

## **Fonctionnement hydrogéologique d'un système aquifère multicouche aux abords d'une structure anticlinale : le cas de l'anticlinal de Villagrains-Landiras en Gironde.**

### **Méthodologie et apport d'une approche pluridisciplinaire**

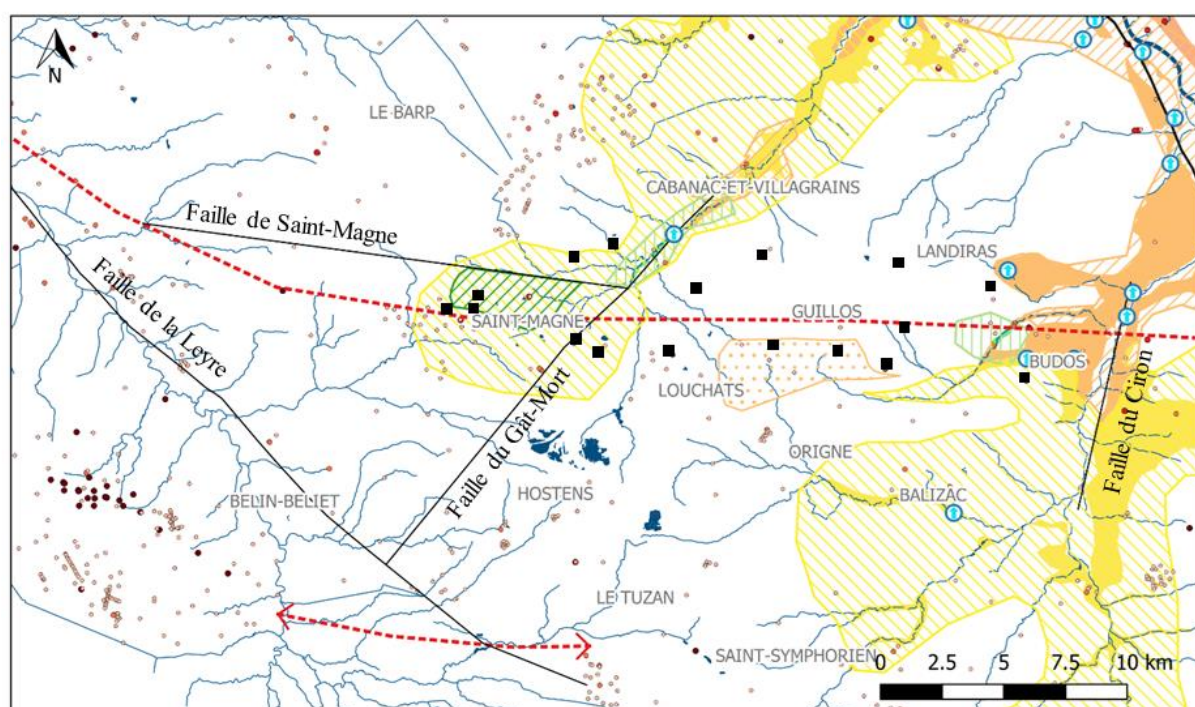
#### Résumé étendu

Gérer la disponibilité de la ressource en eau dans un contexte de changement climatique et d'augmentation démographique des zones urbaines est un défi actuel majeur. La multiplication des périodes de stress hydrique ces dernières années sur le sol français amène à travailler sur de nouveaux défis quant à l'alimentation en eau des différents usagers. Les bassins sédimentaires renferment des aquifères de large extension qui sont des ressources clé exploitées pour l'alimentation en eau potable. Pour trouver des ressources de substitutions aux aquifères actuellement sollicités, une meilleure compréhension des bassins sédimentaires qui renferment ces aquifères est nécessaire. En effet, à l'échelle d'un bassin sédimentaire, les déformations géologiques telles que les structures anticlinales jouent un rôle prépondérant dans le fonctionnement des systèmes aquifères (aire d'alimentation, zones d'exutoires). La complexité géométrique de ces structures (érosion, zones de non-dépôts, variations latérales de faciès et d'épaisseurs des séries sédimentaires) a un impact majeur sur les échanges entre les différents réservoirs. Néanmoins, cet impact est souvent sous-évalué et mal quantifié. C'est dans ce contexte que le SMEGREG EPTB a lancé une étude dans le sud de la Gironde, pour évaluer l'influence de la structure anticlinale de Villagrains-Landiras sur le fonctionnement hydrogéologique local. In fine, cette étude a pour but la faisabilité d'une mise en exploitation de l'aquifère du Cénomani. Une étude pluridisciplinaire est donc réalisée à l'échelle locale afin d'offrir une vision détaillée de l'architecture des différents objets géologiques qui composent l'aquifère multicouche de grande extension. Outre une meilleure compréhension de l'architecture du système, cette approche permet de quantifier l'influence de la structure géologique sur son fonctionnement hydrogéologique.

Le Bassin Aquitain, dans le sud-ouest de la France, est un des plus grands bassins sédimentaires français. Il renferme un système aquifère multicouche de très grande extension. En Gironde, les aquifères de l'Eocène et de l'Oligocène sont fortement sollicités pour l'alimentation en eau potable. L'anticlinal de Villagrains-Landiras, dans le sud de la Gironde, est une des grandes rides anticlinales qui se sont formées à la suite d'une succession

d'évènements tectoniques majeurs ayant affecté l'ensemble du Bassin Aquitain, notamment durant les phases de compression pyrénéenne. Au cœur de cette structure géologique, l'aquifère du Cénomaniens (Crétacé Supérieur) est sub-affleurant, alors qu'il se situe à plus de 1000 m de profondeur sous la ville de Bordeaux. Il est donc ciblé, aux abords de l'anticlinal et le long de son axe, en tant que ressource alternative. Il est primordial, avant une potentielle exploitation, de comprendre les connexions hydrauliques entre l'aquifère du Cénomaniens, les aquifères sus-jacents et les eaux de surface.

Les interactions hydrauliques entre les différents hydrosystèmes sont influencées par la nature et la géométrie des unités aquifères et des couches semi-perméables. Afin de préciser l'architecture des horizons réservoirs et épontes ainsi que leurs extensions, dix-sept sondages de reconnaissance géologique (12 carottés et 5 destructifs) ont été réalisés, notamment en partenariat avec le BRGM, dans le cadre de ces travaux (Figure 1). Leur interprétation (faciès, épaisseur, stratigraphie) est complétée par des essais pétrophysiques en laboratoire. Le fonctionnement hydrogéologique de la zone est interprété à partir des mesures horaires des niveaux piézométriques, de niveau d'eau dans les étangs (lagunes), de débit le long des cours d'eau, ainsi que des analyses géochimiques.



**Légende :**

- |                       |                        |                                                                               |                         |
|-----------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| — Faille              | Forages préexistants : | Zones potentielles de recharge indirecte :                                    | Affleurements :         |
| ↔ Axe des anticlinaux | • 20-80 m              | ▨ Aquifère du Miocène                                                         | ■ Miocène               |
| — Cours d'eau         | • 80-200 m             | ▨ Aquifère de l'Oligocène                                                     | ■ Oligocène             |
| ⊙ Sources             | • 200-1000 m           | ▨ Aquifère du Campano-Maastrichtien                                           | ■ Eocène                |
| ■ Nouveaux sondages   | • 1000-4912 m          | ▨ Zone de contact entre l'aquifère de l'Oligocène et du Campano-Maastrichtien | ■ Campano-Maastrichtien |

Figure 1 : localisation des sondages réalisés, des zones de recharge et de décharge

Cette pluridisciplinarité des méthodes employées permet une meilleure compréhension de la nature et la géométrie des séries depuis le Crétacé supérieur jusqu'aux séries actuelles. En effet, la caractérisation des faciès à différentes échelles a permis une meilleure définition des principales unités lithostratigraphiques de la zone d'étude. Les contours des zones de lacunes sédimentaires induites par l'érosion polyphasée de la structure anticlinale ont été précisés. Les formations éocènes sont absentes du centre de la zone étudiée. Les formations oligocènes, quant à elles, sont absentes le long de l'axe excepté à Guillos où 10 mètres de formations oligocènes ont été rencontrées proche de l'axe.

L'étude des propriétés réservoirs, en lien avec les processus d'altération des formations, a abouti à une meilleure caractérisation des niveaux aquifères et aquitards qui composent le système multicouche. Plusieurs phases d'altération et d'érosion ont été définies, mais celles du Paléocène sont les mieux préservées. Au cours des temps géologiques, lors des émergences successives, les formations calcaires présentes en subsurface s'altèrent. Leurs porosités augmentent du fait de la dissolution des bioclastes (Figure 2 (c)). Si l'altération est forte et persiste dans le temps, des oxydes et des argiles d'altération se forment (Figure 2 (a), (b) et (c)). Cette altération continentale réduit considérablement les propriétés réservoir : la macroporosité et la mésoporosité sont comblées (Figure 2 (c)).

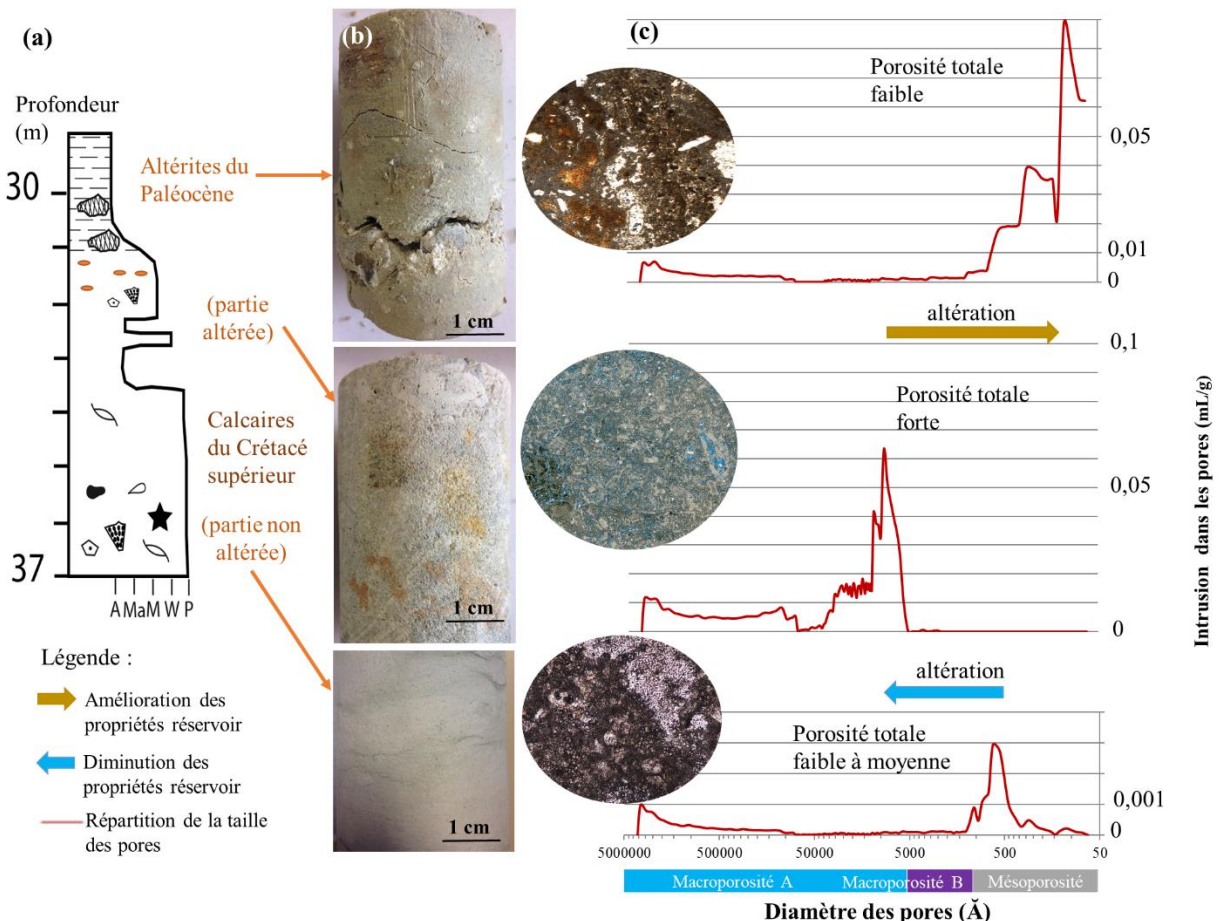


Figure 2 : augmentation puis diminution de la porosité suite aux phénomènes d'altération : (a) log synthétique des calcaires du Campano-Maastrichtien et de son profil d'altération, (b) carottes et lames minces associées, (c) intrusion des pores en fonction du diamètre des pores

L'analyse sédimentologique, stratigraphique et pétrophysique a abouti à une compréhension de la répartition des unités géologiques et de leurs propriétés réservoirs de part et d'autre de

l'anticlinal. Elle permet la reconstitution des paléo-environnements du Cénomanién à l'actuel (Figure 3). Elle est essentielle à une meilleure compréhension de la géodynamique de formation de l'anticlinal qui influence la répartition spatiale des unités hydrostratigraphiques autour de l'anticlinal de Villagrains-Landiras. L'intégration 2D et 3D de toutes ces données a permis de préciser la géométrie et l'extension des corps aquifères et épontes.

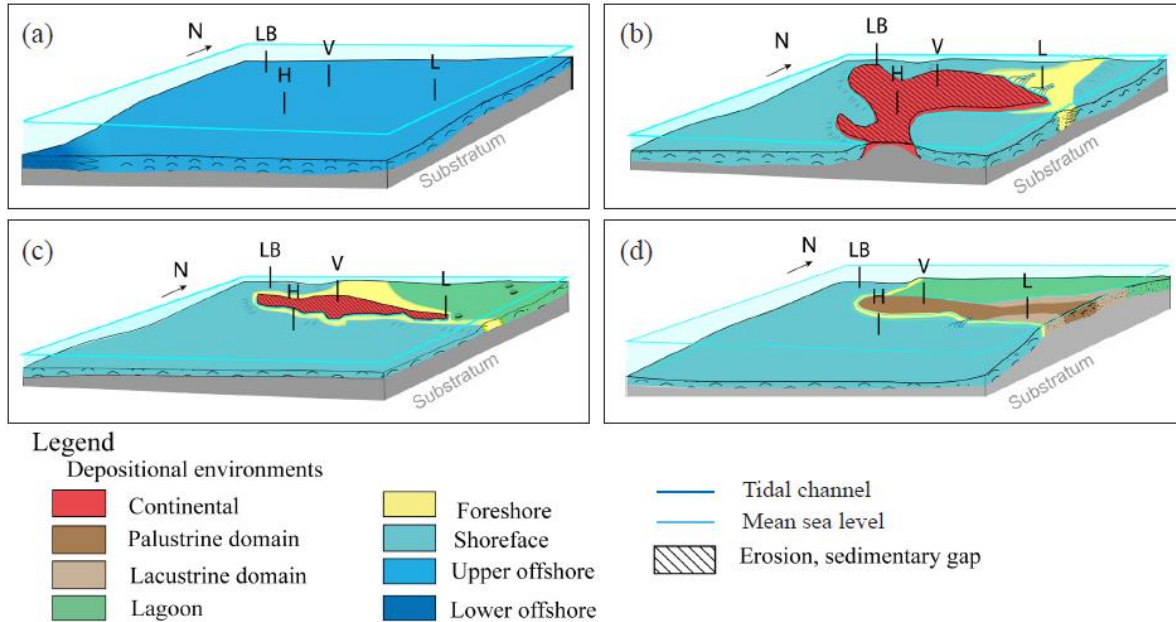


Figure 3 : évolution paléogéographique synthétique de l'anticlinal de Villagrains-Landiras : (a) au Campano-Maastrichtien, (b) à l'Eocène, (c) à l'Oligocène, (d) au Miocène, H Hostens, L Landiras, LB Le Barp, V Villagrains, (Labat et al. 2020)

Ces données et interprétations sont intégrées dans un modèle géologique numérique composé de 23 unités hydrostratigraphiques. La faille du Gât-Mort a été définie et la faille de Saint-Magne a été précisée (Figure 1). Les profondeurs et volumes ont été calculés pour chaque unité. L'aquifère du Cénomanién, ciblé pour l'alimentation en eau potable, est rencontré à de faibles profondeurs à Saint-Magne à l'ouest de la faille du Gât-Mort, et au sud de la faille de Saint-Magne. Son toit est en revanche rencontré à de fortes profondeurs de l'autre côté de ces failles. Les rejets des dites failles sont difficiles à appréhender puisque peu de forages ont atteint le Cénomanién à l'est de la faille du Gât-Mort et au nord de la faille de Saint-Magne. La résolution des profils sismiques à disposition est insuffisante pour apporter des éléments de réponse à cette interrogation. Le jeu d'amincissement et d'épaississement des différentes unités du modèle, et donc des unités épontes et aquifères amène à une structuration en système multicouche complexe.

Une fois l'architecture des unités aquifères et épontes précisée, les connexions inter-aquifères ont été déterminées. L'amincissement des épontes et/ou le jeu des failles entraîne la mise en contact des aquifères du Crétacé supérieur avec les aquifères tertiaires et quaternaires. Les zones où les épontes s'amincissent jusqu'à disparaître correspondent à des zones de recharge préférentielle des aquifères (Figure 1, Figure 4). Le jeu des failles permet des échanges entre différents niveaux aquifères par le biais de flux latéraux. Ces travaux mettent donc en évidence le rôle des biseaux sédimentaires tertiaires, des structures faillées et des processus d'altération dans les modalités d'échanges entre les unités aquifères. Dans l'objectif d'exploiter de l'aquifère du Cénomanién, il est primordial d'étudier l'ensemble du système aquifère multicouche.



L'analyse des chroniques temporelles met en évidence des similarités entre les hauteurs piézométriques de deux unités aquifères en contact. D'autre part, les temps de résidence faibles des eaux prélevées dans l'aquifère du Campano-Maastrichtien (de l'ordre de 2000 ans) mettent en exergue une recharge verticale au droit de l'anticlinal. Elle est de  $143 \text{ mm}\cdot\text{an}^{-1}$  au droit des affleurements campano-Maastrichtien et équivaut à 17% des précipitations moyennes sur la période étudiée (entre septembre 2015 et septembre 2019). Cette étude intégrée a donc permis d'identifier les interactions qui existent entre les différents niveaux aquifères et de comprendre les modalités de ces échanges. L'essentiel de la recharge des aquifères du Crétacé supérieur s'effectuent par drainage verticale descendante à travers l'aquifère du plio-quaternaire qui recouvre la majorité de la zone d'étude. Les volumes annuels infiltrés dans les nappes superficielles s'élèvent à  $1,56 \times 10^8 \text{ m}^3$  sur la zone d'étude (soit 11,2% des précipitations annuelles moyennes).

Les directions d'écoulement issues de la piézométrie soulignent l'influence de l'anticlinal de Villagrains-Landiras dans le fonctionnement hydrogéologique de la zone. Le dôme piézométrique de la nappe du Campano-Maastrichtien au centre de la zone correspond à une des expressions de ces phénomènes de recharge. L'eau de la nappe s'écoule de part et d'autre de l'axe de l'anticlinal, autour des zones de mise en charge, et également le long de l'axe vers l'est de Saint-Magne. Par ailleurs, les failles jouent un rôle dans la décharge locale de la nappe du Campano-Maastrichtien (Figure 1 et Figure 4). Cette dernière s'effectue à travers les aquifères relais tertiaires.

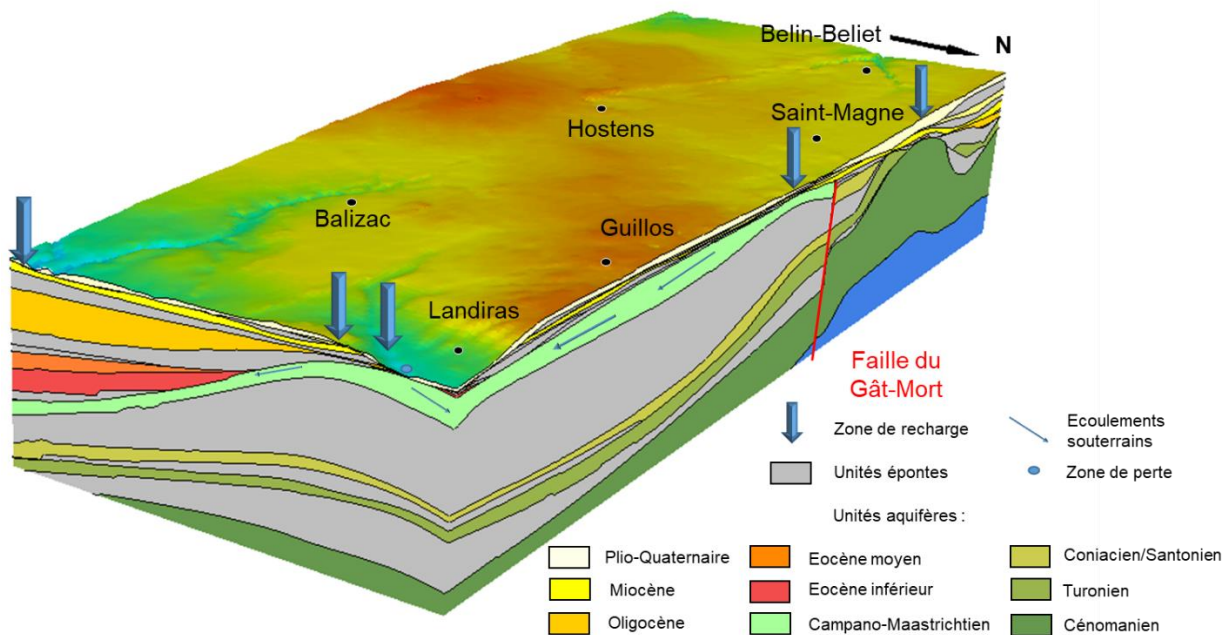


Figure 4 : bloc 3D extrait du modèle géologique, sens d'écoulement, zones et perte et de recharge préférentielle (vue du nord-est)

La meilleure définition de l'architecture des corps sédimentaires précédemment décrits a permis une interprétation hydrogéologique plus précise, ainsi qu'une meilleure analyse géochimique offrant donc une compréhension plus détaillée du système multicouche. Cette caractérisation détaillée des objets géologiques et des observations hydrogéologiques est

essentielle à une prise de décision raisonnée quant à l'exploitabilité de l'aquifère du Cénomaniens dans le sud de la Gironde.

D'un point de vue opérationnel, cette étude a permis l'évaluation de la pertinence de l'aquifère du Cénomaniens comme ressource de substitution en termes de disponibilité de la ressource, d'estimation de la recharge de l'aquifère et le renouvellement de la nappe, de la profondeur de la cible, des connexions de l'aquifère du Cénomaniens avec les autres nappes et les eaux de surface, de la vulnérabilité de la ressource et de la qualité de l'eau.

Ces résultats pourront servir à la mise à jour du modèle hydrogéologique numérique de gestion qui sera à même d'évaluer numériquement les impacts d'une potentielle exploitation de l'aquifère du Cénomaniens sur les aquifères sus-jacents et les eaux de surface. L'implémentation des données hydrogéologiques et hydrologiques au modèle géologique élaboré au cours de cette étude permettra l'estimation de ces impacts en prenant en compte divers scénarii d'exploitation.

Cette méthodologie intégrée est applicable aux structures anticlinales analogues et notamment aux autres anticlinaux du Bassin Aquitain. La compréhension du fonctionnement des systèmes multicouches complexes affectés des anticlinaux est rendue possible par l'approche pluridisciplinaire.