



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

Liberté
Égalité
Fraternité



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Document à accès immédiat

Evaluation de la pérennité du champ captant des Ansereuilles et recommandations : projet Géo2020

Rapport final

BRGM/RP-71503-FR

Étude réalisée dans le cadre des opérations de service public du BRGM

Cary Lise, Portal Angélie, Manceau Jean-Charles, Picot-Colbeaux Géraldine

Vérificateur :

Nom : Meire Baptiste

Fonction : Ingénieur géologue

Date : 16/06/2022

Signature :

Approbateur :

Nom : Daupley Xavier

Fonction : Directeur régional

Date : 16/06/2022

Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM
est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr

Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire mis à votre disposition.

Mots clés :

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

Cary Lise, Portal Angélie, Manceau Jean-Charles, Picot-Colbeaux Géraldine (2022) – Evaluation de la pérennité du champ captant des Ansereuilles et recommandations : projet Géo2020. Rapport final. BRGM/RP-71503-FR, 38 p.

© BRGM, 2022, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.
IM003-MT008-P2-21/09/2021

Synthèse

La Métropole Européenne de Lille (MEL) se charge de l'approvisionnement en eau potable sur son territoire. Afin de subvenir aux besoins en eau, plusieurs ressources sont mises à contribution, notamment les champs captants du sud de Lille dans la nappe de la craie qui représentent 32 % de l'alimentation totale en eau de la métropole. Cette ressource subit des tensions, tant qualitatives que quantitatives, les premières générant parfois les secondes. Le projet Géo2020 se propose de contribuer à l'amélioration de la gestion durable des ressources en eaux souterraines (action 2.3 du contrat d'objectif et de performance Etat-BRGM 2018-2022). L'objectif global est d'évaluer la pérennité de l'exploitation, notamment au niveau des champs captants des Ansereuilles et d'Houplin-Ancoisne, en cherchant à mieux comprendre le rôle hydrodynamique des accidents tectoniques (failles géologiques) dans la circulation des eaux de la nappe de la Craie.

Dans un premier temps, une relecture approfondie et critique des données géologiques existantes a permis de mettre à jour des interprétations et d'améliorer la compréhension du système géologique du Mélantais à l'échelle régionale, notamment de la structure géologique locale des CCSL (Champs Captants du Sud de Lille). Les modèles géologiques de l'Université de Lille et du BRGM ont été mis à jour.

Dans un second temps, l'approche géophysique pluri-méthodes et multi-échelles proposée dans le projet s'est fondée sur trois méthodes d'investigation, la gravimétrie, l'imagerie sismique et la tomographie de résistivité électrique (TRE) au sein des champs captants des Ansereuilles et d'Houplin-Ancoisne. Les résultats ont permis de montrer :

- la corrélation de discontinuités gravimétriques, sismiques et électriques indiquant la présence de failles majeures au sein du socle qui se propageraient dans la craie sénonturonienne ;
- des discontinuités sismiques secondaires interprétées comme une fracturation intense de la craie ;
- que la faille de Seclin, telle que nommée et dessinée dans la carte géologique au 1/50 000 de 1968, ne doit pas être considérée comme une structure linéaire unique mais davantage comme une structure complexe en horst et graben (système en touches de piano) ;
- que la présence d'une variation latérale de l'état de la craie au niveau du champ captant des Ansereuilles constitue un élément important pour la compréhension du fonctionnement hydrologique local et notamment la chimie des eaux ;
- dans le secteur de Don, la présence d'une anomalie gravimétrique importante, associée à des discontinuités sismiques majeures, suggère un effondrement lié à un endokarst profond, issu de la dissolution des évaporites viséennes, qui affecterait également la craie et serait comblé par les sédiments.

Enfin, l'approche hydrogéologique a permis de préciser l'origine des baisses des niveaux piézométriques. Dans le contexte crayeux, une baisse des niveaux peut jouer considérablement sur la transmissivité de l'aquifère si des fractures transmissives sont localisées au toit de l'aquifère, comme c'est le cas dans les captages de la Vallée 2 dont la qualité est bonne. Les cartes piézométriques les plus récentes montrent un gradient de charge important au sud du secteur de la Vallée 1 ainsi qu'entre ce secteur et celui de Don. Ces zones de forts gradients correspondent à des zones de transition de type barrière hydrogéologique qui sont cohérentes avec la géologie, telle que décrite par les discontinuités gravimétriques.

Les préconisations proposées pour la réalisation de nouveaux forages dans les CCSL intègrent des mesures traditionnellement effectuées à d'autres plus rares, mais qui apporteront des

informations de grande qualité. A chaque nouveau forage, il serait donc important de réaliser les actions suivantes :

- Diagraphie électrique pour distinguer l'épaisseur de la zone productrice de l'aquifère ;
- Diagraphie gamma-Ray pour distinguer la présence ou l'absence d'argiles ;
- Micromoulinet pour positionner les arrivées d'eau dans le profil ;
- Mesure des paramètres physico-chimiques ;
- Essai de pompage et si présence de faille à proximité distinguée auparavant dans un profil TRE, caractérisation de son rôle hydrodynamique en adaptant débits et temps de pompage.

Sommaire

1. Introduction	7
2. Contexte hydrogéologique de la région des CCSL	9
3. Synthèse des résultats majeurs de géologie	11
3.1. Contexte géologique régional.....	11
3.2. Le Dôme du Mélantois-Tournaisis.....	12
3.3. Formations géologiques des CCSL.....	14
3.3.1. <i>Socle dévono-carbonifère</i>	14
3.3.2. <i>Crétacé supérieur</i>	15
3.3.3. <i>Couverture tertiaire (Paléogène)</i>	15
3.3.4. <i>Quaternaire</i>	16
3.3.5. <i>Contexte géomorphologique</i>	16
4. Synthèse des résultats majeurs de géophysique.....	21
4.1. Le système de failles de Seclin	21
4.2. La double signature de la craie	22
4.3. Les Ansereuilles.....	23
4.4. Apports de données au modèle.....	25
5. Synthèse des résultats majeurs d'hydrogéologie.....	27
5.1. Rôle hydrodynamique des accidents tectoniques.....	27
5.2. Eléments de compréhension des difficultés opérationnelles rencontrées sur le champ captant des Ansereuilles.....	27
5.2.1. <i>La Vallée 2</i>	27
5.2.2. <i>Forages F5 et F6 – La Vallée n°1</i>	28
5.2.3. <i>Forages F14 et F15 – Groupe du Marais</i>	28
5.2.4. <i>Sectorisation des Ansereuilles</i>	29
6. Eléments interdisciplinaires d'évaluation de la pérennité des champs captants.....	30
6.1. Correspondances hydrogéologiques, géochimiques et géophysiques.....	30
6.1.1. <i>Cas de la zone des forages de la Vallée n°1</i>	31
6.1.2. <i>Cas de la zone du Marais, proche des forages A12-A15</i>	32
6.1.3. <i>Cas des forages proches du champ captant d'Houplin-Ancoisne</i>	32
6.1.4. <i>Cas de la zone proche du PZ56</i>	32
6.2. Synthèse interdisciplinaire.....	32
7. Conclusion	36

Liste des figures

Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude (scan IGN 1/25000), des champs captants du sud de Lille et de leurs forages représentés sur fond de carte géologique harmonisée ; les principaux forages sont localisés le long de la Deûle et du canal de Seclin, avec la nomenclature des groupes de forages (La Vallée N°1, La Vallée N°2, le Marais)..... 10

Figure 2 : Carte géologique simplifiée à 1 : 1 000 000 du Nord-Pas-de-Calais. Le cadre rouge représente la zone d'étude. 12

Figure 3 : Extrait de la coupe géologique des principales structures tectoniques du Nord de la France, centrée sur l’anticlinal du Mélançois (modifiée d’après Beckelynk and Kleszcz, 1981). ..	13
Figure 4 : Carte géologique et structurale simplifiée du Dôme du Mélançois (d’après la carte géologique harmonisée au 1/50 000), avec les captages des champs captants du sud de Lille au sud-ouest.....	14
Figure 5 : Carte topographique de la zone d’étude avec localisation du tracé Holocène de la Deûle et du fond de vallée humide (modifié d’après Praud et al., 2015, données BD ALTI 25m (Bonnière, 2020))	17
Figure 6 : Carte de l’altitude du toit de la craie (carte obtenue par krigeage à partir des données de forages – points rouges (Bonnière, 2020)	18
Figure 7 : Carte de l’épaisseur des formations de couverture du Paléogène et du Quaternaire (carte obtenue par krigeage à partir des données de forages – points rouges) (Bonnière, 2020)	19
Figure 8 : Synthèse des données géophysiques visant à décrire le système de failles de Seclin (Portal et al., 2022, BRGM-RP-70303-FR).....	22
Figure 9 : Origine pétrophysique de la double signature de la craie dans la zone des champs captants du sud de Lille (Portal et al., 2021), avec la partie supérieure de la craie plus conductrice interprétée comme craie productive, et la partie inférieure de la craie, plus résistante et interprétée comme non ou peu productive (Portal et al., 2021, Portal et al., 2022).	23
Figure 10 : Géologie et géophysique aux Ansereuilles (Le Marais) des captages A10 à A15, (Portal et al., 2022, BRGM-RP-70303-FR).....	24
Figure 11 : Apports de la géophysique ayant permis d’affiner le modèle géologique GDM.	25
Figure 12 : Carte piézométrique des champs captants du sud de Lille au 3/2021 (les couleurs illustrent les valeurs des isopièzes).....	29
Figure 13 : Carte piézométrique (03/2021) surimposée des discontinuités gravimétriques. Les points noirs sont les points d’eau des champs captants (les couleurs illustrent les valeurs des isopièzes)	30
Figure 14 : Diagramme binaire présentant le rapport isotopique du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) en fonction du rapport Mg/Sr (Cary et al., 2014).	31

Liste des tableaux

Tableau 1 : Pile hydro-stratigraphique avec les principaux aquifères du nord de la France (SIGES Nord-Pas-de-Calais; Picot and Bourguine, 2010). En gras : la nappe de la Craie.	9
---	---

1. Introduction

La Métropole Européenne de Lille (MEL) se charge de l'approvisionnement en eau potable sur son territoire. Afin de subvenir à ces besoins, plusieurs ressources en eau sont mises à contribution. On compte notamment 10 champs captants dans la nappe de la craie, 7 champs captants dans la nappe des calcaires carbonifères, 1 champ captant dans la craie du Cénomaniens dans l'Artois et une prise d'eau en rivière dans la Lys (Lille Métropole, 2004). Concernant la répartition des ressources, 64 % de l'eau prélevée provient des nappes souterraines (46 % pour la nappe de la craie et 18 % pour les calcaires carbonifères) et 36 % de l'eau de rivière. Les champs captants du sud de Lille dans la nappe de la craie représentent 32 % de l'alimentation totale en eau de la Métropole.

Les tensions sur la ressource en eau et les risques de dégradation de sa qualité sont des enjeux majeurs pour la MEL. Le projet Géo2020 se propose de contribuer à l'amélioration de la gestion durable des ressources en eaux souterraines (action 2.3 du contrat d'objectif et de performance Etat-BRGM 2018-2022). L'objectif global est d'évaluer la pérennité de l'exploitation, notamment au niveau des champs captants des Ansereuilles et d'Houplin-Ancoisne, en cherchant à mieux comprendre le rôle hydrodynamique des accidents tectoniques (failles géologiques) dans la circulation des eaux de la nappe de la Craie. Pour cela, la MEL et le BRGM avec la collaboration de l'Université de Lille à travers le LOG (Laboratoire d'Océanologie et de Géosciences) ont engagé une étude combinée impliquant investigations géophysiques, étude géologique et hydrogéologique en 3D et bilan hydrodynamique.

Le territoire d'étude correspond à la région au sud de Lille et concerne les champs captants d'Emmerin, Houplin-Ancoisne et les Ansereuilles (Figure 1). Le présent rapport vise à synthétiser les résultats du projet Geo2020 pour ensuite discuter de la pérennité du champ captant des Ansereuilles en particulier. Ces dernières tiendront compte autant que possible de l'équilibre hydrodynamique de l'hydrosystème issu des simulations du modèle hydrogéologique affiné MARTHE, mais également de la limitation due au transfert de polluants (métaux et métalloïdes, COHV), évalués dans le cadre des études précédentes et en cours (Thermosel et COHMET).

Le présent rapport se veut synthétique et se réfère aux travaux publiés dans les documents suivants :

- Portal, A., Averbuch, O., Bitri, A., Bonnière, A., Cary, L., Graveleau, F., Jacob, T., Watremez, L., Maurice, B., Joubin, F., Larose, L., 2021. Fonctionnement de l'hydro-système de la craie dans la région des champs captants du sud de Lille - Imagerie géophysique par gravimétrie, tomographie de résistivité électrique, sismique réfraction et réflexion haute résolution. Rapport final. BRGM/RP-70303-FR.
- Picot-Colbeaux G., Ben Dhiaf N., Manceau JC, 2022. Fonctionnement de l'hydro-système de la craie dans la région des champs captants du sud de Lille – Caractérisation hydrogéologique et hydrodynamique. Rapport final. BRGM/RP-71378-FR.
- Bonniere, A., 2020. Mise à jour des modèles géologiques (du BRGM et de l'Université de Lille) des formations géologiques dans la zone des champs captants du sud de Lille par l'apport de données d'imagerie géophysique sol. Rapport de stage de Master 2. Université de Lille - BRGM, p. 20 p.
- Ben Dhiaf, N., 2020. Caractérisation du fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère crayeux dans le secteur des champs captants du sud de la métropole lilloise. Rapport M2.

Une présentation à colloque a eu lieu :

Portal, A., Cary, L., Sylvain, R., Maurice, B., Bonnière, A., Bouvet-Swialkowski, A., 2021. Enhanced geology of the Chalk aquifer (Northern France) from ERT imaging for hydrogeological purposes, Near Surface Geoscience'21, Bordeaux.

Les résultats de ces travaux seront publiés dans une revue scientifique.

2. Contexte hydrogéologique de la région des CCSL

L'alimentation en eau potable dans le nord de la France se fait principalement par les prélèvements d'eau souterraine. Au total, on compte 7 aquifères principaux qui sont, du plus superficiel au plus profond (Tableau 1) :

- les sables du Quaternaire de la plaine maritime ;
- les sables du Tertiaire du bassin d'Orchies ;
- les sables du Tertiaire des Flandres ;
- la craie du Séno-Turonien, localement du Cénomaniens ;
- les formations du Paléozoïque et Jurassique du Boulonnais ;
- les calcaires du Carbonifère dans les Ardennes (nappe libre) ;
- les calcaires du Carbonifère dans la région de Lille (nappe captive).

Tableau 1 : Pile hydro-stratigraphique avec les principaux aquifères du nord de la France (SIGES Nord-Pas-de-Calais; Picot and Bourguine, 2010). En gras : la nappe de la Craie.

Ère géologique	Formation	Base érosive	Propriétés hydrogéologiques
QUATERNAIRE	Alluvions anciennes et modernes du Quaternaire ; sables littoraux du Quaternaire	Oui	Aquifère
	Limons des plateaux Quaternaires	Oui	Aquiclude
TERTIAIRE	Argiles des Flandres (Argiles d'Orchies et de Roubaix) de l'Yprésien	Non	Aquiclude
	Sables d'Ostricourt, du Quesnoy, de Grandglise et de Bracheyx du Landénien supérieur (ou Thanétien supérieur)	Non	Aquifère
	Argiles de Louvil du Landénien inférieur (ou Thanétien inférieur)	Oui	Aquiclude
SECONDAIRE (Crétacé supérieur)	Craie blanche à silex du Turonien supérieur au Sénonien	Oui	Aquifère
	Dièves bleues et vertes du Turonien inférieur à moyen	Oui	Aquiclude
	Craies et marnes du Cénomaniens	Oui	Aquifère/Aquiclude
PRIMAIRE À SECONDAIRE	Le « substratum » : comprenant l'ensemble des formations géologiques du Secondaire (Crétacé inférieur) au Primaire	Non	Aquifère/Aquiclude

Les principales ressources d'eau souterraine utilisées par la métropole lilloise sont la nappe de la craie contenue dans les formations séno-turonniennes et l'eau des calcaires carbonifères.

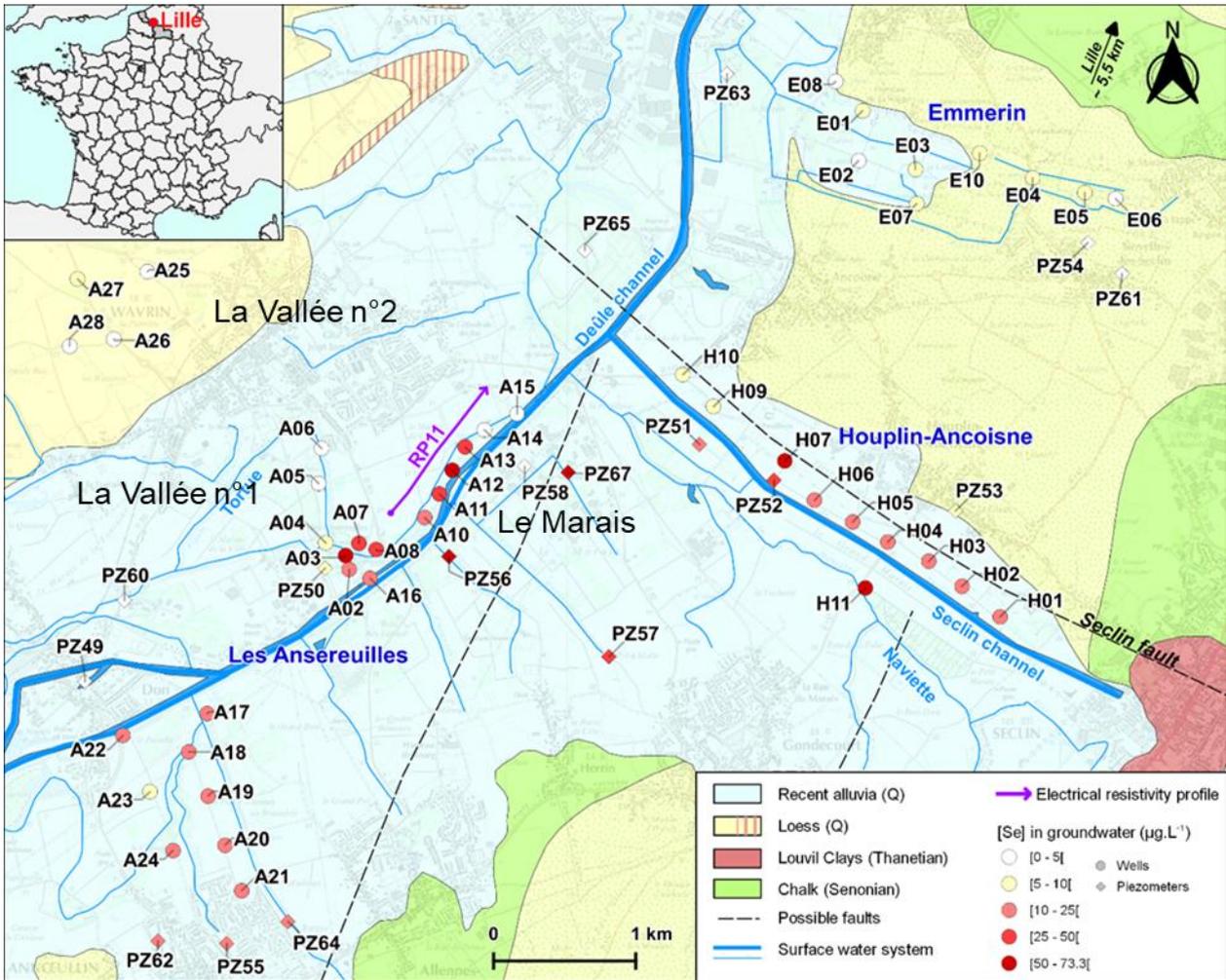


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude (scan IGN 1/25000), des champs captants du sud de Lille et de leurs forages représentés sur fond de carte géologique harmonisée ; les principaux forages sont localisés le long de la Deûle et du canal de Seclin, avec la nomenclature des groupes de forages (La Vallée N°1, La Vallée N°2, le Marais)

3. Synthèse des résultats majeurs de géologie

Une relecture approfondie et critique des données géologiques existantes a permis de mettre à jour un certain nombre d'interprétations. Elle a conduit à l'amélioration (1) de la compréhension du système géologique du Mélantais à l'échelle régionale et (2) de son rôle dans la structure géologique locale des CCSL en mettant à jour les modèles géologiques existants de l'Université de Lille et du BRGM (Bonniere, 2020). Les éléments suivants sont extraits de Bonniere (2020) et de Portal *et al.*, 2022.

3.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL

Le Nord de la France fait partie de la bordure septentrionale du Bassin de Paris, l'un des principaux ensembles géologiques français. Ce bassin s'étend sur plus de 500 km (d'ouest en est) et correspond à un bassin sédimentaire intracratonique ayant permis l'accumulation de 3000 m de sédiments méso-cénozoïques depuis le Trias, soit environ 250 Ma (De Wever *et al.*, 2002). Il repose en discordance sur des terrains variés (*i.e.*, magmatiques, métamorphiques et sédimentaires) du Paléozoïque ayant subi une phase de compression au Carbonifère puis une extension au Stéphano-Permien. La convergence Afrique-Eurasie durant le Crétacé et le Tertiaire a entraîné une compression NW-SE et un soulèvement généralisé du bassin, influençant la sédimentation et les structures géologiques anciennes localement réactivées (par exemple zone du Bray; (Wyns *et al.*, 2014)).

Le Nord de la France peut être divisé en plusieurs ensembles géologiques distincts à savoir, du nord-ouest au sud-est : le Boulonnais, les plaines des Flandres et de la Lys, l'Artois, le Mélantais, le Cambrésis et l'Avesnois (Figure 2). La structuration géologique de son sous-sol est contrôlée durant le Paléozoïque par le développement du front de déformation Nord varisque, témoin de l'orogénèse hercynienne (~300 Ma). Elle s'est traduite par la formation d'une structure compressive majeure à vergence nord, le chevauchement ardennais, qui met en contact l'allochtone Ardennais, au sud, avec le parautochtone Brabançon, au nord (Laurent *et al.*, 2021; Mansy and Lacquement, 2006). Durant la fin du Paléozoïque et le début du Mésozoïque, les reliefs orogéniques ont été pénéplanés, ce qui a abouti à la formation d'une importante surface de discordance régionale entre le socle paléozoïque plissé et faillé et une couverture mésozoïque discordante transgressive. Durant le Cénozoïque, la géodynamique européenne, et notamment le développement des orogénèses pyrénéenne et alpine, ont amené certaines des anciennes structures profondes à être réactivées. C'est le cas de l'Artois et du Mélantais notamment (e.g.(Minguely, 2007)). La réactivation de ces structures profondes a induit des relations socle-couverture particulièrement importantes dans le Nord de la France et notamment un fort contrôle structural du bâti paléozoïque sur les séquences de dépôt du Méso-Cénozoïque.

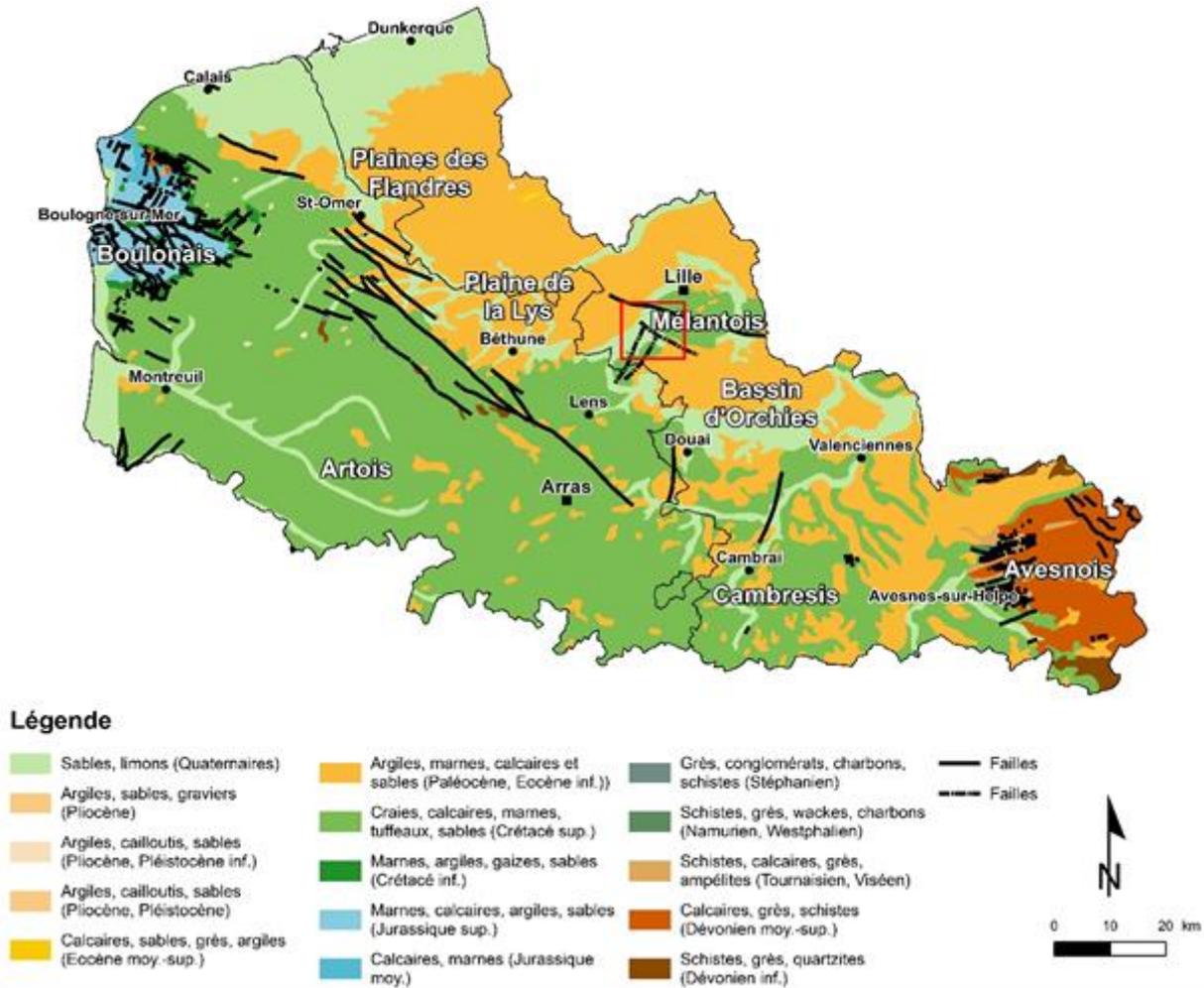


Figure 2 : Carte géologique simplifiée à 1 : 1 000 000 du Nord-Pas-de-Calais. Le cadre rouge représente la zone d'étude.

3.2. LE DÔME DU MELANTOIS-TOURNAISIS

Le « Dôme du Mélandois-Tournaisien » (Gosselet, 1904) est une structure géologique anticlinale d'orientation E-W à très fort angle d'ouverture qui caractérise la région de Lille et se poursuit en Belgique (Figure 3). En carte, il se manifeste par l'affleurement des séries crétacées qui séparent les bassins tertiaires d'Orchies au sud et des Flandres au nord. Ces séries reposent directement en discordance sur le socle paléozoïque bombé (Mansy and Lacquement, 2006; Minguely, 2007).

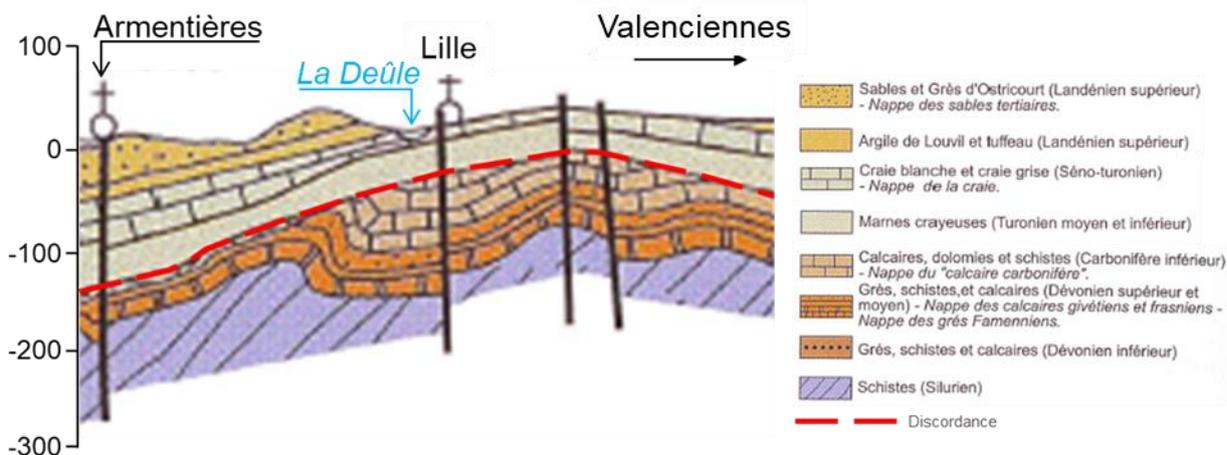


Figure 3 : Extrait de la coupe géologique des principales structures tectoniques du Nord de la France, centrée sur l'anticlinal du Mélandois (modifiée d'après Beckelynk and Kleszcz, 1981).

Par ailleurs, cet anticlinal est accompagné à l'affleurement de failles longitudinales, d'orientation N110 à N120 affectant la couverture du Crétacé. L'analyse de ces failles et de leurs relations avec celle du substratum paléozoïque, visible en Belgique dans le secteur de Tournai, suggère qu'elles se soient mises en place dans un régime transpressif. Les investigations du projet Géo2020, avec la mise en évidence d'une structure complexe de failles N110° et de relais N20° qui découpe des blocs disposés en touche de piano étayent d'ailleurs cette hypothèse. Ainsi, en profondeur, les failles de couverture pourraient se rejoindre pour former une structure en « fleur positive » tardi-varisque. Les caractéristiques géométriques de ces failles (valeur et sens du pendage, direction) sont cependant imprécises et sans doute assez variables pour une même faille, sans compter leur probable segmentation. Quant à la période d'activité de l'anticlinal du Mélandois, des variations d'épaisseurs des séries mésozoïques et cénozoïques observées en forage suggèrent plusieurs épisodes de déformation. Ainsi, tout comme l'Artois, le Mélandois se serait formé de manière plus ou moins continue du Crétacé jusque durant le Tertiaire (Bonte, 1957; Dezwarte et al., 1965). Son activité durant la période récente (Quaternaire) reste pour le moment assez peu documentée bien que suspectée par différents travaux (Fenet, 1965; Sommé, 1977; Waterlot, 1960).

Les failles d'Haubourdin et de Seclin (Figure 4) sont deux failles majeures parcourant l'anticlinal du Mélandois, avec respectivement une direction N110 et N120. Concernant leur géométrie et leur cinématique, les nombreuses coupes géologiques publiées proposent des interprétations variables qui illustrent des incertitudes encore persistantes (Beckelynk and Kleszcz, 1981; Besbes and Talbot, 1983; Bessière et al., 2015; Minguely, 2007; Picot and Bourguin, 2010). Dans l'ensemble, les géométries proposées sont fréquemment verticales pour la faille d'Haubourdin et inclinées vers le sud ou verticale pour la faille de Seclin. Quant au rejet, celui de la faille d'Haubourdin est typiquement évalué autour de 10-15 m (avec remontée du bloc nord) sur la base du décalage observé en forage du mur de la craie. La faille de Seclin est, quant à elle, souvent dessinée comme ne décalant pas la discordance du Mésozoïque sur le Paléozoïque. Les résultats de géophysique présentés ci-après entraînent une révision complète de ces connaissances.

3.3. FORMATIONS GEOLOGIQUES DES CCSL

Les séries géologiques rencontrées dans le secteur du Mélandois et notamment dans la région des CCSL s'étendent du Crétacé supérieur au Quaternaire et reposent, en discordance, sur le substratum paléozoïque d'âge dévono-carbonifère (Figure 3). Une litho-stratigraphie modifiée adaptée aux formations présentes sur les CCSL a été réalisée (Bonnière, 2020 et Portal et al., 2021, RP-70303-FR).

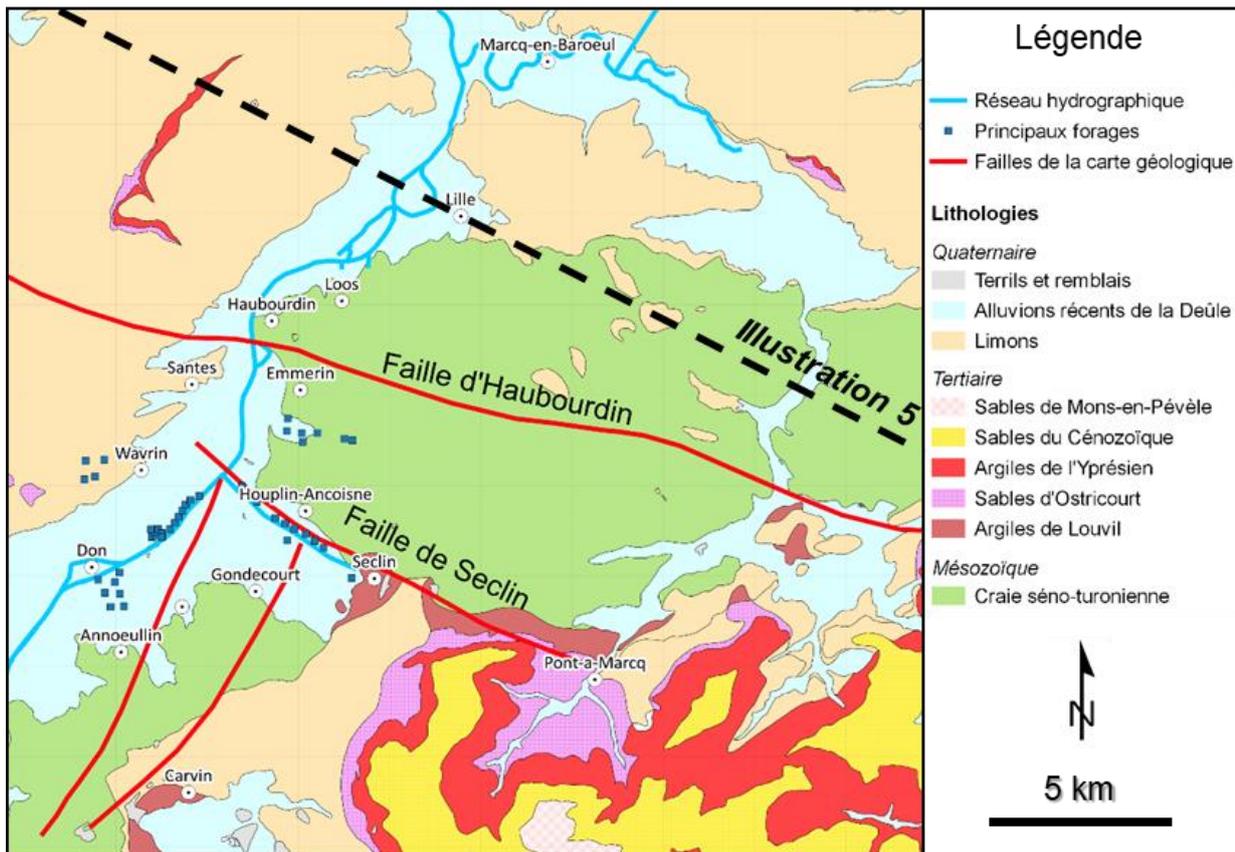


Figure 4 : Carte géologique et structurale simplifiée du Dôme du Mélandois (d'après la carte géologique harmonisée au 1/50 000), avec les captages des champs captants du sud de Lille au sud-ouest

3.3.1. Socle dévono-carbonifère

Le socle géologique de la métropole de Lille est composé essentiellement de roches carbonatées (calcaires) du Carbonifère et localement de roches détritiques (argilites et schistes) du Dévonien (Figure 3). Les faciès calcaires appartiennent majoritairement au Viséen (Mississippien) et représentent une roche massive. L'ensemble a été plissé et faillé au Paléozoïque, durant l'orogénèse varisque, mais les structures ont pu être réactivées ultérieurement, durant les épisodes extensifs fin-paléozoïques et secondaires puis compressifs au Tertiaire. Ce socle est actuellement intégralement « sous-couverture », c'est-à-dire caché par plusieurs dizaines de mètres de séries sédimentaires plus récentes. La connaissance des structures de ce socle est donc particulièrement incertaine car en grande partie déduite d'études ponctuelles de forages.

3.3.2. Crétacé supérieur

Au début du Cénomaniens et du Turonien inférieur, une importante transgression marine dépose, en discordance, des séries marno-argileuses plus ou moins riches en glauconie et fréquemment accompagnées d'un niveau conglomératique à galets paléozoïques (le « *Tourtia* »). Ce « *Tourtia* » marque le début d'une longue période de sédimentation carbonatée qui va perdurer jusqu'au Santonien. Alors que le Cénomaniens est localement peu présent (quelques mètres), l'ensemble des marnes plastiques gris-verdâtres argileuses du Turonien inférieur et les marnes bleues-grises du Turonien moyen sont particulièrement épaisses (plusieurs dizaines de mètres). Elles sont fréquemment nommées « Dièves » dans la région.

Au Turonien supérieur et Coniacien inférieur (base du Sénonien), la transgression se poursuit et permet le dépôt d'une craie plus franche et moins argileuse. La craie blanche est parfois interstratifiée de niveaux de craie grise, avec ou sans silex, et de nodules phosphatés. Localement la craie est condensée et présente des niveaux indurés de « *hard-grounds* » appelés « *tuns* » dans la région de Lille (Amédéo and Robaszynski, 2006). Les épisodes de condensation des dépôts marqués par ces bancs de tuns peuvent aussi localement souligner des lacunes de sédimentation. L'extension géographique de ces surfaces condensées permet de mettre en évidence que l'aire englobant la région lilloise s'est comportée, au Turonien inférieur - Coniacien inférieur, comme une plateforme marginale ou comme une zone haute soumise à un soulèvement tectonique modéré (Amédéo and Robaszynski, 2006). Les tuns pouvant servir de limites chronostratigraphiques, la limite entre le Turonien supérieur et le Sénonien dans la région lilloise est souvent rattachée au « premier » banc de tun (c'est-à-dire, le premier rencontré depuis la surface). Enfin, la Craie blanche séno-turonienne renferme une nappe éponyme (« nappe de la Craie ») exploitée dans les champs captants du sud de Lille. Les hétérogénéités sédimentologiques (*i.e.*, types de dépôts) et diagénétiques (*i.e.*, dus au processus d'évolution des dépôts) de la craie, peuvent influencer les écoulements souterrains de la nappe. Leur influence est toutefois fréquemment ignorée, en raison d'un manque de connaissances de leur géométrie (continuité latérale, épaisseur, etc.)

Au sein de la colonne stratigraphique régionale, deux interfaces géologiques majeures peuvent être utilisées comme marqueurs lithostratigraphiques fiables pour des reconstructions géométriques de l'anticlinal du Mélantois. Il s'agit d'une part de la surface de discordance correspondant au toit du socle primaire (tiret rouge sur la Figure 3), et d'autre part, le sommet des marnes du Turonien moyen (*i.e.*, les « Dièves »). La limite entre le Turonien supérieur et le Sénonien (premier banc de tun) n'est pas jugée suffisamment fiable pour être utilisée comme horizon repère, car son identification en forage est incertaine et sa continuité régionale sujette à discussion.

3.3.3. Couverture tertiaire (Paléogène)

Les premiers terrains du Paléogène (Landénien ou Thanétien ~ 57 Ma) recouvrant la craie (Coniacien ; ~ 87 Ma) témoignent d'une importante lacune sédimentaire régionale d'environ 30 Ma. Le mouvement du dôme du Mélantois a eu une influence sur la sédimentation tertiaire (lacune de dépôt ou érosion) et impliquant donc que parfois le Quaternaire repose directement sur la Craie. Les terrains du Paléogène sont composés des formations suivantes (Caous, 2003).

- Les Argiles de Louvil (Landénien inf.) correspondant à des argiles plastiques gris-noir à verdâtre et qui renferment ponctuellement des passées sablo-argileuses peu perméables (tuffeau de Valenciennes). L'épaisseur des argiles de Louvil est comprise entre 9 et 12 mètres. Le tuffeau de Valenciennes est le faciès qui est fréquemment observé au toit de la craie au niveau de l'axe du Mélantois (Bonte, 1957; Graveleau et al., 2021).
- Les Sables d'Ostricourt (Landénien sup.) correspondant à des sables progressivement glauconieux vers le bas et parfois argileux. Cet ensemble constitue un deuxième aquifère, séparé de la craie par les argiles de Louvil. Les sables d'Ostricourt ne recouvrent cependant pas toute la zone d'étude. Leur épaisseur peut dépasser les 30 mètres.

- L'Argile d'Orchies (Yprésien) correspondant à des argiles plastiques noires avec des cristaux de gypse mal répartis. Elles prennent une teinte brun ou jaunâtre à l'affleurement en raison de l'oxydation de la pyrite qu'elles contiennent. Ces argiles sont riches en matière organique et en sélénium et ont été identifiées comme source pour le transfert de polluants vers la nappe de la craie (Cary and Parmentier, 2013) ; leur épaisseur est de 10 à 15 mètres.
- Les sables de Mons-en-Pévèle (Yprésien) correspondant à des sables glauconieux fins gris-vert. Leur puissance peut dépasser, localement, 30 mètres.

3.3.4. Quaternaire

Le Quaternaire de la zone d'étude est surtout caractérisé par la présence de limons recouvrant l'ensemble des formations méso-cénozoïques. Les zones crayeuses sont recouvertes d'un limon jaune clair tandis que les zones alluviales sont recouvertes d'un limon sableux. L'épaisseur des limons est variable selon la nature des terrains sous-jacents.

Des formations sableuses recouvrant les dépôts de l'Yprésien sont à distinguer des limons classiques. Elles recouvrent les argiles de Louvil et sont constituées de sables fins, verts, glauconieux avec, à la base, un niveau de galets.

Les alluvions modernes sont constituées de sables, d'argiles et de sables argileux dans lesquels s'intercalent des passées de tourbe et des lits de graviers. L'épaisseur des alluvions est de 10 à 12 m en moyenne mais peut varier localement (2 à 5 mètres dans la région Don – Annœullin – Herrin). L'utilisation des données de la BSS, en parallèle des campagnes de géophysique a permis de mieux comprendre la relation entre les formations quaternaires et l'aquifère de la craie sous-jacente.

3.3.5. Contexte géomorphologique

La Deûle est une rivière longue de 86 km, drainant un bassin versant de 900 km². Elle prend sa source à Carency (Pas-de-Calais) dans l'Artois, et rentre en confluence avec la Marque, dans la région de Lille, avant de se jeter dans la Lys, au niveau de Deulémont. Au niveau des CCSL, la Deûle occupe une vallée d'une largeur moyenne de 2 à 3 km, à une altitude de 18-19 m NGF. Avant son anthropisation, la Deûle était une rivière à larges méandres avec des chenaux et des tourbières. Les images satellites, les cartes IGN et les données de topographie permettent de distinguer les traces des anciens lits de la rivière dans la plaine alluviale (Figure 5).

L'évolution récente de la rivière Deûle a eu un impact considérable sur les dépôts au-dessus de la craie. Les principaux forages utilisés pour l'approvisionnement en eau potable sont situés dans la vallée de la Deûle, donc influencés par les formations fluviatiles.

L'analyse de la carte du toit de la craie (Figure 6) met en évidence deux zones distinctes :

- Au nord-ouest, le fond de la vallée de la Deûle présente une altitude moyenne autour de 10 m NGF ;
- A l'est, un plateau crayeux présente une altitude moyenne comprise entre 20 et 30 m NGF.

Ce plateau est disséqué par une dépression de la craie (alt ~ 10-15 m) orientée N110 (NO-SE) et localisée précisément au niveau du canal de Seclin. Les isohypses du toit de la craie apparaissent significativement resserrés et parallèles à cette orientation N110 au nord du canal. Cette dépression du toit de la craie, cohérente avec l'amincissement du Quaternaire vers le SO observé sur les données de résistivité pourrait résulter d'une action combinée de l'activité de la faille de Seclin et de l'érosion par le réseau fluviatile secondaire (paléo canal de Seclin et Naviette) guidé par cette structure.

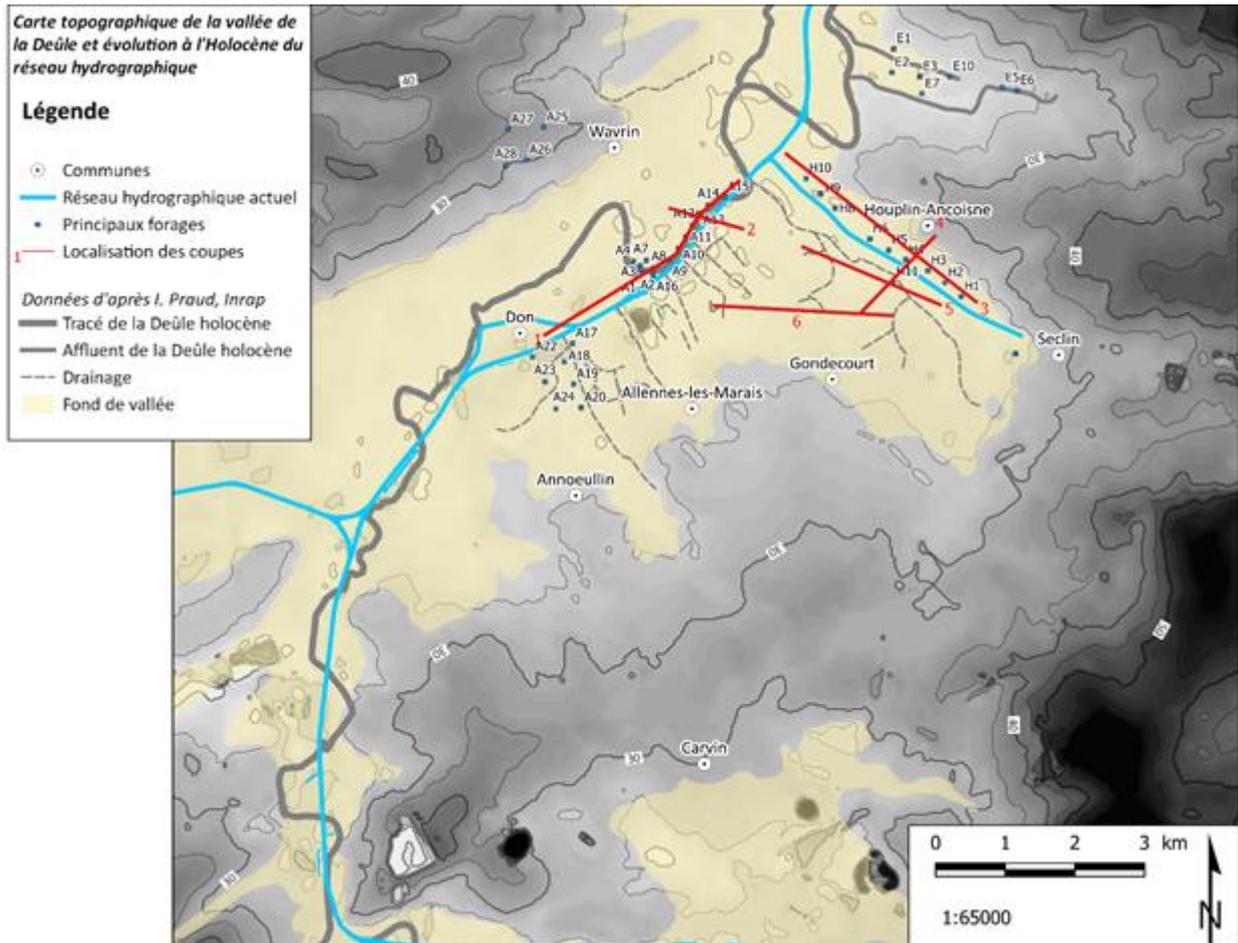


Figure 5 : Carte topographique de la zone d'étude avec localisation du tracé Holocène de la Deûle et du fond de vallée humide (modifié d'après Praud et al., 2015, données BD ALTI 25m (Bonnière, 2020))

L'étude de la carte de l'épaisseur des formations du Paléogène et du Quaternaire (Figure 7) montre trois régions distinctes : deux zones à forte épaisseur sédimentaire au NO et au SE (> 20-30 m) et une bande orientée N30° à faible épaisseur sédimentaire (< 10 m).

- La zone à forte épaisseur au NO correspond au territoire des Weppes où le Tertiaire (argiles de Louvil et sables d'Ostricourt) est très présent car il a été pour partie préservé de l'érosion.
- La zone à forte épaisseur au SE correspond à l'extrémité O du bassin tertiaire de la Pévèle localisé sur le plateau crayeux décrit précédemment.
- Dans la vallée de la Deûle, l'épaisseur de sédiments est faible et comprise entre 10 et 15 m en moyenne, sauf pour le secteur de Don où elle atteint plus de 40 m. Cette zone de faible épaisseur sédimentaire occupe une bande de 5 km de large entre le canal de la Deûle et la région de Seclin. Elle est orientée NNE-SSO et est soulignée par des teintes essentiellement bleues. Si l'on considère que l'épaisseur sédimentaire de cette bande reflète uniquement l'épaisseur de Quaternaire (car le Tertiaire est absent à l'affleurement), il est possible d'interpréter cette bande, constituée essentiellement par des alluvions récentes, comme l'illustration de la largeur de la vallée récente de la Deûle.

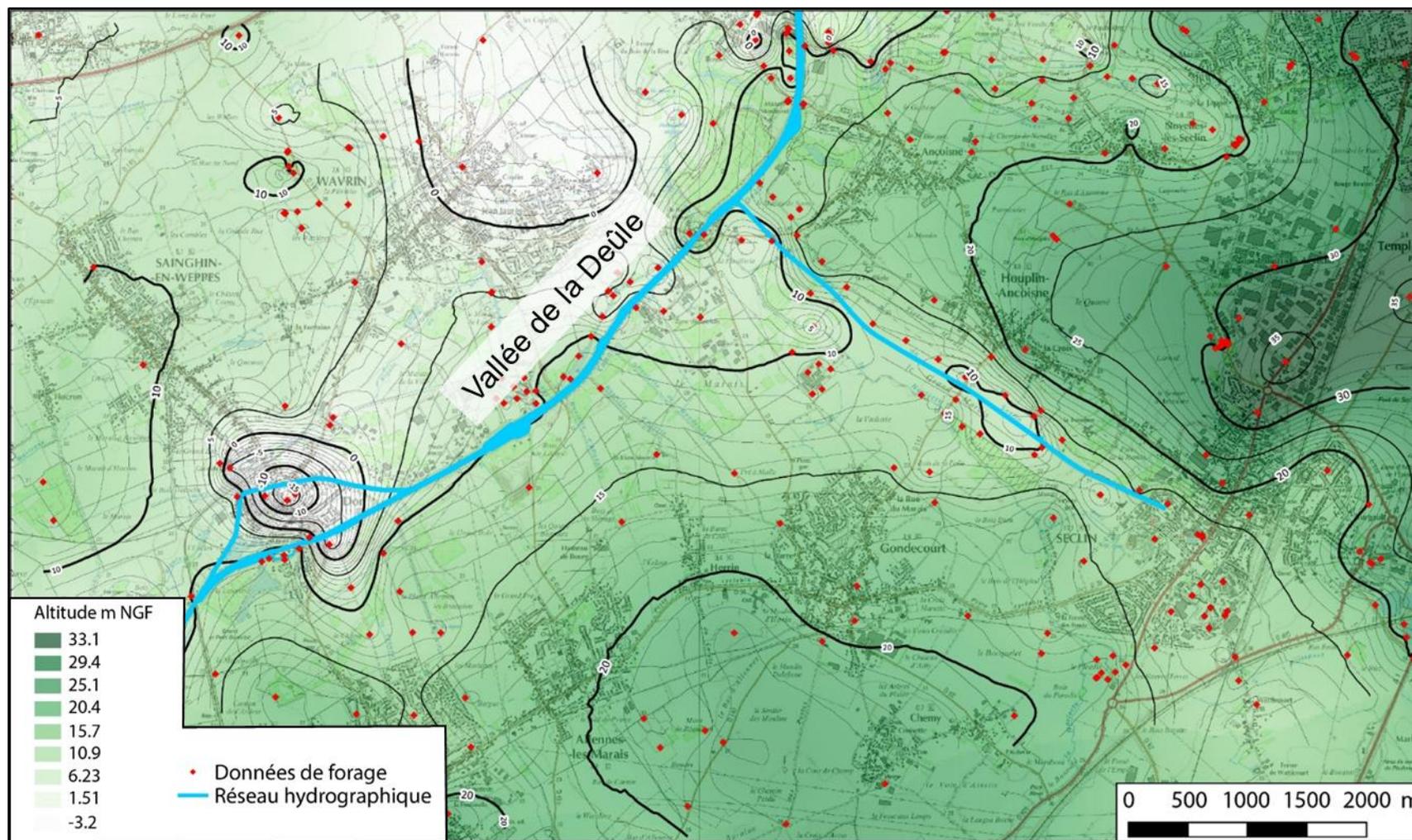


Figure 6 : Carte de l'altitude du toit de la craie (carte obtenue par krigeage à partir des données de forages – points rouges (Bonnière, 2020)

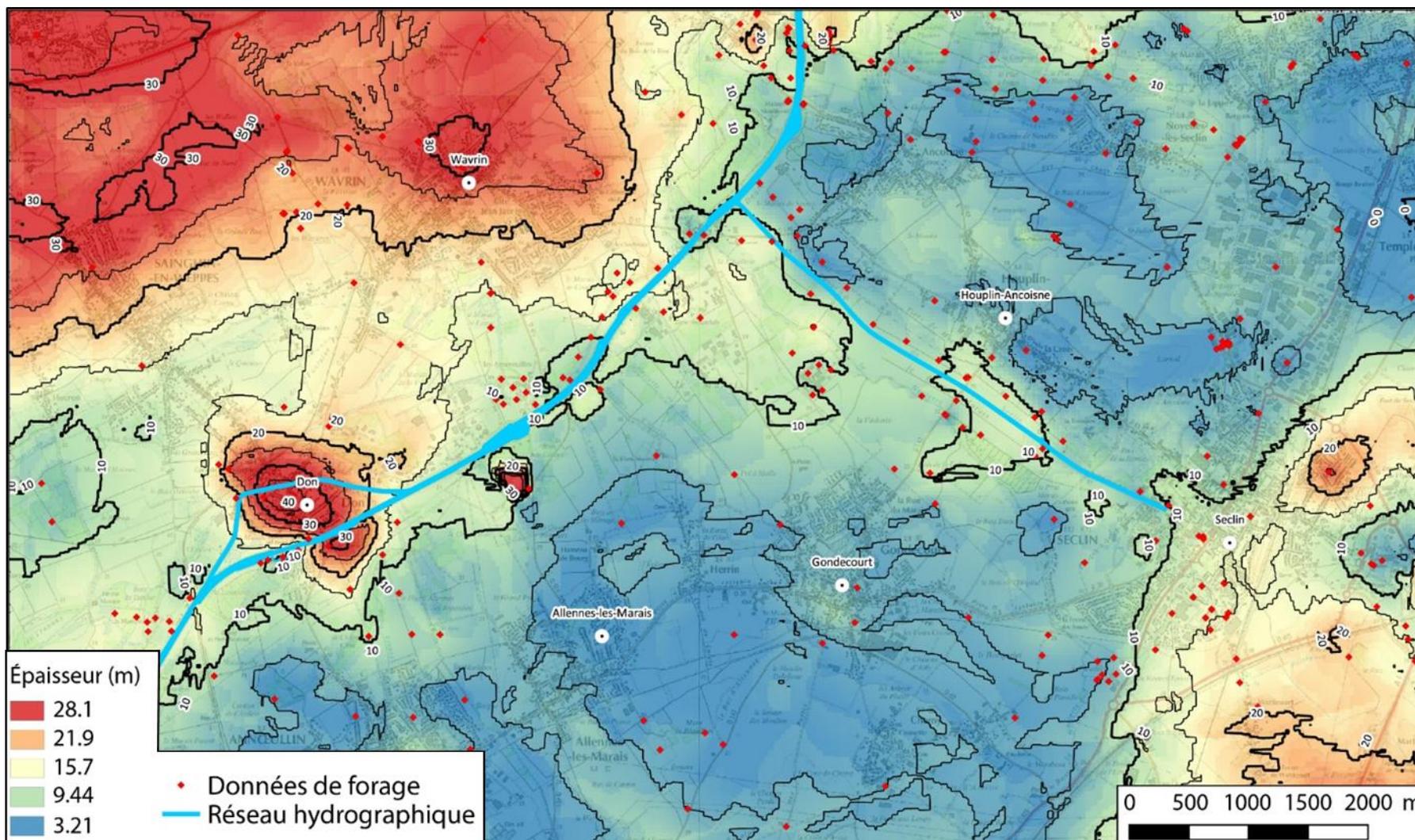


Figure 7 : Carte de l'épaisseur des formations de couverture du Paléogène et du Quaternaire (carte obtenue par krigeage à partir des données de forages – points rouges) (Bonnière, 2020)

4. Synthèse des résultats majeurs de géophysique

Les éléments repris ci-après proviennent du rapport Portal *et al.*, 2022, BRGM-RP-70303-FR. L'approche géophysique pluri-méthodes et multi-échelles proposée a reposé sur trois méthodes d'investigation :

- la gravimétrie, pour la cartographie géologique et structurale à l'échelle de toute la zone des CCSL ;
- l'imagerie sismique, pour la caractérisation des grandes structures tectoniques jusqu'au sommet du Carbonifère (formations de socle, sous la nappe de la Craie), au sein des CCSL ;
- la tomographie de résistivité électrique (TRE) pour la caractérisation de l'agencement des formations du Crétacé (nappe de la Craie), Paléogène et Quaternaire et des discontinuités (ex. fracturation, failles) susceptibles de les affecter, au sein des champs captants des Ansereuilles et d'Houplin-Ancoisne.

L'ensemble des résultats constitue un jeu de données inédit sur la zone d'étude. Les éléments géométriques et structuraux (interfaces géophysiques, discontinuités verticales, altitude du toit du socle géologique (Paléozoïque)) extraits de ces résultats, par leur intégration aux modélisations géologiques et hydrogéologiques, contribueront à affiner ces modèles dans le but d'améliorer la compréhension du fonctionnement de l'hydrosystème de la nappe de la Craie des champs captants du sud de Lille.

La confrontation de l'ensemble des données géophysiques montre une bonne cohérence des résultats, témoignant de la robustesse de la stratégie mise en œuvre. Au niveau des champs captants des Ansereuilles et d'Houplin-Ancoisne :

- La corrélation de discontinuités gravimétriques, sismiques et électriques indique la présence de failles majeures au sein du socle qui se propageraient dans la craie sénonturonienne ;
- Les discontinuités sismiques secondaires sont interprétées comme une fracturation intense de la craie ;
- La faille de Seclin ne doit pas être considérée comme une structure linéaire unique mais davantage comme une structure complexe en horst et graben (système en touches de piano) ;
- La présence d'une variation latérale de l'état de la Craie au niveau du champ captant des Ansereuilles constitue un élément important pour la compréhension du fonctionnement hydrologique local et notamment la chimie des eaux ;
- Dans le secteur de Don, la présence d'une anomalie gravimétrique importante, associée à des discontinuités sismiques majeures, suggèrent un effondrement lié à un endokarst profond, issu de la dissolution des évaporites viséennes, qui affecterait également la craie et serait comblé par les sédiments. Une telle structure pourrait avoir un impact sur l'hydrosystème des Ansereuilles (e.g. transferts d'eaux entre l'aquifère de la craie et l'aquifère calcaire sous-jacent, effets sur les transferts latéraux au sein de la craie selon un axe NE-SO) sous réserve d'en déterminer le rôle hydrogéologique.

4.1. LE SYSTEME DE FAILLES DE SECLIN

La caractérisation de la faille de Seclin a nécessité de combiner les trois méthodes géophysiques qui ont prouvé leur excellente corrélation présentées dans la Figure 8. Ces méthodes ont permis de définir ce que l'on pourra appeler dorénavant le système de failles de Seclin, au sein duquel la Craie y serait très facturée. Le champ captant d'Houplin-Ancoisne en serait affecté avec une partie composée des forages H01 à H06 et H11 qui seraient sur un compartiment abaissé, avec une épaisseur de craie légèrement plus importante, et une autre partie comprenant les forages

H07 à H10 situés sur un compartiment surélevé, avec une épaisseur de craie moins importante (la différence d'épaisseur de craie est évaluée autour de 5-10 m).

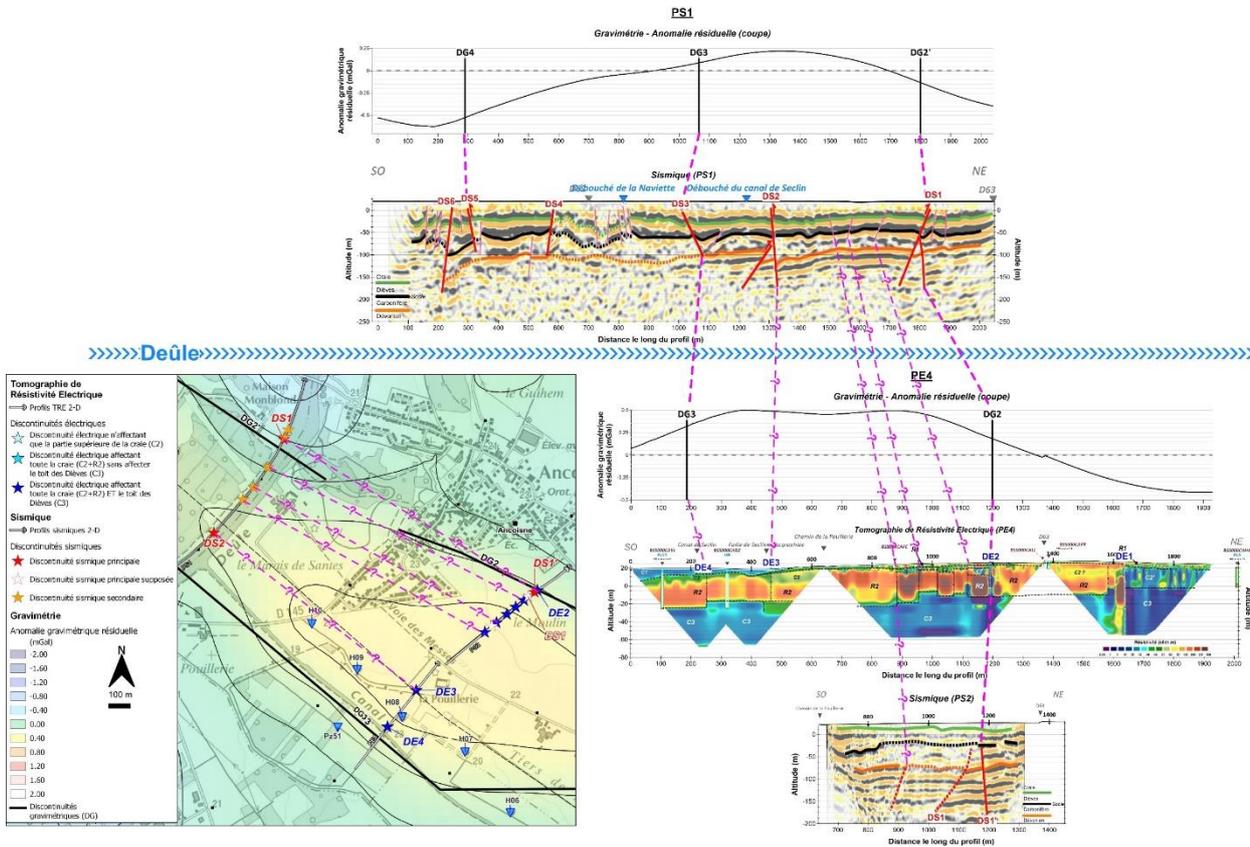


Figure 8 : Synthèse des données géophysiques visant à décrire le système de failles de Seclin (Portal et al., 2022, BRGM-RP-70303-FR).

4.2. LA DOUBLE SIGNATURE DE LA CRAIE

La Figure 9 présente la double signature de la craie, une des avancées majeures du projet dont les implications sont importantes. L'analyse détaillée des coupes de résistivité électrique mises en vis-à-vis des logs de forages (Figure 9 gauche) indique que la partie supérieure de la craie est plus conductrice que sa partie inférieure. En l'état actuel des connaissances, notamment sur l'altération et la porosité de la craie, cette double signature est interprétée comme la stratification hydrogéologique de l'aquifère : la partie supérieure plus conductrice correspondrait à la zone productive de la craie, la partie inférieure plus résistante, à la zone non productive. Sous réserve de confirmer cette analyse par des données complémentaires (e.g. diagraphie en forage, micro-moulinet...), ce résultat constitue une avancée majeure concernant la compréhension de la géométrie de l'aquifère de la craie dans le secteur des CCSL d'une part, et le potentiel de l'imagerie électrique dans des contextes géologiques similaires/équivalents, d'autre part.

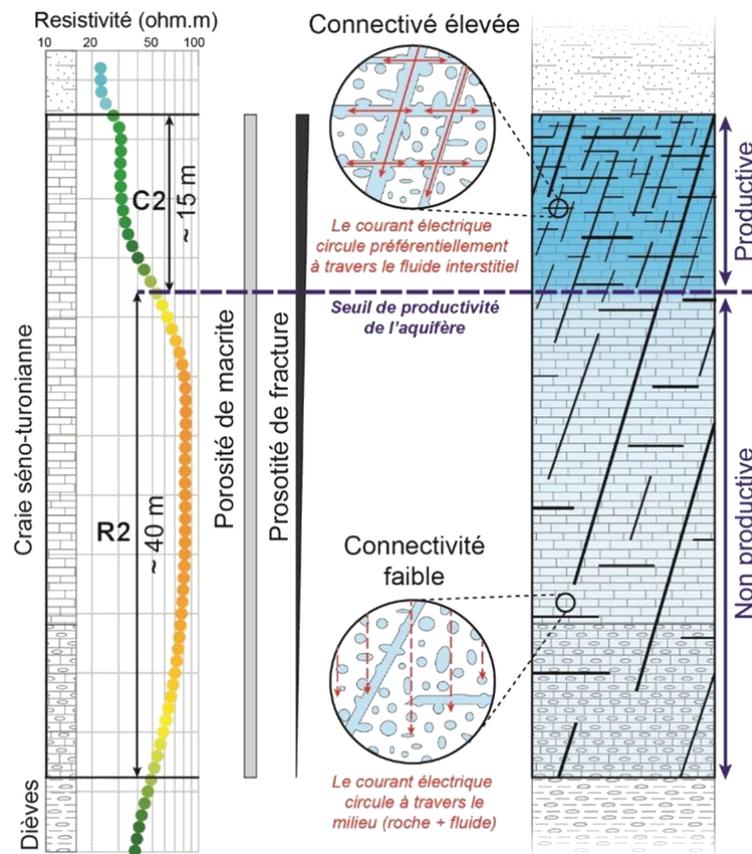


Figure 9 : Origine pétrophysique de la double signature de la craie dans la zone des champs captants du sud de Lille (Portal et al., 2021), avec la partie supérieure de la craie plus conductrice interprétée comme craie productive, et la partie inférieure de la craie, plus résistante et interprétée comme non ou peu productive (Portal et al., 2021, Portal et al., 2022).

4.3. LES ANSEREUILLES

Sur le site du Marais aux Ansereuilles, les données géophysiques sont également très bien corrélées. Des objets particuliers sont distingués (Figure 10) :

- Une variation de l'épaisseur des terrains de couverture conducteurs à la faveur d'un approfondissement progressif vers le NE des formations plus résistantes sous-jacentes ; ce phénomène est interprété comme la présence d'un hemi-graben ou bassin d'effondrement de la craie comblé par les argiles de Louvil ; l'évolution de la résistivité des terrains de couverture du SO vers le NE traduit vraisemblablement une transition progressive depuis des terrains sableux/sablo-argileux au SO (conducteurs) vers des terrains argileux au NE (très conducteurs) ;
- Une zone de résistivité anomalique à proximité du forage A13 qui se manifeste par un couloir de résistivité intermédiaire et uniforme sur toute la hauteur d'une craie pourtant stratifiée en termes de résistivité (voir section précédente) ; cette zone est interprétée comme la présence d'un couloir de fracturation qui affecterait toute la craie, modifiant localement sa signature électrique (près de A13).

4.4. APPORTS DE DONNEES AU MODELE

Le modèle géologique affiné sous GDM et le modèle MOVE structural 3D utilisé par l'Université de Lille ont été mis à jour. En particulier, le modèle GDM a été affiné grâce aux données gravimétriques, notamment dans les endroits où les forages n'atteignent pas le toit du socle carbonifère (Figure 11).

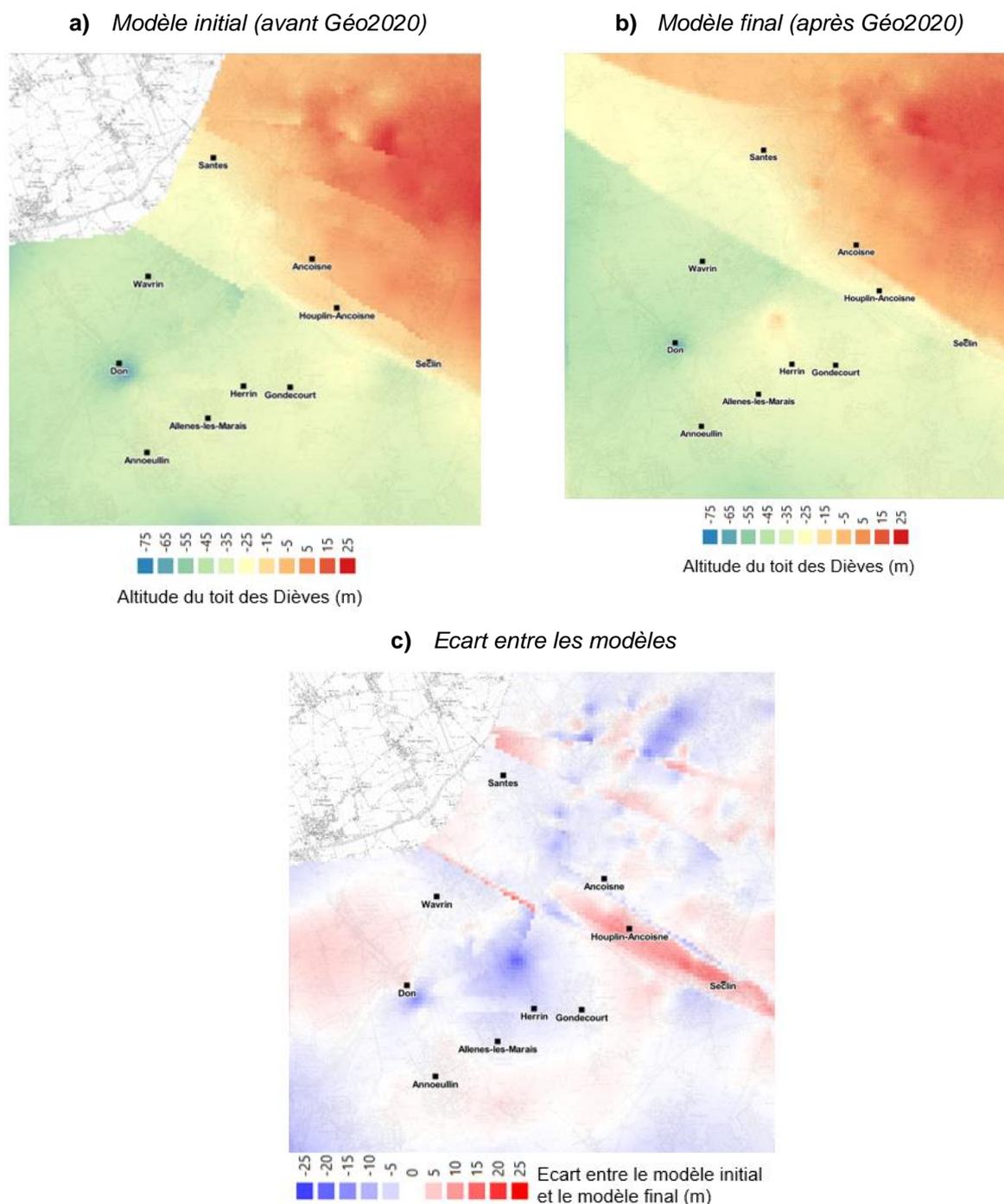


Figure 11 : Apports de la géophysique ayant permis d'affiner le modèle géologique GDM.

5. Synthèse des résultats majeurs d'hydrogéologie

Le rôle des structures géologiques déterminées lors des campagnes de géophysique sur l'hydrodynamique de la nappe est inconnu. Leur compréhension vise à améliorer le modèle hydrogéologique de gestion de la ressource existant. Les éléments présentés ci-après proviennent des rapports Ben Dhiab (2020) et Picot et al., 2022 (BRGM/RP-71378-FR).

5.1. ROLE HYDRODYNAMIQUE DES ACCIDENTS TECTONIQUES

Le rôle hydrodynamique des accidents tectoniques et leurs impacts sur la nappe de la craie a été évalué en combinant investigations géophysiques et bilan hydrodynamique.

A partir d'une première analyse des données disponibles sur le champ captant et de l'interprétation des résultats de différentes simulations réalisées à partir du modèle hydrogéologique de la craie du Nord-Pas de Calais (Stage de Master 2 de Nadia Ben Diaf (2020)), aucune tendance claire ne semble se dégager sur les évolutions des niveaux statiques et des débits de prélèvements globaux observés à l'échelle du champ captant. Par ailleurs le modèle hydrogéologique ne montre qu'une sensibilité modérée des niveaux statiques du secteur du champ captant aux scénarios mettant en jeu des failles imperméables dans le secteur d'étude.

5.2. ELEMENTS DE COMPREHENSION DES DIFFICULTES OPERATIONNELLES RENCONTREES SUR LE CHAMP CAPTANT DES ANSEREUILLES

Malgré le constat précédent, de réelles difficultés de production sont ressenties par les opérateurs du champ captant et une analyse plus locale du jeu de données disponible sur le champ captant des Ansereuilles a été réalisée dans le but de mieux comprendre la situation de tension quantitative ressentie par les producteurs d'eau. Au préalable de toute analyse, il est important de décrire les contraintes dictant les choix en matière de débits prélevés :

- La première contrainte est l'adaptation à la demande en eau afin de maintenir, en temps réel, la pression du réseau d'eau.
- La seconde contrainte est liée à la qualité des eaux prélevées qui diffère selon les secteurs du champ captant. Des mélanges sont ainsi nécessaires pour satisfaire les normes de qualité d'eau distribuée « eau potable », ce qui limite *de facto*, les débits prélevés dans les ouvrages où les normes de qualité des eaux ne sont pas atteintes.
- La troisième contrainte est la bonne atteinte des débits objectifs (ou optimum connu d'exploitation) pour chaque forage. Sur certains ouvrages, il apparaît que les débits atteignables depuis quelque temps sont à la baisse et sont bien en deçà des débits objectifs (ou maximum historiques).
- Jusqu'à récemment, la quatrième contrainte était d'exploiter la nappe par groupes de forages ; les forages peuvent être utilisés isolément et non plus par groupes de forages depuis ces deux dernières années.

5.2.1. La Vallée 2

L'interprétation des essais de puits associés aux forages A25 à A28 (localisation Figure 1) a permis de mettre en évidence une dégradation progressive de ces ouvrages de captage avec une augmentation des pertes de charges quadratiques. Mais elle a également permis de mettre en évidence une augmentation des pertes de charges linéaires entre les premiers essais qui

datent tous du début des années 1990 et des essais ultérieurs qui ont tous eu lieu après 2007. Cette augmentation de pertes de charges linéaires pourrait alors être due à un changement dans la transmissivité effective (ou équivalente) de l'aquifère au cours du temps du fait d'un colmatage de l'environnement proche puits, d'un comblement des fissures productives par un phénomène de soutirage des fines depuis la surface et/ou d'un dénoyage de fissures productives : ce phénomène est en effet suspecté suite aux résultats des essais initiaux de puits sur A25, A26 et A28 (cf. Denudt & Bailly, 1991b, 1993) pour lesquels une rupture des droites des rabattements spécifiques est observée à partir de certains débits. Dans la mesure où les essais initiaux ont été réalisés dans des conditions où les niveaux statiques initiaux étaient hauts en comparaison avec les niveaux observés pour les tests ultérieurs, il semble cohérent d'attribuer l'augmentation des pertes de charge linéaire (au moins en partie) à une évolution de la transmissivité équivalente de l'aquifère du fait de ces dénoyages. En effet, dans un milieu poreux, si la hauteur saturée n'évolue pas dans des proportions considérables, l'hypothèse d'une transmissivité quasi-constante peut être acceptable. En revanche ici, dans un contexte où les écoulements se font préférentiellement à travers un réseau hétérogène de fractures, une baisse de niveau piézométrique peut jouer considérablement sur la transmissivité de l'aquifère si des fractures transmissives sont localisées au toit de l'aquifère. Ceci est d'autant plus vrai si ces fissures ne sont pas connectées. La différence réside entre les « master joints » qui affectent toute la pile de craie, ou les fractures « intra-bancs » qui se limitent à un seul ou plusieurs bancs et sont contraintes par des bancs aux caractéristiques mécaniques différentes : par exemple un banc de tun, plus résistant, peut limiter la propagation d'une fracture dans la craie.

5.2.2. Forages F5 et F6 – La Vallée n°1

Au vu des éléments à disposition et notamment des résultats des essais de puits, la baisse de productivité ressentie sur ces ouvrages de la Vallée 1 (localisation Figure 1) semble être principalement due à une dégradation des propriétés des forages et de leur environnement proche (colmatage), comme cela a pu être constaté sur le forage A5 récemment lors d'opération de régénération. On a également remarqué que les niveaux statiques ne suivent pas les niveaux piézométriques des piézomètres de référence ni les évolutions attendues par le modèle hydrodynamique, ce qui pourrait être une conséquence de la baisse de plus grande ampleur observée sur le secteur de la Vallée 2. Il convient donc de surveiller ces niveaux puisqu'une baisse des niveaux statiques pourrait diminuer la transmissivité équivalente de l'aquifère comme observé sur le secteur de la Vallée 2 (même si les essais de puits ne mettent pas en évidence cela pour le moment) et viendrait également d'autant plus abaisser la productivité de l'ouvrage pour un niveau dynamique de consigne donné.

5.2.3. Forages F14 et F15 – Groupe du Marais

La baisse de productivité ressentie sur ces ouvrages (localisation Figure 1) semble être principalement due à une dégradation des propriétés des forages et de leur environnement proche (colmatage) qui ne semble pas particulièrement récente et qui semble avoir été modulée vraisemblablement au gré des opérations de régénération (l'état actuel n'est pas vraiment connu puisque les derniers essais datent de 2007). Comme pour les ouvrages A5 et A6 de la Vallée 1, on remarque également que les niveaux statiques ne suivent pas les niveaux piézométriques des piézomètres de référence ni les évolutions attendues par le modèle hydrodynamique, ce qui pourrait être une conséquence de la baisse de plus grande ampleur observée sur le secteur de la Vallée 2. Il convient donc de surveiller ces niveaux puisqu'une baisse des niveaux statiques pourrait diminuer la transmissivité équivalente de l'aquifère comme observé sur le secteur de la Vallée 2 (même si les essais de puits ne mettent pas en évidence cela pour le moment) et viendrait également d'autant plus abaisser la productivité de l'ouvrage pour un niveau dynamique de consigne donné.

5.2.4. Sectorisation des Anseveilles

Au final, les corrélations entre chroniques et cartes interpolées récentes semblent montrer une zone de transition à perméabilité plus faible entre l'est du secteur des Anseveilles et le secteur d'Houplin-Ancoisne, ainsi qu'entre le sud du secteur de la Vallée 1 et le secteur de Don (Figure 12).

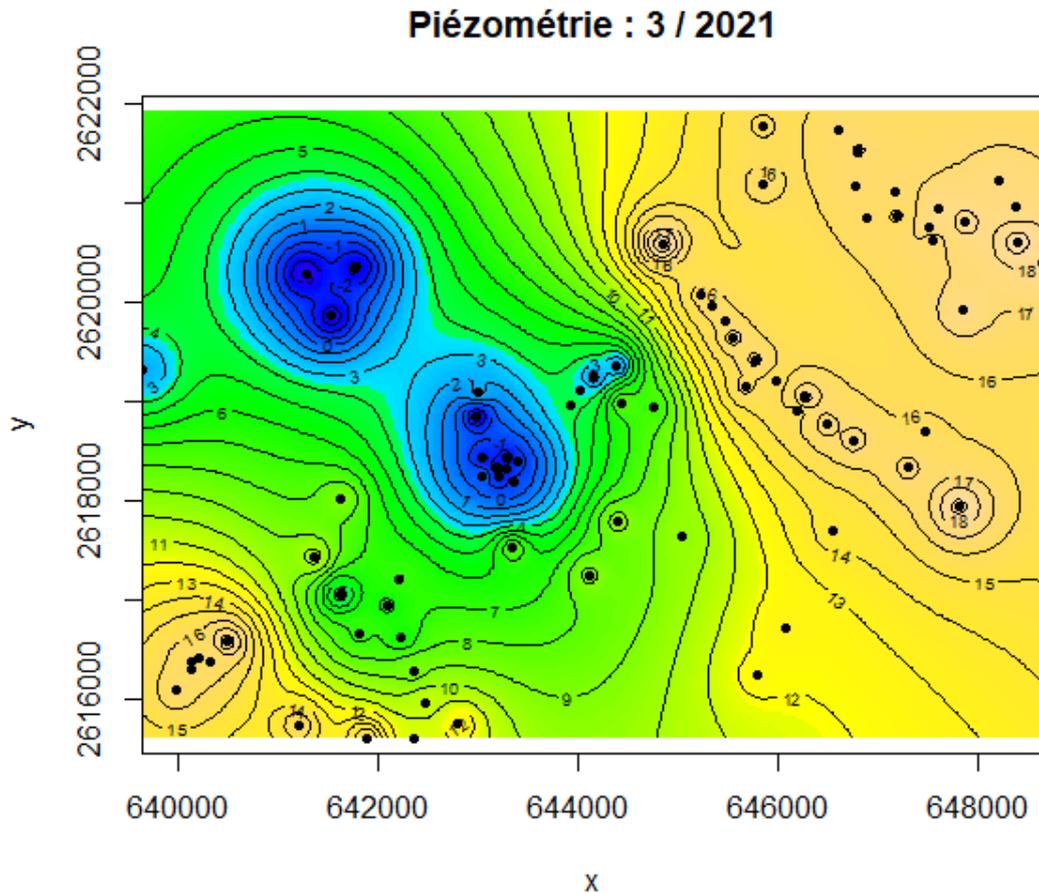


Figure 12 : Carte piézométrique des champs captants du sud de Lille au 3/2021 (les couleurs illustrent les valeurs des isopièzes)

6. Eléments interdisciplinaires d'évaluation de la pérennité des champs captants

Cette évaluation sera discutée de manière synthétique en reprenant les connaissances géochimiques, hydrogéologiques et géologiques. Elle fait abstraction des contraintes administratives telles que la disponibilité du foncier.

6.1. CORRESPONDANCES HYDROGEOLOGIQUES, GEOCHIMIQUES ET GEOPHYSIQUES

Une première synthèse interdisciplinaire consiste à superposer la carte piézométrique et les discontinuités gravimétriques (Figure 13). Cette carte met en évidence que les corrélations hydrogéologiques apparentes correspondent relativement bien aux discontinuités gravimétriques. En particulier, le gradient au sud-ouest d'Houplin-Ancoisne correspond aux discontinuités géophysiques associées au système de failles de Seclin.

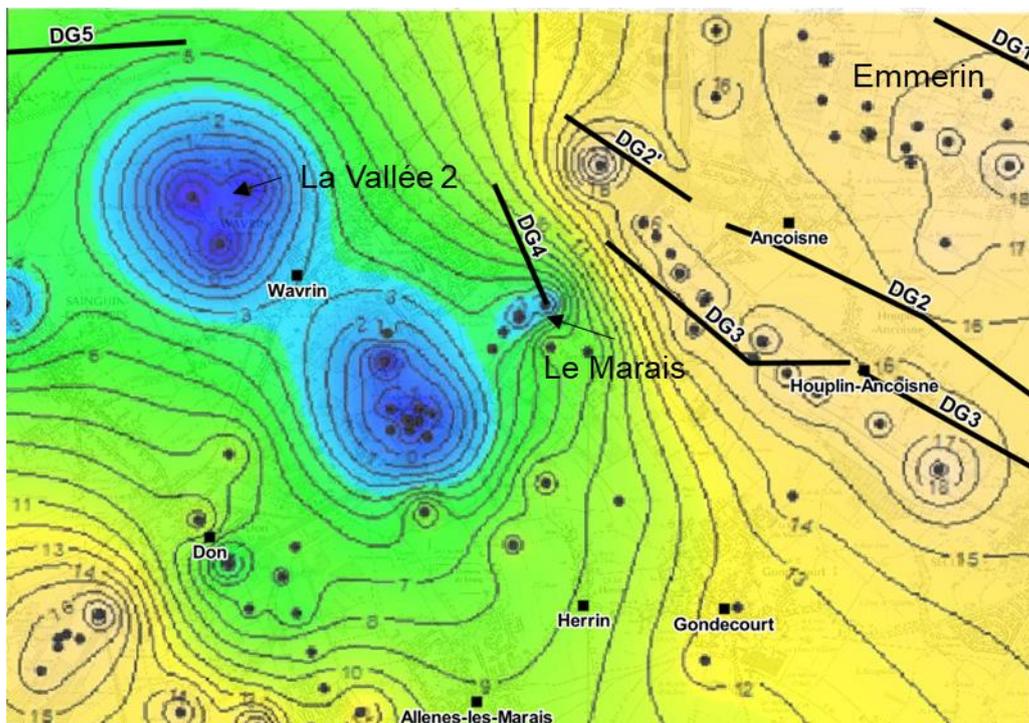


Figure 13 : Carte piézométrique (03/2021) surimposée des discontinuités gravimétriques. Les points noirs sont les points d'eau des champs captants (les couleurs illustrent les valeurs des isopièzes)

En étudiant les mélanges de masses d'eau avec les outils isotopiques, en particulier les isotopes du strontium, trois pôles d'eau majeurs avaient déjà été mis en évidence, permettant de présenter une première régionalisation : le pôle amont Emmerin-Houplin-Ancoisne, le pôle des eaux captives de la Vallée 2 (A25 à A28) et le pôle riche en sélénium (A12-A13) (Figure 14). Cette compartimentation géochimique est donc tout à fait homogène avec la carte piézométrique et gravimétrique : les eaux du compartiment de craie situé entre la faille d'Haubourdin et le système de failles de Seclin, à Emmerin et Houplin-Ancoisne, ont une signature isotopique en strontium légèrement différente de celle du compartiment à l'ouest de la structure, au sein duquel le pôle des eaux captives de la Vallée 2 et le pôle des eaux riches en sélénium du Marais se distinguent.

Ces deux pôles ne sont néanmoins pas identifiables sur la carte gravimétrique ou piézométrique, sauf sous l'angle d'une forte exploitation avec une forte baisse des niveaux piézométriques. En effet, ces deux pôles présentent des eaux en conditions réductrices là où la nappe est sous captivité induite par la présence des formations tertiaires et quaternaires. Les eaux y sont relativement dénitrifiées et présentent des concentrations parfois plus faibles en pesticides et polluants organiques ; en conséquence, ces deux pôles d'eau ont été particulièrement exploités.

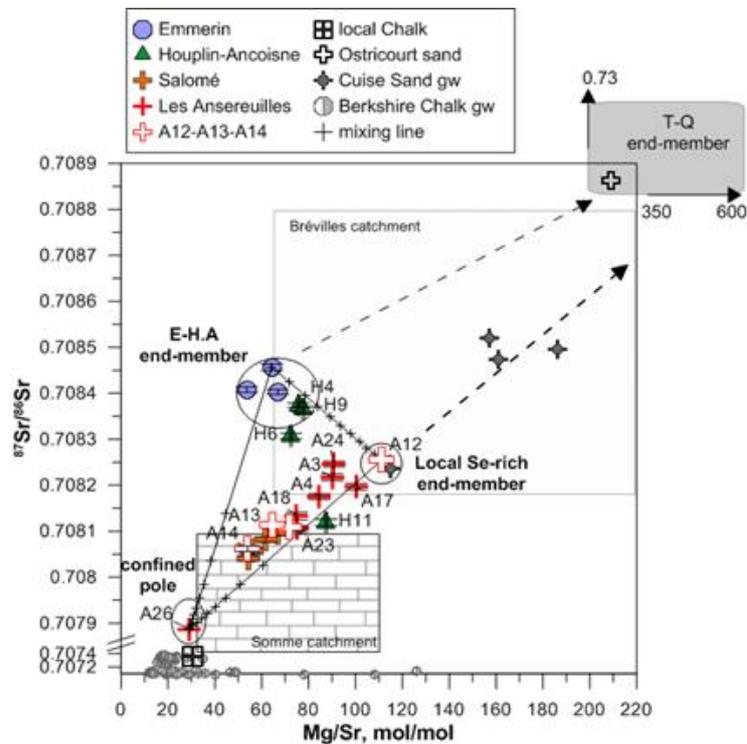


Figure 14 : Diagramme binaire présentant le rapport isotopique du strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) en fonction du rapport Mg/Sr (Cary et al., 2014).

6.1.1. Cas de la zone des forages de la Vallée n°1

La Vallée n°1 est une zone géologiquement particulière car les formations tertiaires et quaternaires reposent sur de la Craie ; les conditions naturelles d'oxydo-réduction dans cette zone permettent la dénitrification des eaux souterraines, ainsi que des teneurs indétectables en sélénium. L'épaisseur importante de ces formations sus-jacentes à la craie les préserve également en partie des pollutions de surface par les pesticides ou les molécules organiques d'origine industrielle. Or, l'exploitation, qui permet aussi de diluer des eaux de moins bonne qualité, y est limitée. En effet, les forages A25 à A28 ont subi une baisse des niveaux piézométriques d'environ 10 m ces 20 dernières années entraînant un dénoyage des fissures productives dans la partie superficielle de l'aquifère de la craie. Ceci implique que les débits originels ne seront plus atteints si les niveaux piézométriques ne rejoignent plus les niveaux initiaux. Cependant, le niveau de la nappe dépend aussi de la recharge et son évolution sera liée à celle des pluies. Dès lors, l'installation de nouveaux captages dans cette zone qui pourrait être motivée par des arguments qualitatifs sera contrainte par des éléments quantitatifs, avec le risque même d'aggraver la situation actuelle des forages en exploitation si la recharge ne permet pas une remontée piézométrique suffisante.

6.1.2. Cas de la zone du Marais, proche des forages A12-A15

La zone du Marais, localisée dans une zone basse dans les alluvions de la Deûle, présente des problèmes quantitatifs. La complexité géologique illustrée par la présence d'un petit graben ayant permis de conserver des argiles thanétiennes, associée à des accidents structuraux permettant très probablement des mélanges d'eau, induit une variabilité très forte de la qualité de l'eau sur de faibles distances. Par exemple, entre A10 et A15 distants de 1 600 m, seuls A14 et A15 présentent une qualité acceptable pour l'eau potable, les forages précédents (A11-A13) présentant de fortes teneurs en sélénium. La présence de cette lentille d'argiles riches en Se n'a pas pu être cartographiée vers le nord et le sud en raison de la présence du canal de la Deûle et de la zone industrielle. Ainsi, l'installation de nouveaux forages est potentiellement intéressante qualitativement, mais accentuera les problèmes quantitatifs.

6.1.3. Cas des forages proches du champ captant d'Houplin-Ancoisne

Mise en évidence dans le projet, l'extrême complexité de la géologie structurale au niveau du système de failles de Seclin rend également complexe l'appréciation des débits possibles dans cette zone. Il n'est pas possible de savoir, en l'absence d'essais de pompage et de forages d'étude en nombre suffisant, si certaines failles peuvent jouer un rôle d'écran ou un rôle de transfert de flux d'eau.

6.1.4. Cas de la zone proche du PZ56

Peu exploitée, cette zone de l'aquifère est cependant marquée par la présence de l'ancienne blanchisserie, dont le panache de pollution, mal connu, est très probablement à l'origine des teneurs fortes en COHV mesurées dans le PZ56. Zone agricole, il est possible que nitrates et pesticides dégradent significativement la qualité des eaux souterraines, en plus du sélénium et du nickel dont les concentrations sont très importantes. Ainsi, l'installation de nouveau forages dans cette zone risque d'être fortement limitée pour des raisons qualitatives.

6.2. SYNTHESE INTERDISCIPLINAIRE

L'ensemble des contraintes géologiques/géophysiques, hydrogéologiques et géochimiques est présenté dans un schéma appelé carte mentale (cartes mentales, Figure 15 et Figure 16). Chaque item indiqué est qualitatif, et contrairement à un dendrogramme, il ne lui est pas attribué un poids.

Ces cartes visent à traduire la grande complexité de la zone d'étude, dans chacune des trois disciplines présentées. Il est remarquable de voir comment les résultats des études de géochimie, géophysique et hydrogéologie sont cohérents et se complètent. De grands traits ont été précisés, tels que la présence ou l'absence et l'épaisseur d'argiles tertiaires qui induira ou non des conditions d'oxydo-réduction favorables à l'exploitation (dénitrification) ou non (pics potentiels de sélénium ou de nickel), ce qui induit une exploitation plus ou moins forte des forages concernés.

Les corrélations entre chroniques et cartes interpolées récentes semblent montrer une zone de transition à perméabilité plus faible entre l'est du secteur des Ansereuilles et le secteur d'Houplin-Ancoisne, ainsi qu'entre le sud du secteur de la Vallée 1 et le secteur de Don. Ces éléments d'hydrogéologie quantitative sont complémentaires aux résultats d'hydrochimie qualitative et de géophysique. L'hydrogéochimie, avec l'isotopie du strontium notamment, a permis d'identifier trois pôles d'eau majeurs se mélangeant sur les CCSL, tandis que la géophysique met en évidence les grandes discontinuités gravimétriques cohérentes avec des zones de transition

hydrogéologiques. Le secteur des CCSL est recoupé par des structures d'orientation différente et conjuguées : N110° (système de failles de Seclin le long duquel est aligné le champ captant d'Houplin-Ancoisne) et N20°. Bien qu'un nouveau schéma structural de la zone d'étude ne soit pas encore disponible, les résultats géophysiques semblent indiquer une structure « en damier ». Les différentes failles du secteur sont susceptibles de délimiter des blocs géologiques, abaissés ou surélevés. Cette structure complexe pourrait avoir des conséquences sur le fonctionnement et la qualité de l'aquifère. Le BRGM préconise ainsi de réaliser des profils de TRE en amont des opérations de forage, afin de préciser le contexte géologique et structural local.

Dans cette optique, des préconisations peuvent être proposées également pendant la réalisation de nouveaux forages dans les CCSL, afin d'évaluer au mieux les conditions hydrodynamiques et géochimiques. Elles intègrent des diagraphies traditionnellement effectuées (micromoulinet) à d'autres, plus rares, mais qui apporteront des informations de grande qualité pour anticiper les résultats sur la qualité de l'eau. A chaque nouveau forage, il serait donc important de réaliser les actions suivantes :

- Diagraphie électrique pour distinguer l'épaisseur de la zone productrice de l'aquifère ;
- Diagraphie gamma-Ray dans le forage pour distinguer la présence ou l'absence d'argiles ;
- Micromoulinet pour positionner les arrivées d'eau dans le profil ;
- Mesure des paramètres physico-chimiques avec précaution pour la teneur en dioxygène dissous et le potentiel d'oxydo-réduction ;
- Essai de pompage et si présence de faille à proximité distinguée auparavant dans un profil TRE, caractérisation de son rôle hydrodynamique en adaptant débits et temps de pompage.

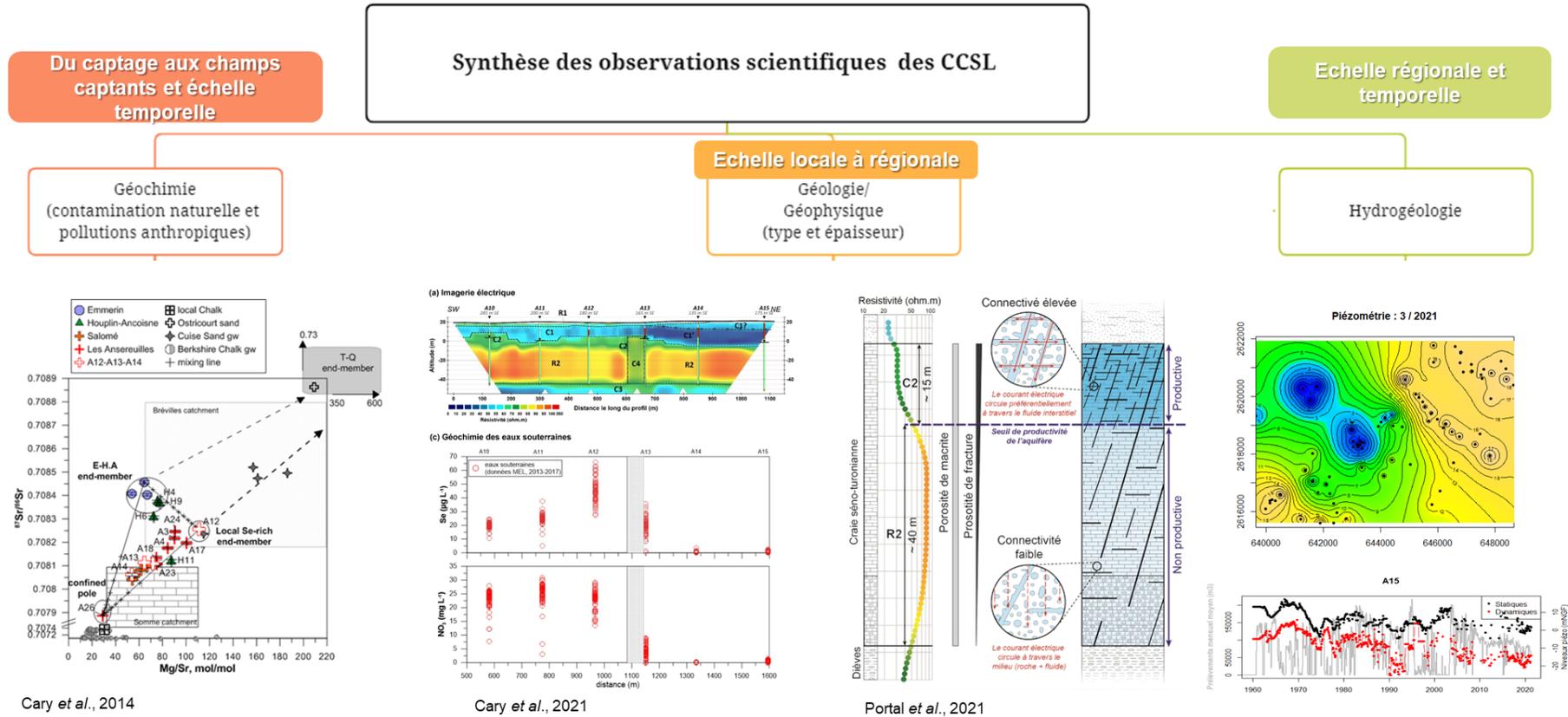


Figure 15 : Synthèse des éléments des trois disciplines (géochimie, géophysique et hydrogéologie) convergeant vers des interprétations couplées ou concordantes.

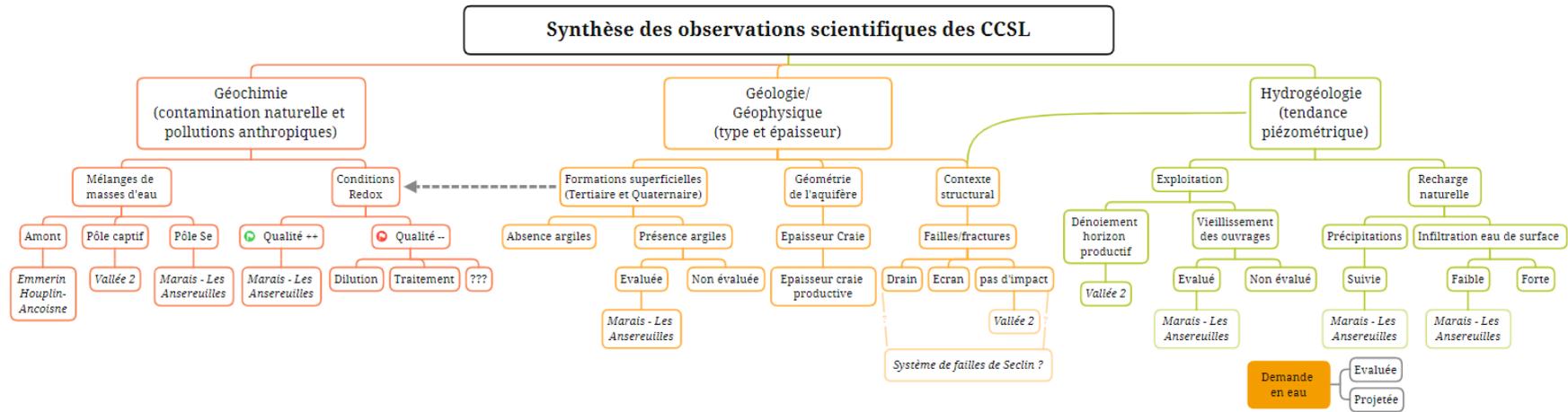


Figure 16 : Synthèse des observations scientifiques en géochimie, géophysique/géologie et hydrogéologie sur les champs captants du sud de Lille. Les flèches en tiret gris indiquent des relations. Les cadres en italique indiquent les sites importants où des investigations ont été menées.

7. Conclusion

Dans les champs captants du sud de Lille, la MEL et SOURCEO sont contraints, dans leur exploitation de la nappe de la Craie, à la fois par la qualité de l'eau où des polluants très différents sont présents en concentrations très variables, et par la quantité disponible ; les forages de bonne qualité sont souvent plus exploités avec des baisses de niveaux piézométriques parfois notables. La mise en évidence du lien fort entre géologie, hydrogéologie et géochimie a mis en lumière que l'aquifère de la craie, en particulier son bâti structural et ses variations d'épaisseur, était largement inconnu en raison notamment de la grande complexité du sous-sol des CCSL liée à sa fracturation et à son épaisseur. Dès lors, le projet Géo2020 a mené des travaux en géophysique afin d'imager à la fois la formation géologique de la Craie, ses relations avec le socle et les formations tertiaires et quaternaires et la fracturation intense qui l'affecte, et en hydrogéologie pour mieux comprendre le comportement de la nappe. Le projet a couplé des méthodes géophysiques, hydrogéologiques et géochimiques, à la fois dans des perspectives qualitatives et quantitatives et de manière à travailler à différentes échelles spatiales (du régional au très local).

L'approche géophysique a montré l'existence de discontinuités gravimétriques, sismiques et électriques indiquant la présence de failles majeures au sein du socle qui se propageraient dans la craie, accompagnées de discontinuités sismiques secondaires représentant des failles et fractures. La faille de Seclin, imagée pour la première fois, est à comprendre comme une structure complexe en horst et graben. Enfin, la présence d'une variation verticale de l'état de la craie au niveau du champ captant des Ansereuilles constitue un élément important pour la compréhension du fonctionnement hydrogéologique local et notamment la chimie des eaux. En particulier, il a été possible de distinguer la zone productive de la zone non-productive de l'aquifère.

Les cartes piézométriques les plus récentes confirment l'existence de zones de transition de type barrière hydrogéologique, entre l'est du secteur des Ansereuilles et le secteur d'Houplin-Ancoisne, ainsi qu'entre le sud du secteur de la Vallée 1 et le secteur de Don. Ces zones de transition sont cohérentes avec les grandes discontinuités gravimétriques, illustrant la nécessité d'acquérir une connaissance précise des formations géologiques aquifères. Par une analyse fine du contexte hydrogéochimique et géophysique, il a été possible de mettre en évidence qu'un petit accident tectonique associé à la présence d'une épaisseur d'argiles de 10 à 15 m sont à l'origine des fortes teneurs en Se très localisées dans les eaux souterraines, avec cependant un rôle très mineur sur l'hydrodynamique de la nappe.

Une présentation schématique des apports des projets COHMET et Géo2020 permet d'appréhender l'extrême complexité du sous-sol tout en mettant en évidence les liens entre les paramètres majeurs impliquant la géologie, l'hydrogéologie et la géochimie qu'il faudra prendre en compte pour la réalisation de nouveaux forages. Les préconisations proposées pour la réalisation de nouveaux forages dans les CCSL sont les suivantes :

- Diagraphie électrique pour distinguer l'épaisseur de la zone productrice de l'aquifère ;
- Diagraphie gamma-Ray dans le forage pour distinguer la présence ou l'absence d'argiles ;
- Micromoulinet pour positionner les arrivées d'eau dans le profil ;
- Mesure des paramètres physico-chimiques avec précaution pour la teneur en dioxygène dissous et le potentiel d'oxydo-réduction ;
- Essai de pompage et si présence de faille à proximité distinguée auparavant dans un profil TRE, caractérisation de son rôle hydrodynamique en adaptant débits et temps de pompage.

Bibliographie

- Amédéo, F., Robaszynski, F., 2006. Les craies à niveaux durcis du Turonien supérieur - Coniacien inférieur du nord de la France (Boulonnais, Artois, environs de Lille) : un essai de corrélation à l'aide de la stratigraphie événementielle. *Annales de la Société Géologique du Nord* 13, 123-135.
- Beckelynk, M., Kleszcz, J.-P., 1981. Carte de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution - Région nord-Pas-de-Calais. Rapport 81-SGN-266-NPC.
- Ben Dhiaf, N., 2020. Caractérisation du fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère crayeux dans le secteur des champs captants du sud de la métropole lilloise. Rapport M2.
- Besbes, M., Talbot, A., 1983. L'alimentation en eau de la métropole du Nord. 83-SGN-589-NPC. BRGM et ENSP.
- Bessière, H., Picot, J., Picot, G., Parmentier, M., 2015. Affinement du modèle hydrogéologique de la Craie du Nord-Pas-de-Calais autour des champs captants de la métropole Lilloise. Rapport final. BRGM/RP-63689-FR, 295 p., 4 ann., p. 295.
- Bonniere, A., 2020. Mise à jour des modèles géologiques (du BRGM et de l'Université de Lille) des formations géologiques dans la zone des champs captants du sud de Lille par l'apport de données d'imagerie géophysique sol. Rapport de stage de Master 2. Université de Lille - BRGM, p. 20 p.
- Bonte, A., 1957. Observations sur le dôme du Mélandois. *Annales de la Société géologique du Nord* 77, 154-163.
- Caous, J.-Y., 2003. Impact de l'activité industrielle sur la qualité de la nappe de la craie (champs captants du sud de Lille - Nord). Etat initial des connaissances géologiques et hydrogéologiques. BRGM/RP-52180-FR, 53 p. 1 pht., p. 53.
- Cary, L., Benabderraziq, H., Elkhatabi, J., Gourcy, L., Parmentier, M., Picot, J., Khaska, M., Laurent, A., Négrel, P., 2014. Tracking selenium in the Chalk aquifer of northern France: Sr isotope constraints. *Applied Geochemistry* 48, 70-82.
- Cary, L., Parmentier, M., 2013. Présence de sélénium dans les eaux du bassin Artois-Picardie : Contexte et origine pour une gestion adaptée de la ressource en eau des champs captants de LMCU et Noréade. BRGM/RP-62967-FR. Étude réalisée dans le cadre du projet Thermosol. Rapport final, p. 129.
- Cary, L., Portal, A., Billon, G., Parmentier, M., Alaimo, V., Bouvet-Swialkowski, A., Négrel, P., 2021. Selenium mobility in a major Chalk aquifer (Lille metropolis, northern France): Contaminants cycles driven by geology, redox processes and pumping. *Chemical Geology* 583, 120465.
- Denudt, H., Bailly, S., 1991. Restructuration du champ captant des Ansereuilles à Wavrin (Nord). Création d'un champ captant à l'ouest de l'agglomération de Wavrin. Phase II : Réalisation de deux forages d'essai. Compte-rendu des travaux et essais réalisés. Rapport BRGM BRGM/RR-34066-FR.
- Denudt H., Bailly S. (1993). Restructuration du champ captant des Ansereuilles à Wavrin (Nord). Création d'un champ captant à l'ouest de l'agglomération de Wavrin. Phase III : Réalisation de deux forages d'exploitation complémentaires. Compte-rendu des travaux et essais réalisés. Rapport BRGM BRGM/RR-34066-FR.
- De Wever, P., Guillocheau, F., Reynaud, J.Y., Vennin, E., Robin, C., Cornée, A., Roubay, D., 2002. Deux siècles de stratigraphie dans le bassin de Paris. *Comptes Rendus - Palevol* 1, 399-414.
- Dezwarte, J.M., Plat, R., Syssau, A., 1965. Le "Dôme du Mélandois" : Données géologiques et hydrogéologiques. *SGR Nord-Pas-de-Calais* 34.
- Fenet, B., 1965. Observations récentes sur la partie ouest de l'Anticlinal du Mélandois. *Annales de la Société géologique du Nord* 85, 241-245.
- Gosselet, J., 1904. Les assises crétaciques et tertiaires dans les fosses et les sondages du nord de la France.

- Graveleau, F., Chanier, F., Meilliez, F., Reynaud, J.-Y., Musila, G., 2021. Observation de la surface de transgression du tuffeau thanétien sur la craie coniacienne au niveau du flanc Nord de l'Anticlinal du Mélandois (Nord). *Annales de la Société Géologique du Nord* T28.
- Laurent, A., Averbuch, O., Beccalotto, L., Graveleau, F., Lacquement, F., Capar, L., Marc, S., 2021. 3-D Structure of the Variscan Thrust Front in Northern France: New insights from seismic reflection profiles. *Tectonics* 40.
- Mansy, J.-L., Lacquement, F., 2006. Contexte géologique régional : l'Ardenne paléozoïque (Nord de la France et Sud de la Belgique), *Géologie de la France*, Givet, pp. 7-13.
- Minguely, B., 2007. Caractérisation géométrique 3-D de la couverture sédimentaire méso-cénozoïque et du substratum varisque dans le Nord de la France : apports des données de sondages et des données géophysiques, Université de Lille, p. 230.
- Picot, J., Bourguin, B., 2010. Modélisation géologique de la craie céno-turonienne en région Nord-Pas-de-Calais. Rapport final, in: BRGM/RP-58910-FR (Ed.), p. 75.
- Portal, A., Averbuch, O., Bitri, A., Bonnière, A., Cary, L., Graveleau, F., Jacob, T., Watremez, L., Maurice, B., Joubin, F., Larose, L., 2021a. Fonctionnement de l'hydro-système de la craie dans la région des champs captants du sud de Lille - Imagerie géophysique par gravimétrie, tomographie de résistivité électrique, sismique réfraction et réflexion haute résolution. Rapport final. BRGM/RP-70303.
- Portal, A., Cary, L., Meire, B., 2021b. La nappe de la Craie face à la pollution. *Géochronique* 160, 37-39.
- Sommé, J., 1977. Les plaines du Nord de la France et leur bordure: étude géomorphologique, p. 810.
- Waterlot, G., 1960. La nappe aquifère de la craie dans la vallée de la Haute-Deûle ; structure géologique du sous-sol de la vallée. *Annales de la Société géologique du Nord* LXXXX, 329-334.
- Wyns, R., Gély, J.P., Hanot, F., 2014. Le Bassin parisien du Tertiaire à l'Actuel. Le Bassin parisien: un nouveau regard sur la géologie. Paris: Association des Géologues du Bassin de Paris, 85-93.



**RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE**

*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

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

Direction régionale Hauts-de-France

Arteparc Bâtiment A
2 rue des Peupliers
BP10406
59814 – Lesquin - Cedex
Tél. : 03 20 19 15 40

www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm