau potable provient des nappes souterraines alors que l'intensification de l'urbanisation et des prélèvements modifie significativement le fonctionnement des aquifères et la qualité des eaux. Le suivi de la disponibilité et de la qualité des eaux souterraines est au cœur des missions du BRGM. Cette ressource est fortement impactée par l'augmentation des besoins et le changement climatique qui contraint de plus en plus la recharge naturelle des aquifères. Des tensions sur la ressource et des conflits d'usage peuvent ainsi s'accroître dans certaines régions. Le BRGM suit en continu et étudie le fonctionnement des grandes masses d'eau du territoire national, à la fois en termes de disponibilité et de qualité chimique au travers du réseau piézométrique national. Le BRGM met à disposition de l'ensemble des citoyens cette information et dispose d'importants moyens analytiques, expérimentaux de modélisation prédictive pour caractériser le fonctionnement et la qualité des aquifères, mais aussi les restaurer autant que de besoin. Enfin, il met au point des outils de gouvernance avec des approches socio-économiques pour une gestion plus durable des masses d'eaux souterraines à l'échelle des bassins et des territoires

## 3. Contenu technique de la proposition technique

Ce programme d'une durée de 1 an s'inscrit dans un projet de plus grande envergure qui a pour objectif d'anticiper les difficultés que pourrait rencontrer la Régie de l'Eau de Bordeaux Métropole à moyens termes, telles que décrites en première partie. Ainsi, la finalité de ce projet sera de proposer au service un outil d'optimisation des prélèvements sur l'ensemble de ses ouvrages captant la nappe de l'Oligocène, en vérifiant la possibilité d'augmenter ces prélèvements tout en respectant les contraintes réglementaires, structurelles et hydrogéologiques rencontrées. Cette augmentation des volumes disponibles passant également par la création de nouvelles ressources, le projet AGORA vise également à

proposer une stratégie de création de nouveaux ouvrages à l'Oligocène. Enfin, afin de s'assurer de la pérennité des solutions proposées, une approche prospective intégrant les effets du changement climatique à long terme, sur les ressources exploitées à l'Oligocène, sera également proposée.

La présente proposition n'est donc que la première phase de ce projet qui devrait se dérouler sur deux années. Le programme de travail de cette première phase comprend 3 missions :

1. Optimisation de la ligne des 100 000 m<sup>3</sup>/j ;
2. Diagnostic des forages oligocènes (31 ouvrages) ;
3. Extension du modèle Oligocène ;

### **Mission 1 – Optimisation de la ligne des 100 000 m<sup>3</sup>/j**

#### **- *Mise à jour du modèle Oligocène***

L'objectif de la mise à jour est de pouvoir intégrer les résultats issus de la mise en œuvre du scénario optimisé issus des premiers travaux d'AGORA.

Dans la version utilisée dans le cadre du projet initial d'AGORA (Mod\_Oligo V2-2014), le modèle simule les écoulements au pas de temps trimestriel entre 1972 et 1999 et mensuel entre 2000 et 2014.

Afin d'actualiser le modèle hydrodynamique, les données les plus récentes seront utilisées pour mettre à jour les valeurs de prélèvements, les données météorologiques et les chroniques d'observation jusqu'en 2022.

#### *Prélèvements*

En Gironde, les volumes prélevés dans les nappes d'eau souterraine sont collectés au pas de temps annuel par le BRGM dans le cadre de la convention « Gestion des nappes en Gironde » signée avec le Département de la Gironde. Les données de cet inventaire, disponibles sur le SIGES Aquitaine opéré par le BRGM (<https://sigesaqi.brgm.fr/Volumes-prelevés.html>), sont quasi exhaustives pour les usages AEP et industriels et chaque ouvrage est rattaché à la nappe qu'il capte.

Cet inventaire présente toutefois des lacunes pour les usages agricoles et individuels. Pour les prélèvements destinés à l'agriculture, les volumes ne sont pas collectés mais estimés par la Chambre d'Agriculture de Gironde sur la base d'un inventaire réalisé en 2005, prise comme année de référence, et d'une clef de répartition. Cette dernière reflète les besoins en eau des plantes et est ainsi fonction des conditions climatiques.

Un croisement est réalisé avec les données de la BNPE (à jour à date de l'offre jusqu'en 2021). Sur l'emprise du modèle Oligocène, un travail complémentaire sur les données de prélèvement sera réalisé pour pouvoir mieux ventiler les prélèvements sur l'année en fonction de leurs usages :

- Pour l'alimentation en eau potable, des données plus fines provenant des exploitants seront utilisées. Pour les exploitants pour lesquels, des données mensuelles ne sont pas

- disponibles, les clés de répartition produites par le SMEGREG seront utilisées (SMEGREG, 2013) ;
- Les prélèvements pour usage agricole seront ventilés sur la saison d'irrigation en se basant sur la clé de répartition proposée par la Chambre d'Agriculture et le GRCETA (Groupement de Recherche sur les Cultures et Techniques Agricoles des Sols Forestiers d'Aquitaine) décrite dans la note du SMEGREG (SMEGREG, 2013) ;
  - Les autres usages seront considérés comme uniformément répartis sur l'année.

### Données météorologiques

La détermination des flux de recharge est réalisée par l'intermédiaire du calcul de bilans hydroclimatiques avec le schéma GARDENIA (Thiéry, 2003) intégré dans le code MARTHE. Les données de précipitation et d'évapotranspiration journalières utilisées sont issues des « ré-analyses SAFRAN » (résolution de 8 kilomètres, soit 42 mailles réparties sur l'extension du modèle) et sont fournies par Météo-France.

### Piézométrie et débit des cours d'eau

Le BRGM est opérateur des réseaux quantité et qualité du département de la Gironde pour le compte du Conseil Départemental, maître d'ouvrage. A ce titre, il collecte et bancarise les données piézométriques et d'analyses chimiques régulièrement dans la BSS-EAU et diffusées via le portail national ADES (Accès aux Données sur les Eaux Souterraines).

Un inventaire des débits des cours d'eau provenant des stations référencées dans Hydro Portail (<https://hydro.eaufrance.fr/>) sera réalisé.

#### **- Intégration du retour d'expérience de la REBM sur la ligne des 100 000 m<sup>3</sup>/j**

L'optimisation du champ captant de la ligne des « 100 000 m<sup>3</sup>/jour » a permis de proposer, dans une approche globale, des marges de manœuvre dans la configuration actuelle tout en préservant l'équilibre de la nappe. Le scénario optimisé montre que des ajustements d'exploitation (abaissement des niveaux de régulation et des modifications de DUP) permettraient d'augmenter le volume global produit par la ligne des « 100 000 m<sup>3</sup>/jour » de l'ordre de + 17,8 %.

Entre 2020 et 2022, des modifications des consignes de niveau de régulation ont été appliquées conformément aux préconisations du modèle. Cela a pu nécessiter sur certains ouvrages le changement de pompes ou l'installation de variateurs de vitesse. Pour d'autres, il a été impossible de mettre en œuvre les résultats de la modélisation, en raison de limitations structurelles.

Au total, les niveaux de régulation préconisés ont pu être appliqués sur 10 des 18 forages de l'axe étudié pour un gain de productivité de 0,7 Mm<sup>3</sup>/an.

La valeur du projet AGORA, au-delà d'avoir permis d'établir des règles de gestion qui préservent à la fois la ressource et la capacité de prélèvement, tient aussi aux bénéfices d'une collaboration entre une équipe de recherche et un exploitant d'installations pour l'amélioration des modèles et des modes d'exploitation.

L'objectif est ici d'enrichir le modèle en intégrant notamment les résultats issus de la mise en œuvre du scénario d'optimisation. L'objectif est de vérifier que les ajustements d'exploitation sont bien retranscrits dans le modèle et le cas échéant de procéder à des ajustements de calage pour reproduire les observations sur les forages de la ligne des 100 000 m<sup>3</sup>/jour là où des modifications d'exploitation ont eu lieu.

Le modèle ainsi réajusté sera utilisé pour proposer de nouveaux scénarios de ressources complémentaires correspondant à la combinaison des configurations alternatives du champ captant évoquées ci-après. Ces résultats contribueront à construire la stratégie « ressources » de la Métropole et à définir la politique d'investissements de sa régie.

### - **Modélisation combinée des solutions $\alpha$ et $\beta$**

Ce travail d'optimisation sera réalisé en se basant sur les configurations alternatives de champ captant proposées en 2019 (options  $\alpha$  et  $\beta$ ) pour évaluer les ordres de grandeur des gains liés à la réalisation de nouveaux forages.

Les options  $\alpha$  et  $\beta$  sont situées dans des secteurs moins exploités et il y a moins d'interactions avec les forages AEP déjà existant hors ligne des 100 000 m<sup>3</sup>/j. La nature libre de la nappe dans ce secteur réduit les impacts sur la piézométrie. A noter qu'aucun impact significatif n'avait été simulé dans les cadres des travaux de 2019 sur les sources de Bellefond en termes de piézométrie ni sur les débits simulés des ruisseaux du Gât-Mort et du Saucats. Les forages à réaliser sont peu profonds (entre 30 et 50 m en moyenne). Ces configurations restent cependant plus vulnérables aux pollutions de surface et aux aléas climatiques.

Le gain induit par la création de nouveaux forages est substantiel. Les premières analyses montrent que le réseau pourrait accepter les gains de débit des options  $\alpha$  et  $\beta$ . Les analyses restent à être menées sur la capacité des filières de traitement à intégrer les gains de débit.

L'option  $\alpha$  (Figure 2) correspond à la création de forages sur des sites sur lesquels existent déjà des forages captant l'Éocène (Matasset – Castaing – Sautegrit – Cordon – Pontet) permettant ainsi de disposer de doublets. Il n'est donc pas nécessaire de faire l'acquisition de nouvelles parcelles dans cette configuration ni de créer de réseau supplémentaire puisque la ligne des 100 000 m<sup>3</sup>/j raccorde déjà ce secteur.

Ces forages fictifs sont nommés Matasset 2, Castaing 2, Sautegrit 2, Cordon 2, et Pontet 2. Ils apparaissent en vert sur la carte ci-dessus. Les profondeurs des forages de l'option  $\alpha$  varient entre environ 10 et 50 de mètres. Le forage de Matasset 2 étant celui où l'épaisseur du réservoir est la plus faible.

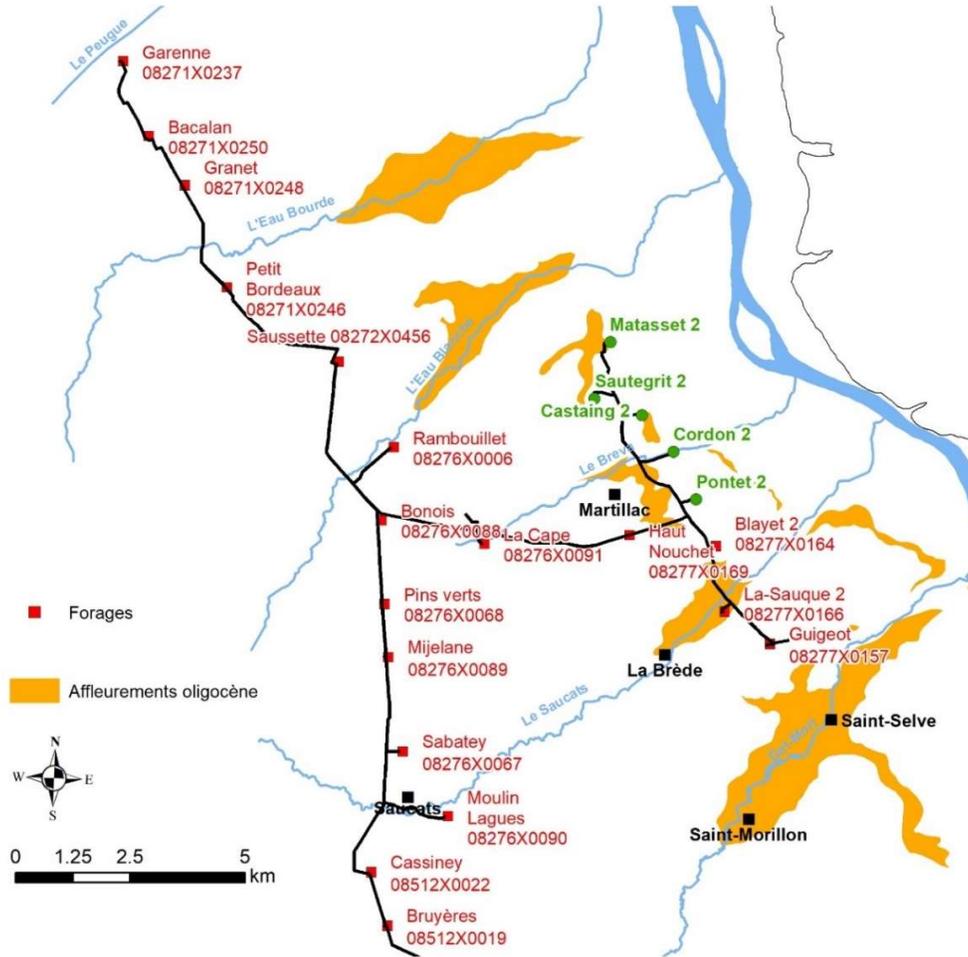


Figure 2 : Configuration alternative  $\alpha$

L'option  $\beta$  (Figure 3) est située plus au sud par rapport à la disposition précédente. Elle correspond également à la création de forages sur des sites sur lesquels existent des forages captant l'Éocène (Reys – Pinchot– Grangeneuve – Curcie Petiton – Cholet) permettant ainsi de disposer de doublets. Le parcellaire est donc déjà acquis, par contre ces forages ne sont pas raccordés à la ligne des 100 000 m<sup>3</sup>/j. Le coût de la création du réseau est donc à intégrer en plus même si les servitudes d'utilité publique existent déjà et permettraient facilement la création d'un réseau. A noter que le site de Grangeneuve dispose d'ores et déjà d'un doublet Oligocène/Éocène ; seuls 4 forages seraient à créer dans cette configuration : Le Reys 2, Pinchot 2, Curcie Petiton 2 et Cholet 2 (en bleu sur la carte).

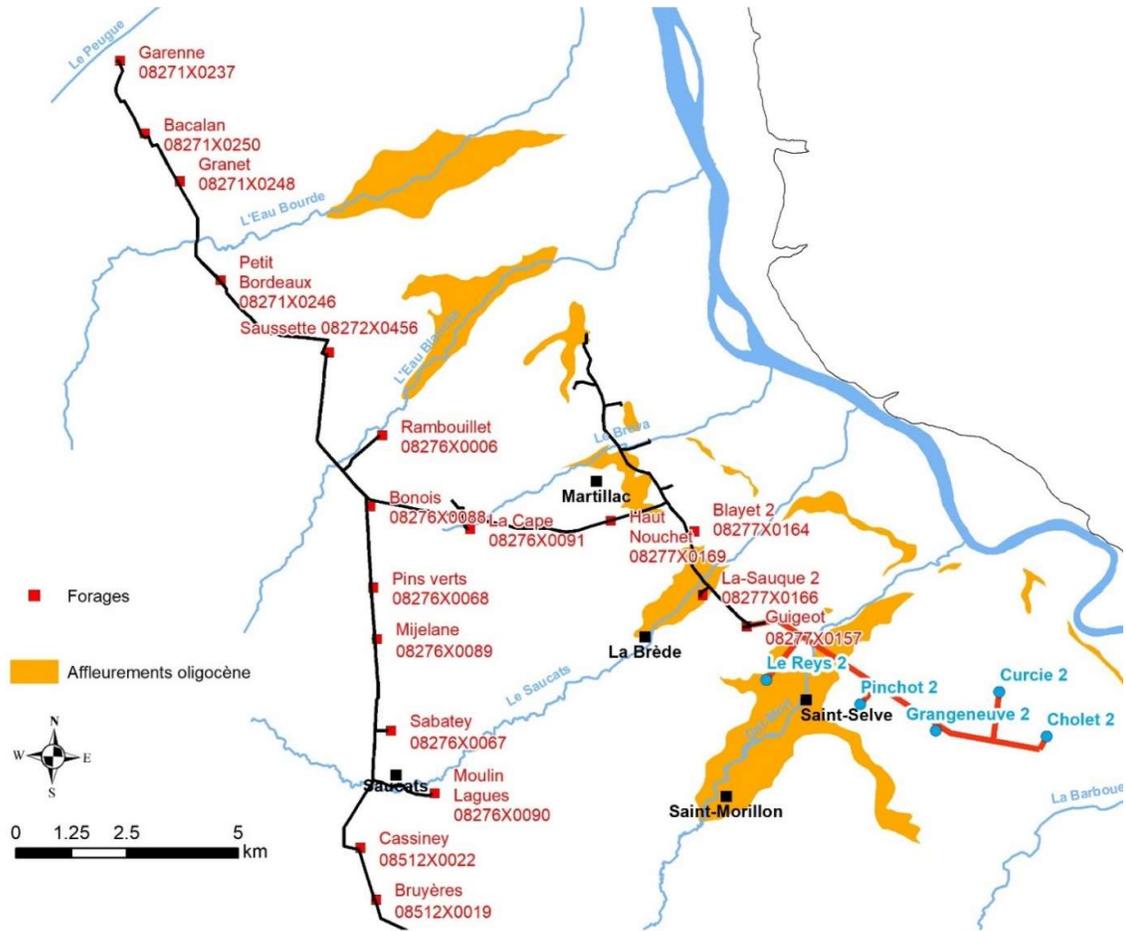


Figure 3 : Configuration alternative  $\beta$

Les profondeurs des forages de l'option  $\beta$  varient entre environ 35 et 60 de mètres. L'épaisseur du réservoir captée est comprise entre 30 et 40 m.

Dans le cadre du présent projet, l'objectif est de tester la combinaison des deux options  $\alpha$  et  $\beta$  (soit 10 forages). Le processus d'optimisation sera conduit sur ce scénario de mise en exploitation de 10 forages supplémentaires en utilisant les logiciels CAPUCINE et MARTHE, selon le protocole défini sur le projet AGORA en 2019 résumé en figure 4.

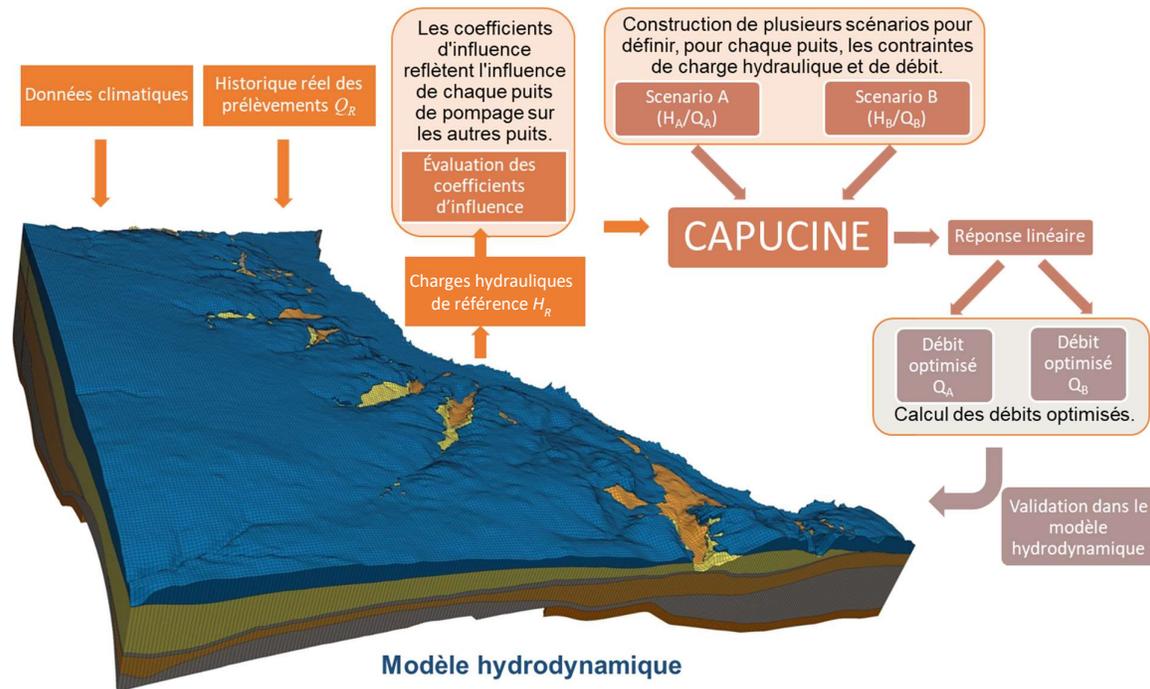


Figure 4 : Principes de fonctionnement du logiciel CAPUCINE®

Pour chaque nouveau forage seront définis :

- Le rayon de l'ouvrage fixé à 8"1/2
- Perte de charge quadratique dans les gammes reconnues dans la littérature (Walton, 1962 ; Mathias et al., 2010) entre 500 et 8 000  $m^{-5}.s^2$ .
- Débit max limité à 150  $m^3/h$  pour ne pas mettre des débits trop optimistes
- Charge minimale fixée à 70% de l'épaisseur mouillée initiale en zone libre et 1 m au-dessus du toit du réservoir en zone captive

Le résultat correspondra à une estimation des débits et des volumes annuels associés sur les 10 nouveaux forages ainsi que l'impact sur la piézométrie de la création de ces ouvrages. En dehors des forages de la ligne des 100 000  $m^3/j$  l'impact sur les forages AEP dans la zone concernée par cette configuration (ex : Marsalette , Curcie Petiton, Lagrange,...) sera évalué.

#### - Modélisation combinée des solutions $\alpha$ et $\beta$ et $\gamma$

L'option  $\gamma$  est située à l'ouest (Figure 5), dans la partie captive du réservoir. Ici il n'y a pas de maîtrise du foncier et il est nécessaire de créer un réseau complémentaire pour se raccorder à la ligne des 100 000  $m^3/j$ . Par ailleurs la nappe de l'Oligocène est déjà sollicitée dans ce secteur par d'autres syndicats d'eau potable, notamment sur la commune de Cestas. Etant donné l'approfondissement du réservoir vers l'ouest, ces forages seraient plus coûteux que ceux réalisés dans le cadre des options  $\alpha$  et  $\beta$ . Les profondeurs estimées de ces forages sont comprises entre 110 et 140 m.



## Mission 2 - Diagnostic des forages oligocènes (31 ouvrages)

Ce travail s'appuiera sur les données de pompages provenant de la BSS, acquises le plus souvent lors de la création de l'ouvrage, et des essais de pompage réalisés par la suite à intervalles plus ou moins réguliers. L'objectif est ici d'identifier les différents régimes d'écoulement autour de chaque forage et d'en déduire les propriétés de l'ouvrage (effet de capacité, effet de skin, ...), de l'aquifère (isotrope, anisotrope, fracture verticale, double porosité, etc.), de sa géométrie (effets de limites), des éventuelles relations entre l'aquifère capté et d'autres aquifères (effet de drainance par exemple), avec éventuellement la mise en évidence d'écoulements fractionnaires (par exemple, induits par la forte perméabilité de drains karstiques). L'approche proposée est décrite dans le schéma suivant (Figure 6).

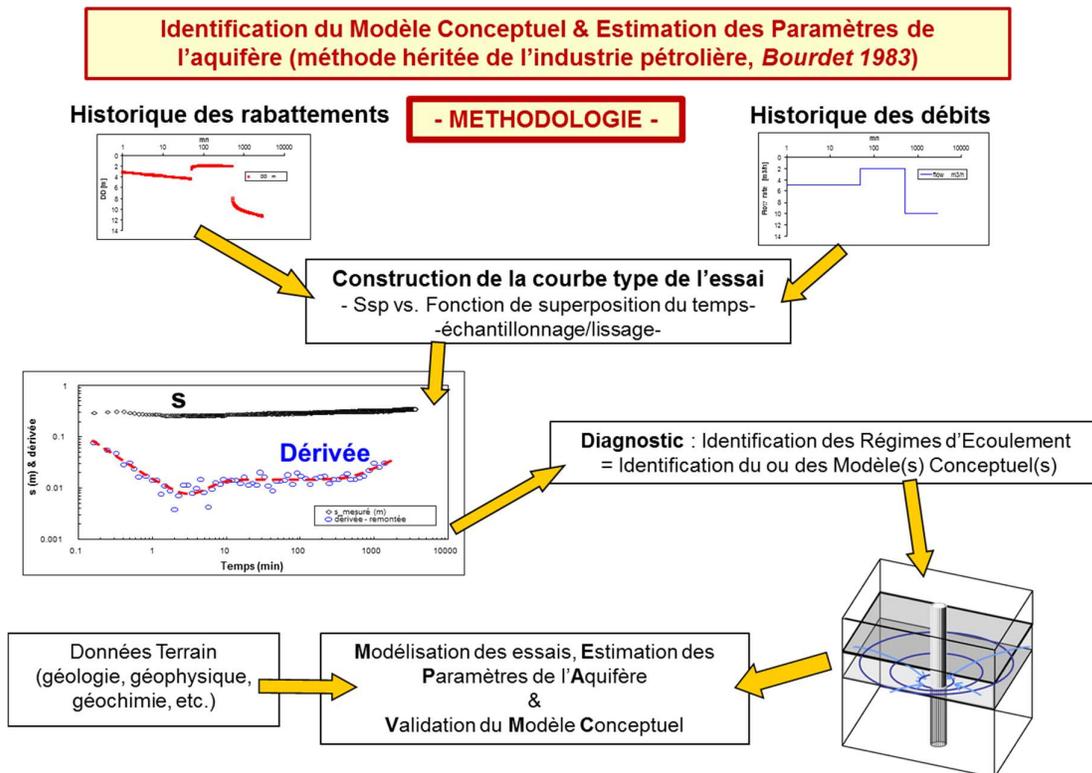


Figure 6 : Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation de pompages d'essai. Utilisation des dérivées des rabattements pour diagnostiquer les essais.

L'interprétation des essais de pompage dans les formations fracturées ou dans les formations sédimentaires hétérogènes est souvent complexe, conséquence de la géométrie des réseaux de fractures, des relations fracture-matrice, de la connexion de ces réseaux avec des aquifères de surface, de l'empilement et de la géométrie de séries à perméabilités différentes lorsqu'il s'agit de formations sédimentaires, etc.

Afin de déterminer les différentes composantes d'écoulement associées aux propriétés hydrauliques de tels aquifères, il est nécessaire de porter une attention particulière aux essais de pompage et de poser un diagnostic aussi fin que possible sur les essais avant toute modélisation. Le diagnostic repose sur l'interprétation des pentes de la courbe de dérivée logarithmique des rabattements ( $\partial s / \partial \ln t$ ; à la descente ou à la remontée des niveaux) qui a

l'avantage de représenter tous les régimes d'écoulement sur un seul et même graphique bi-logarithmique (Bourdet *et al.*, 1989, 1983; Spane Jr. *et al.*, 1993).

L'avantage de cette méthode est que pour chaque type et/ou géométrie d'aquifère mais aussi pour chaque type de configuration forage-aquifère (captage partiel de l'aquifère par exemple), il correspond un certain régime ou une succession de certains régimes d'écoulement qu'il est en général possible d'identifier sur la courbe de dérivée (Deruyck *et al.*, 1992; Renard *et al.*, 2009; Schlumberger, 2002). Par exemple, un écoulement radial se caractérise par une dérivée formant un plateau (pente nulle), l'atteinte de deux limites étanches parallèles par une pente de  $\frac{1}{2}$ , 4 limites étanches orthogonales (ou un autre type de réservoir fermé) par une pente de 1, un captage partiel de l'aquifère par une pente de  $-\frac{1}{2}$ , un effet de drainance par une pente négative infinie, etc. La figure 7 présente comme exemple les différents types d'écoulement que l'on observe lors d'un pompage dans un aquifère situé dans un aquifère rectangulaire où, tour à tour, les limites étanches (orthogonales entre elles) sont perçues par l'essai. L'effet capacitif du puits est aussi pris en compte.

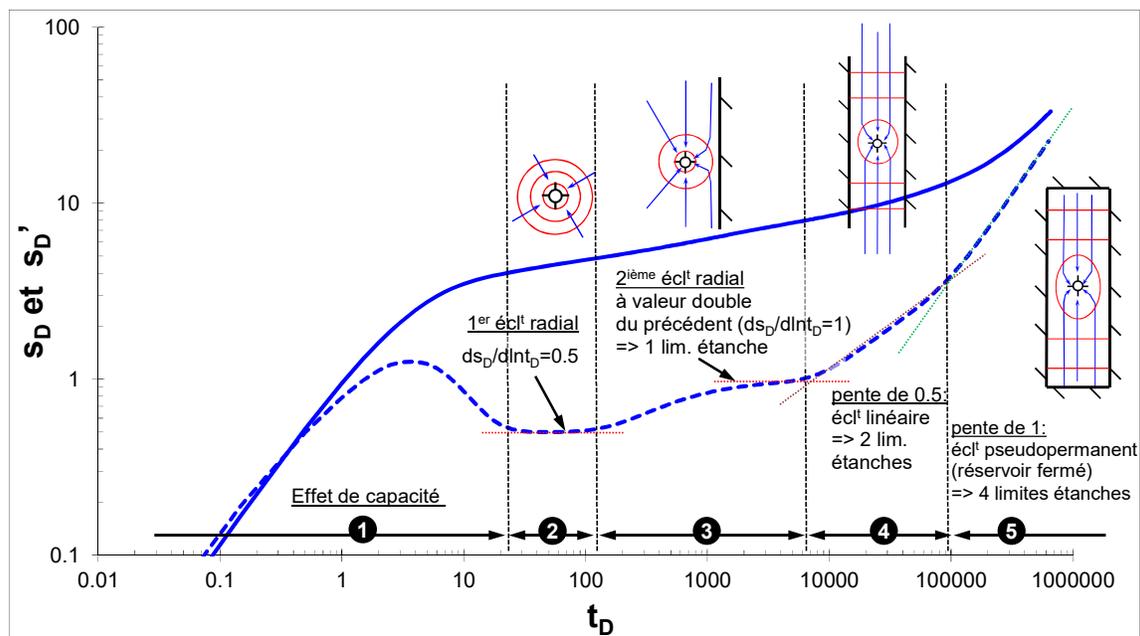


Figure 7 : Exemple de succession des régimes d'écoulement lors d'un pompage dans un aquifère rectangulaire clos.  $t_D$  : temps adimensionnel,  $s_D$  (courbe pleine) et  $s_D'$  (courbe tiretée) : rabattement et dérivée du rabattement (adimensionnel).

Une fois le diagnostic posé, l'estimation des paramètres de l'aquifère est réalisée à partir du modèle conceptuel le plus approprié et de sa transcription analytique.

Puis, le modèle conceptuel de l'aquifère est validé en jugeant de la pertinence des résultats de simulation numérique et des informations géologiques disponibles sur la formation testée.

A partir de la courbe des dérivées, il est déjà possible d'estimer les paramètres hydrodynamiques, en particulier la transmissivité et la perméabilité de la formation captée, lorsqu'un écoulement radial cylindrique est identifié.

Les paramètres hydrodynamiques (T, S) issus de ces interprétations permettront de consolider le calage du modèle Oligocène. Par ailleurs, le travail réalisé sur les essais de puits permettra de définir précisément les pertes de charges linéaires et quadratiques intégrées au processus d'optimisation.

### Mission 3 - Extension du modèle géologique de l'Oligocène

Le modèle géologique 3D de l'Oligocène a été élaboré dans le cadre de la réalisation de l'atlas des zones à risques Phase 2 (Saltel *et al.*, 2010). En 2017, le modèle géologique a été amélioré (Abasq *et al.*, 2017a), en tenant compte de la réalisation de nouveaux piézomètres effectués dans le cadre du projet RODÉO (Saltel *et al.*, 2012, 2015). Par ailleurs, les travaux de modélisation réalisés pour le développement du Modèle Nord Aquitain (Saltel *et al.*, 2014) ont également été utilisés à cette occasion pour améliorer la représentation de la géométrie des réservoirs (Figure 8).

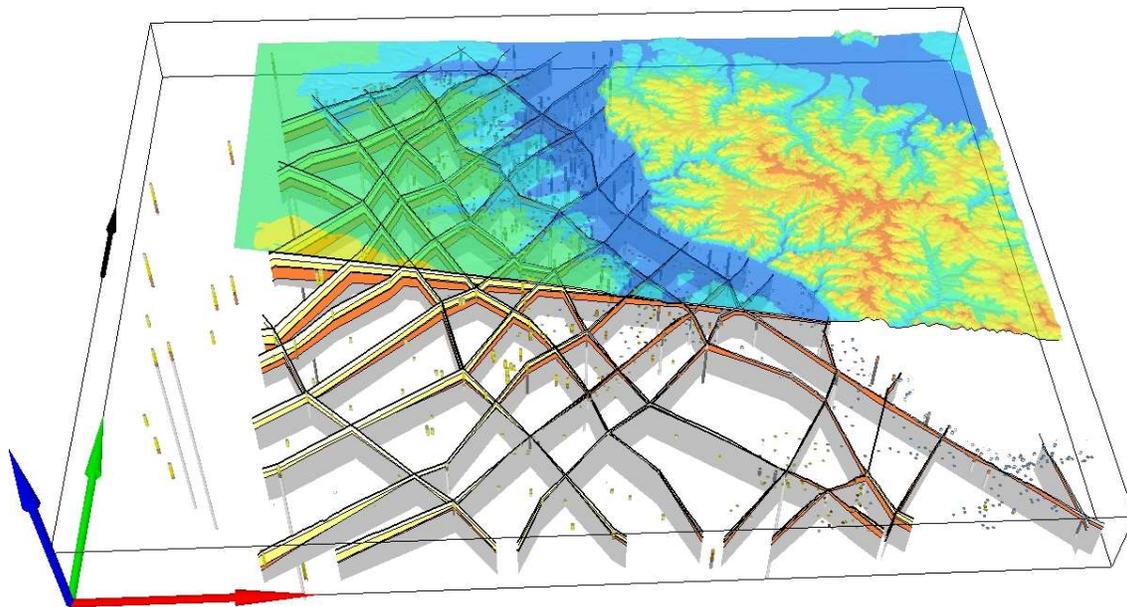


Figure 8 : Exemple de visualisation 3D du modèle géologique

L'extension actuelle du modèle Oligocène, dont la limite nord correspond au réseau hydrographique de la Jalle de Saint Médard, ne permet pas d'intégrer l'ensemble des nouveaux ouvrages qui ont été implantés dans la partie septentrionale de Bordeaux Métropole (Figure 9).

En s'appuyant sur les données (bases forages, cartes géologiques,...) des modèles géologiques existants (Abasq *et al.*, 2017b; Barrière *et al.*, 2023; Saltel *et al.*, 2014), le modèle géologique de l'Oligocène sera étendu vers le nord, en décalant la limite au droit du réseau hydrographique de la Jalle de Castelnau. Ainsi, avec cette extension révisée, le nouveau modèle pourra intégrer l'ensemble des ouvrages à prendre en compte dans la phase ultérieure d'optimisation à réaliser sur l'ensemble des ouvrages oligocène de la métropole.

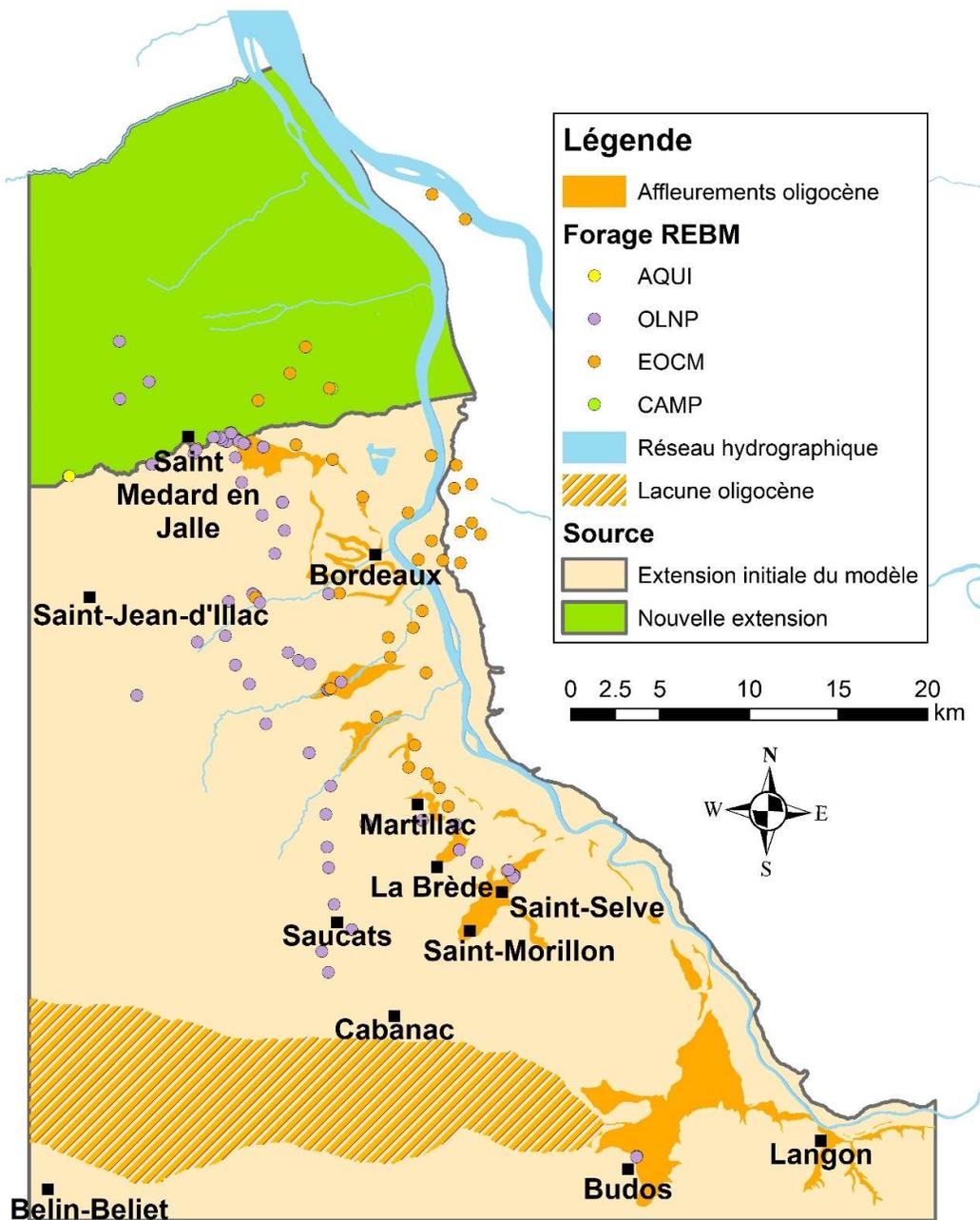


Figure 9 : Extension du modèle géologique vers le nord

L'objectif est ainsi d'obtenir un modèle géologique 3D avec des géométries robustes sur lequel s'appuiera la nouvelle version du modèle hydrodynamique. Le modèle sera ainsi recompilé dans le logiciel de modélisation géologique GDM (Geological Data Management) à la maille de 100 m sur l'extension du domaine d'intérêt (voir même figure que citée juste avant), ce qui permettra sa transposition directe sous Marthe dans les phases ultérieures.

Les travaux visant à compléter l'extension du modèle oligocène actuel nécessiteront l'intégration de données forages complémentaires avec une réinterprétation éventuelle. Les spécificités techniques vis-à-vis des paramètres pour la modélisation, et notamment la pile stratigraphique, pourra faire l'objet d'un ajustement par rapport à celle qui avait été établie à l'origine dans une optique d'optimisation des temps de calcul et de simplification du modèle.

## 4. Conditions de réalisations

### 4.1. Equipe de projet BRGM

L'étude sera pilotée par **Marc SALTEL**, docteur-ingénieur en hydrogéologie, ingénieur de recherche et chef de projet au sein de la Direction Régionale Nouvelle-Aquitaine du BRGM.

La mission sera conduite par une équipe du BRGM regroupant les compétences nécessaires en hydrogéologie et modélisation et en connaissance géologique du contexte local :

- **Marc SALTEL**, docteur-ingénieur en hydrogéologie, ingénieur de recherche et chef de projet au sein de la Direction Régionale Nouvelle-Aquitaine du BRGM ;
- **Pierre BOURBON**, géologue régional et chef de projet au sein de la Direction Régionale Nouvelle-Aquitaine du BRGM ;
- **Benoît DEWANDEL**, docteur-ingénieur en hydrogéologie, ingénieur de recherche et chef de projet au sein de de l'Unité « Nouvelles ressources en eau et économie », Direction Eau, Environnement, Procédés et Analyses du BRGM ;
- **Jean-Pierre VERGNES**, docteur-ingénieur en hydrogéologie et modélisation hydrodynamique- chef de projet au sein de l'Unité « Gestion de la ressource en eau », Direction Eau, Environnement, Procédés et Analyses du BRGM ;

### 4.2. Equipe de projet REBM

Le projet sera porté par **Jessy JAUNAT**, hydrogéologue, responsable de la mission « Environnement et Ressources » au sein de la « Direction Recherche, Innovation et Transition Ecologique » de la REBM. En plus du chef de projet, l'équipe qui sera chargée du suivi des travaux et d'opérer les choix et décisions portant sur les travaux sera constituée par :

- **Morgan LELOUS** (ou son représentant), Responsable « service ressources » au sein de la « Direction Ingénierie et Patrimoine » ;
- **Eric RIVET** (ou son représentant), Directeur de la « Direction Production et Qualité de l'Eau ».

Chacun des membres de l'équipe projet pourra se faire représenter à toute réunion par toute personne de son choix appartenant au même établissement.

Des membres extérieurs à la REBM pourront être invités par REBM pour assister aux différentes réunions et points intermédiaires prévus ou non au chronogramme. »

### 4.3. Chronogramme prévisionnel

	en mois (à compter de date de notification)																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Mission 1 – Optimisation de la ligne des 100 000 m <sup>3</sup> /j	■	■	■	■	■	■												
Mission 2 - Diagnostic des forages oligocènes (31 ouvrages)							■	■	■	■	■	■						
Mission 3 - Extension du modèle géologique de l'Oligocène													■	■	■	■	■	■
Réunions	■					■						■						■

### 4.4. Réunions

Afin de garantir la bonne exécution de l'étude, quatre réunions entre le BRGM et LA RÉGIE DE L'EAU BORDEAUX MÉTROPOLE sont prévues. Elles se dérouleront dans les locaux de LA RÉGIE DE L'EAU BORDEAUX MÉTROPOLE, dans ceux du BRGM (Pessac) ou bien par visioconférence :

- La 1<sup>ère</sup> réunion aura pour objet le lancement de l'étude et se tiendra le premier mois (M1) ; elle permettra d'identifier et si possible récolter les données nécessaires à l'avancement auprès de LA RÉGIE DE L'EAU BORDEAUX MÉTROPOLE ;
- La 2<sup>ème</sup> réunion aura pour objet de présenter les résultats des modélisations d'optimisation choisies ;
- La 3<sup>ème</sup> réunion aura lieu en fin de mission 2 pour présenter le travail de diagnostic des forages oligocènes.
- La 4<sup>ème</sup> réunion présentera les travaux d'extension du modèle Oligocène.
- La 5<sup>ème</sup> réunion présentera l'ensemble des travaux de l'étude en amont de la remise du rapport final et de la discussion sur la phase suivante d'AGORA.

Des points de suivi intermédiaire (téléphonique ou par visioconférence) pourront également être programmés à l'initiative de l'une ou l'autre des parties.

#### 4.5. Livrables

Le BRGM remettra à LA RÉGIE DE L'EAU BORDEAUX MÉTROPOLE :

- Un rapport à l'issue de la finalisation du projet. A la demande du partenaire, ce rapport 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, ;
- Les supports des présentations réalisés et les compte-rendu de réunion associés.

Ces documents seront rédigés en Français et remis en version numérique au format PDF.

Le livrable sera adressé par le BRGM à LA RÉGIE DE L'EAU BORDEAUX MÉTROPOLE qui disposera d'un délai de (2) semaines, à réception, pour faire part d'éventuelles remarques ou demandes de modification au BRGM. Passé ce délai, les livrables seront considérés comme validés et définitifs.

#### 4.6. Obligation du partenaire LA RÉGIE DE L'EAU BORDEAUX MÉTROPOLE

LA RÉGIE DE L'EAU BORDEAUX MÉTROPOLE s'engage à mettre à disposition du BRGM toutes données et documents en sa possession, et pertinents dans le cadre de l'étude.

Envoyé en préfecture le 20/06/2024

Reçu en préfecture le 20/06/2024

Publié le

ID : 033-895134674-20240619-20240209-DE



**Direction Régionale Nouvelle-Aquitaine**  
**24 avenue Leonard de Vinci**  
**33600 PESSAC**  
**tel. +33 (0)5 57 26 52 70**

**brgm** bureau de recherches géologiques et minières  
établissement public à caractère industriel et commercial – RCS Orléans – SIREN 582 056 149