

## L'électromagnétisme héliporté, un outil pour la caractérisation et la gestion des ressources en eau souterraine : application aux aquifères de la bordure nord-est du Bassin aquitain dans le cadre du projet Eaux-SCARS

Barrière Jérôme<sup>1</sup>, Allanic Cécile<sup>2</sup>, Andrieu Simon<sup>2</sup>, Bourbon Pierre<sup>1</sup>, Briais Justine<sup>2</sup>, Cabaret Olivier<sup>1</sup>, Husson Églantine<sup>2</sup>, Issautier Benoît<sup>2</sup>, Lasseur Éric<sup>2</sup>, Raingard Anne<sup>2</sup> et Reninger Pierre-Alexandre<sup>2</sup>.

### Introduction

La gestion des ressources en eau souterraine repose en premier lieu sur une bonne connaissance de la nature et des géométries du sous-sol, qui conditionnent notamment la disponibilité des ressources et les relations entre les aquifères et épontes (aquitards, aquicludes). Cette caractérisation du sous-sol se base généralement sur la corrélation d'informations géologiques disparates (coupes de forages, cartographie des affleurements), qui sont fonction des données et connaissances acquises sur la géologie locale. La densité de données disponibles et la complexité géologique conduisent nécessairement à une simplification et à des incertitudes sur les géométries, dont les implications peuvent être majeures pour la compréhension du fonctionnement des nappes et l'évaluation des ressources : conditions de réalimentation, compartimentation des réservoirs et continuité des écoulements, drainances verticales entre aquifères. Afin de limiter ces incertitudes, l'utilisation de l'électromagnétisme héliporté peut s'avérer opportune par la capacité de la méthode à couvrir un vaste territoire et à investiguer les caractéristiques des terrains sur des profondeurs de l'ordre de plusieurs centaines de mètres ; c'est pourquoi il est apparu pertinent d'éprouver son aptitude à apporter des réponses sur des aquifères sédimentaires, à différentes échelles d'application.

### Électromagnétisme héliporté : généralités et applications

#### Généralités

L'électromagnétisme est une méthode géophysique permettant d'imager les contrastes de conductivité/résistivité électrique du sous-sol, au moyen d'un champ magnétique transitoire généré par une boucle de courant. La résistivité est un paramètre particulièrement intéressant pour la caractérisation de la subsurface, car elle varie selon la nature des roches, leur niveau d'altération, la présence et la nature de certains fluides, etc. La mise en

œuvre de la méthode par avion ou hélicoptère offre la possibilité de couvrir de manière homogène de vastes territoires, délivrant ainsi des représentations inédites du sous-sol à minima sur des profils 2D, voire en 3D lorsque la distance entre les lignes de mesure est suffisamment rapprochée. La profondeur d'investigation généralement obtenue est de l'ordre de 300-400 m, et peut atteindre 1 km dans des contextes particuliers.

La méthode électromagnétique aéroportée (AEM) présente un intérêt avéré, attesté par des études dans des thématiques environnementales variées (Esben *et al.*, 2017), telles que la connaissance géologique (aide à la cartographie géologique et à la modélisation 3D du sous-sol), l'hydrogéologie (gestion et vulnérabilité des formations aquifères), la prospection en matériaux ou minière (exploration et cubage des gisements), les risques naturels (aide à la cartographie de l'aléa mouvement de terrain et de l'aléa sismique) et la géotechnique (information sur la nature du sous-sol pour la construction et l'aménagement du territoire).

Depuis 2009, le BRGM a réalisé 13 campagnes AEM, aussi bien en Métropole (nord de la Chaîne des Puys, Dordogne, Massif central...) que dans les DOM et COM (Mayotte, Martinique, Guadeloupe, Réunion et plusieurs zones en Guyane et Nouvelle-Calédonie...). Il a valorisé ces données au sein de plus de 150 études portant sur l'hydrogéologie, les risques naturels, les géo-ressources, (Dumont *et al.*, 2018, Vittecoq *et al.*, 2023).

#### Applications en hydrogéologie

L'hydrogéologie est une des applications principales de l'AEM. La méthode permet d'apporter des informations pertinentes dans des contextes géologiques très variés (Esben *et al.*, 2017). Ainsi, par exemple, en domaine volcanique, les paléovallées et/ou les laves saines peuvent généralement être différenciées. En domaine sédimentaire, l'AEM permet de mettre en évidence les contrastes de résistivité, en fonction de la lithologie et de la porosité des couches, qui peuvent être corrélés à des propriétés des aquitards ou aquifères. On peut noter

1. BRGM, F-33600 Pessac, France.

2. BRGM, F-45060 Orléans, France.

également la capacité de l'AEM à caractériser l'intrusion saline, bien utile dans le cas d'implantation de forages AEP ou pour la gestion de l'aquifère.

De plus en plus d'acquisitions à but hydrogéologique sont conduites à travers le monde, certains pays ayant même pris la décision de couvrir l'ensemble de leur territoire. C'est le cas, par exemple, du Danemark et de l'Australie. Ce dernier a lancé en 2017 un grand programme d'acquisition, toujours en cours aujourd'hui (<https://www.eftf.ga.gov.au/ausaem>).

## Le projet Eaux-SCARS

### Contexte du projet

Les ressources en eau souterraine des formations carbonatées du Jurassique et du Crétacé du nord-est du Bassin aquitain, sur le secteur Charente-Périgord-Agenais-Quercy (Fig. 1), sont stratégiques par leur contribution aux patrimoines naturel et économique de ces territoires. En premier lieu, elles satisfont actuellement la majorité des besoins en eau pour l'eau potable, l'agriculture, ou encore l'industrie. En outre, lorsque les aquifères se trouvent à l'affleurement, les nappes sont en lien étroit avec les milieux superficiels (zones humides, cours d'eau et plans d'eau) qu'elles alimentent notamment par l'intermédiaire de sources ou de sorties diffuses : elles participent par là même au maintien des écosystèmes associés et soutiennent de nombreuses activités économiques et de loisirs. Par ailleurs, le caractère karstique de certains de ces aquifères leur confère des spécificités de fonctionnement des ressources en eau associées, tant du point de vue quantitatif que qualitatif : forte variabilité temporelle des débits et des signatures chimiques, vulnérabilité accrue aux pollutions.

Certains territoires rencontrent cependant des difficultés de gestion de ces ressources. En Lot-et-Garonne par exemple, la baisse chronique des niveaux piézométriques depuis plusieurs décennies a mené à l'établissement d'un moratoire sur l'ensemble des prélèvements dans les nappes du Crétacé et du Jurassique. Mais, plus globalement, le caractère stratégique de ces nappes va se voir renforcé dans un contexte de changement climatique. De plus, la question de la disponibilité de l'eau sur ces territoires se pose à moyen et long terme : prévision d'étiages plus sévères et plus longs, report des prélèvements des ressources de surface vers les ressources souterraines, augmentation des consommations en eau. Les enjeux actuels et futurs consistent à assurer la pérennité de la ressource en eau pour concilier autant que possible l'ensemble des usages tout en en préservant les apports vers les milieux superficiels.

La complexité de ces systèmes aquifères et le manque de connaissances sur leur fonctionnement hydrogéologique a encouragé la mise en place d'un programme de recherche de compréhension générale pour garantir à terme une gestion équilibrée de la ressource. Le projet Eaux-SCARS (<https://sigesaqi.brgm.fr/-Projet-Eaux-SCARS-.html>), démarré en 2021, pour une durée de 6 ans, et bénéficiant du soutien financier du BRGM, de l'Europe et de la Région Nouvelle-Aquitaine via le Fonds européen de développement régional, FEDER, de l'Agence de l'eau Adour-Garonne et des Conseils départementaux de la Dordogne, du Lot, du Lot-et-Garonne et de la Charente, vise à répondre à ce besoin en réalisant des investigations approfondies, qui alimenteront la mise en place d'outils destinés à optimiser la gestion des nappes sur ces territoires.

### Attentes vis-à-vis des acquisitions géophysiques

Le territoire du projet se situe sur les franges est et nord-est du Bassin aquitain. Les relations géométriques entre les formations géologiques présentes dans ce secteur traduisent un dépôt sur plusieurs centaines de mètres de sédiments depuis le Trias jusqu'au Quaternaire, recouvrant le socle continental affleurant aujourd'hui plus à l'est dans le Massif central. Du fait des alternances dans la nature des formations déposées, le sous-sol de ces territoires est constitué d'un multicouche d'aquifères, dont les principaux réservoirs sont constitués par les formations calcaires et dolomitiques du Jurassique et du Crétacé supérieur.

Ces aquifères s'avèrent en réalité plus ou moins individualisés selon les secteurs, et il réside encore de forts questionnements sur leurs limites et leurs interconnexions. À grande échelle se posent les questions des relations entre les domaines captifs et les domaines libres (zones de recharge ou d'échange avec le réseau hydrographique), des extensions latérales des épontes, et de l'ampleur et la localisation des drainances verticales entre réservoirs (Platel *et al.*, 2010). Autant de questionnements qui doivent en premier lieu être traités en précisant la lithologie des entités considérées ainsi que leur géométrie.

À l'échelle de chaque bassin versant hydrogéologique, ces questions sur les limites des aquifères et des échanges entre réservoirs sont également prégnantes. Elles ont par exemple été mises en avant sur les Sources du Toulon vers Périgueux par une approche couplée hydrodynamique et hydrochimique (Lorette, 2019) : ces Sources émergent de l'aquifère karstique libre du Crétacé supérieur (Turonien-Coniacien), mais elles bénéficient du soutien d'une ressource profonde et captive (Jurassique moyen),

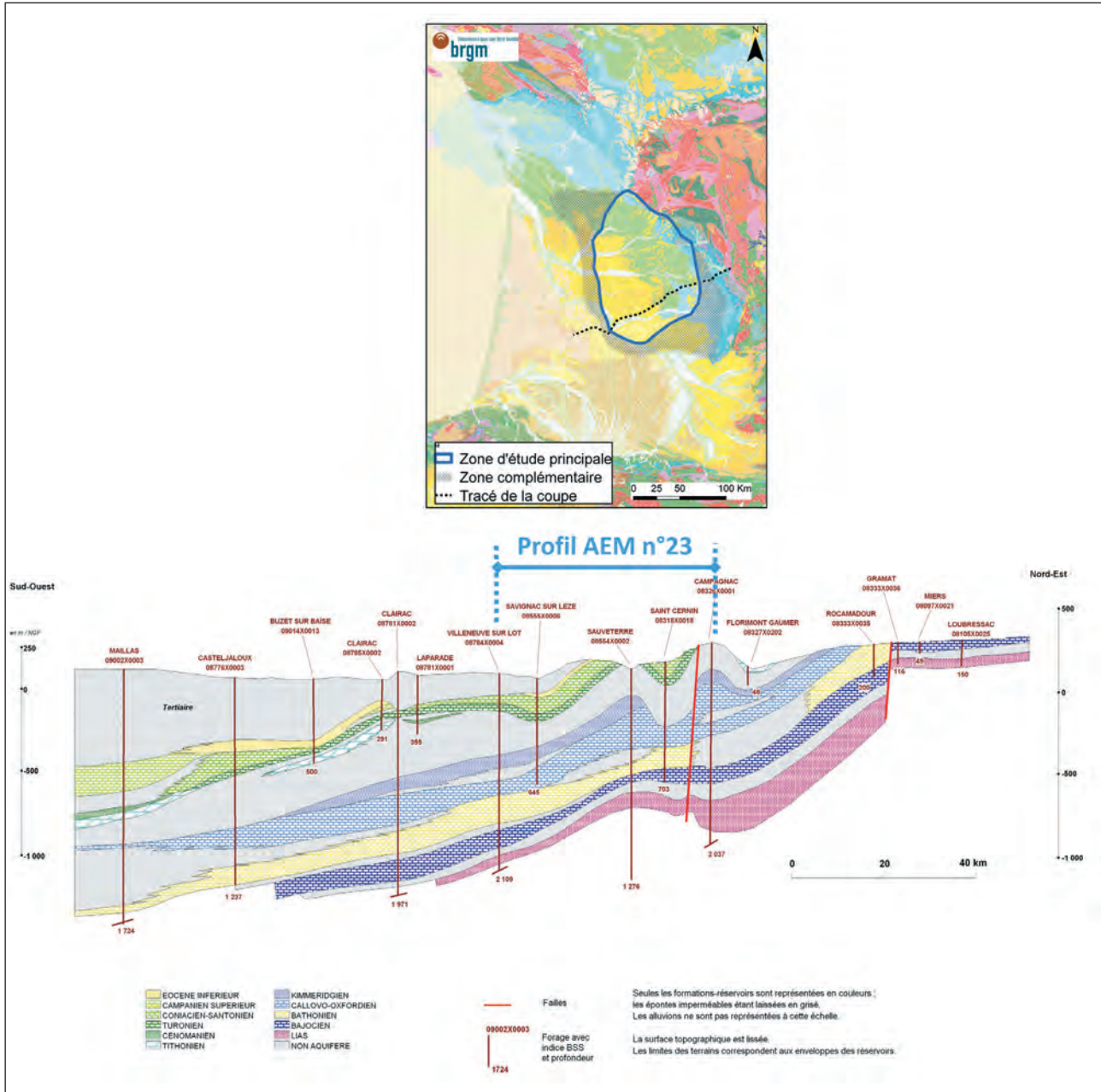


Figure 1. Périmètre d'étude du projet Eau-SCARS et coupe synthétique des principaux aquifères connus (Platel et al., 2010); indication sur la coupe de la portion commune avec le profil AEM n°23 fourni sur la Figure 3.

ce qui impose une révision de la délimitation de leur bassin d'alimentation. Au démarrage du projet, les limites des aquifères et les zones de connexions possibles entre réservoirs restent donc hypothétiques.

En réponse à l'ensemble de ces questionnements, le constat partagé par les acteurs est que les données existantes sont insuffisantes pour élaborer des réponses fiables. Les coupes géologiques régionales existantes (Platel et al., 2010) constituent un état de l'art qui fait référence sur les connaissances dans ce secteur, mais dont la fiabilité

est par nature limitée par les carences des données d'entrée : nombre restreint de forages disposant de descriptions lithologiques fiables et/ou de diagraphies différées, répartition hétérogène des forages parfois distants de plusieurs dizaines de kilomètres, présence de couvert végétal et de formations de recouvrement limitant les opportunités de validations lithologiques et structurales à l'affleurement.

Compte tenu de la capacité de l'électromagnétisme héliporté à ausculter le sous-sol sur un vaste territoire

re avec des contraintes d'accès minimisées, il est apparu pertinent de tester son application sur le domaine d'étude, et sa capacité à lever les questionnements exprimés.

## Retour d'expérience des acquisitions sur le territoire d'étude

### Modalités d'acquisition

La campagne d'acquisition AEM dans le cadre du projet Eaux-SCARS s'est déroulée du 9 au 16 septembre 2021. Environ 1 300 kilomètres de tracés ont été acquis, sur une emprise de plus de 5 600 km<sup>2</sup>. Le long de chaque ligne

de vol, une mesure électromagnétique a été prise sans discontinuer, à pas régulier, ce qui représente un point de donnée tous les 30 à 40 mètres.

Le plan de vol régional a consisté à réaliser de longs profils, dont une majorité (23) orientés sud-ouest/nord-est, avec un espacement de 6 kilomètres en moyenne entre chaque ligne (Fig. 2), et 3 orientés nord-ouest/sud-est. La phase préparatoire s'est avérée essentielle, pour contraindre les tracés à passer prioritairement par les forages fiables, d'où les déformations visibles sur certaines lignes. À noter également que des écarts existent entre le plan de vol théorique et celui réalisé ; ils sont dus à la présence d'obstacles au sol qu'il est interdit de survoler ou

pouvant induire un risque non négligeable pour la sécurité du pilote ou la poursuite de l'opération, tels que la présence d'habitations, d'élevages, de reliefs importants ; le survol des agglomérations est en outre interdit.

Une acquisition dédiée au bassin versant des Sources du Toulon (Périgueux) a également été effectuée, avec pour seul paramètre divergent l'espacement des lignes réduit à 400 m.

### Premiers constats

Tout d'abord, la capacité de la méthode et du dispositif choisi à imager le sous-sol jusqu'à des profondeurs de 400 à 500 m en domaine sédimentaire a pu être vérifiée. Localement, la comparaison avec les données ponctuelles en forage permet une bonne corrélation entre résistivité et gamma-ray, à l'exception des horizons d'épaisseur métrique, voire plurimétrique, notamment lorsque la profondeur augmente et que la résolution de la méthode diminue. Il faut noter également que l'empreinte des deux méthodes est très différente : elles ne voient pas le même environnement.

La méthodologie appliquée consiste à comparer l'empilement 1D des faciès et lithologies sur forages et affleurements aux données géophysiques, et ainsi de définir une signature d'électrofaciès pour ensuite tracer de manière continue les principales enveloppes lithologiques et/ou stratigraphiques le long

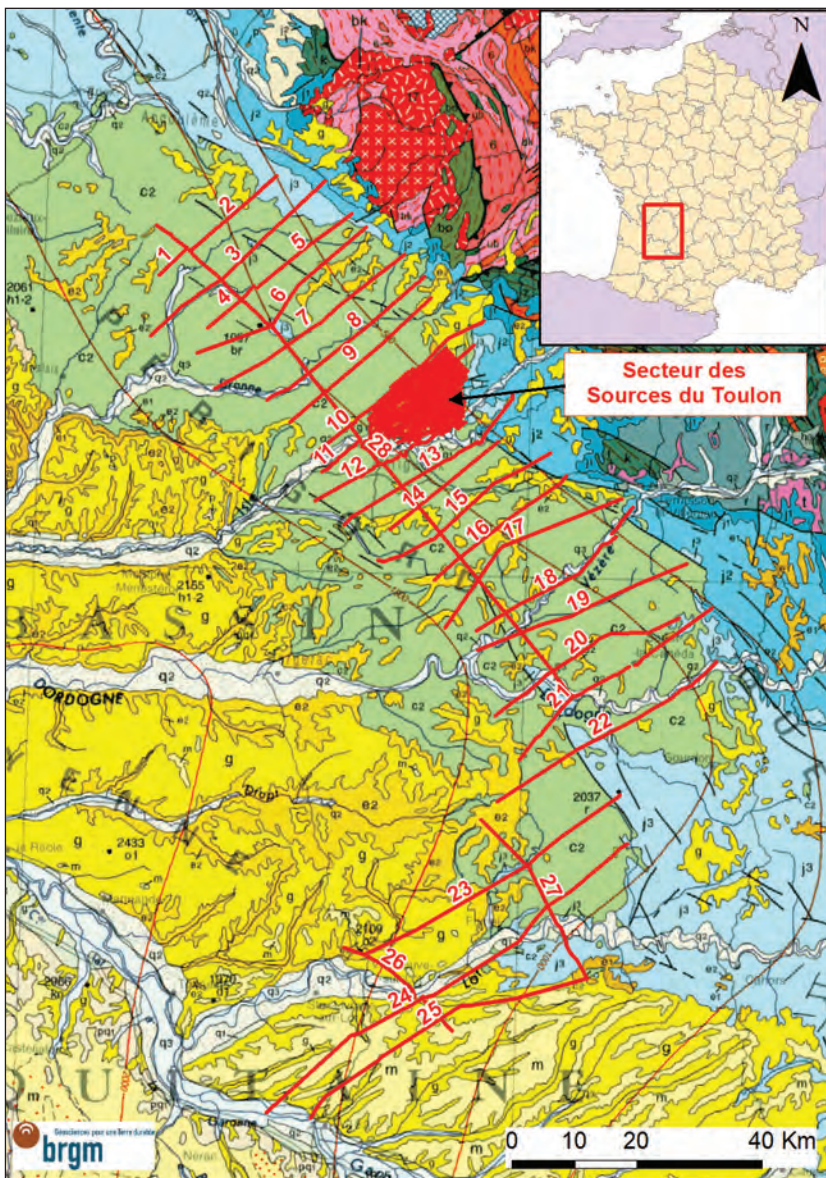


Figure 2. Localisation des profils d'acquisition sur le territoire d'étude (fond : carte géologique au 1/1 000 000).

des profils mesurés en 2D. Les grandes unités litho-stratigraphiques ont ainsi pu être identifiées sur les profils, notamment les principales épontes (aquitards ou aquicludes) marneuses ou argileuses qui apparaissent comme conductrices, par opposition aux ensembles aquifères (majoritairement carbonatés) résistants.

Au total, les profils de résistivité ont été transcrits en autant de coupes interprétées. L'interprétation s'est appuyée prioritairement sur l'identification d'horizons / intervalles-repères considérés comme majeurs à l'échelle de la zone étudiée.

C'est le cas par exemple au sein de la série jurassique, pour laquelle les données AEM distinguent nettement deux intervalles pluridécimétriques marneux : *i*) le Lias marneux (Toarcien) qui constitue l'éponte régionale principale et sépare le réservoir du Jurassique inférieur du réservoir du Jurassique moyen, puis *ii*) celui séparant ce dernier réservoir de celui du Kimméridgien supérieur (Fig. 3), correspondant à l'éponte du Kimméridgien inférieur qui semble s'être déposée de manière continue à l'échelle de la plateforme, même si elle a été ensuite érodée localement (au cours du Crétacé inférieur).

La diversité des réponses est plus marquée au sein de la série crétacée, les principaux niveaux argileux ou marneux sont également bien imagés sur les profils : Cénomaniens / Turoniens inférieurs, localement Coniacien inférieur, puis Santonien / Campanien. Néanmoins, la variabilité des faciès sédimentaires entraînant une multiplicité d'électrofaciès du multicouche crétacé, associée à une structuration complexe, complique l'interprétation si celle-ci n'est pas appuyée par des données géologiques de forage.

Concernant enfin la série tertiaire, à dominante argileuse, les remplissages sableux potentiellement aquifères se distinguent nettement sur les profils, d'autant plus qu'ils bénéficient de données de calage plus denses.

### Apports à l'échelle régionale

Constat majeur : les acquisitions effectuées fournissent de nouvelles contraintes spatiales qui conduisent à revoir la compréhension des agencements à grande échelle des aquifères et épontes du secteur. Là où les coupes régionales disponibles dans la littérature, par défaut de données, représentaient des réservoirs superposés tabulaires, de puissance globalement homogène et continue, et peu affectés par la tectonique à l'exception de quelques structures plissées et de quelques rares accidents majeurs, les données AEM montrent de fortes variations attribuables à une structuration tectonique plus importante qu'envisagée initialement. De plus, les pro-

files permettent d'imager un certain nombre de structures régionales sous couverture non identifiées et spatialisées à l'échelle régionale jusqu'alors, faute d'affleurements et de forages fiables.

En premier lieu, les profils AEM imagent bien la discordance liée à l'émersion au Crétacé inférieur (marquée par l'absence totale de dépôts datant de cet étage et par la surface d'érosion visible au toit du Jurassique), ainsi que ses implications hydrogéologiques. La Figure 3 illustre la discontinuité résultante au niveau des formations marneuses du Kimméridgien inférieur. Sur les secteurs où ces formations sont préservées, à l'ouest (de 0 à 5 000 m) et au centre de la coupe (de 23 500 à 33 000 m), elles constituent un imperméable relatif entre les aquifères du Jurassique moyen d'une part, et ceux du Kimméridgien supérieur et du Crétacé supérieur d'autre part. A contrario, l'absence de ces formations favorise la connexion hydraulique entre aquifères à deux titres : d'une part, car cet imperméable relatif est lacunaire entre les réservoirs, et d'autre part car l'affleurement des calcaires du Jurassique moyen a pu favoriser leur karstification dès leur émerision au Crétacé inférieur.

D'autre part, des structures majeures, impliquant des déplacements verticaux localement importants (accidents ouest-quercynois, anticlinal de Mareuil) étaient connues et représentées sur la carte géologique à l'échelle du 1/1 000 000. Vraisemblablement héritées de l'orogénèse varisque, et réactivées plusieurs fois au cours de l'histoire méso-cénozoïque, la continuité de ces structures et la géométrie de ces failles dans la couverture sédimentaire jurassique et crétacée ne sont souvent pas tracées sur des distances importantes, faute de données (en particulier d'affleurements). Les profils AEM permettent de prolonger le tracé de ces failles majeures à plusieurs endroits et mettent en évidence une structuration bien plus complexe qu'attendue, suggérant une alternance de nombreuses zones effondrées et surélevées qui sont compatibles avec une réactivation de ces failles selon une tectonique décrochante.

Ainsi, les profils AEM soulèvent l'hypothèse d'une phase tectonique synsédimentaire au Crétacé supérieur (Coniacien ?), exprimée selon des structures nord-ouest/sud-est identifiées par des contrastes de résistivité significatifs. Bien que l'existence de cette tectonique soit connue (Platel, 1987), l'amplitude de ces rejeux semble bien supérieure à celle envisagée jusqu'à présent, une grande partie de ces structures étant recouverte par les dépôts campaniens (voire santoniens) qui scellent cette phase tectonique. Ces structures impliquent un rejet conséquent des dépôts jurassiques et des variations d'épaisseur dans le Crétacé supérieur (encore à définir

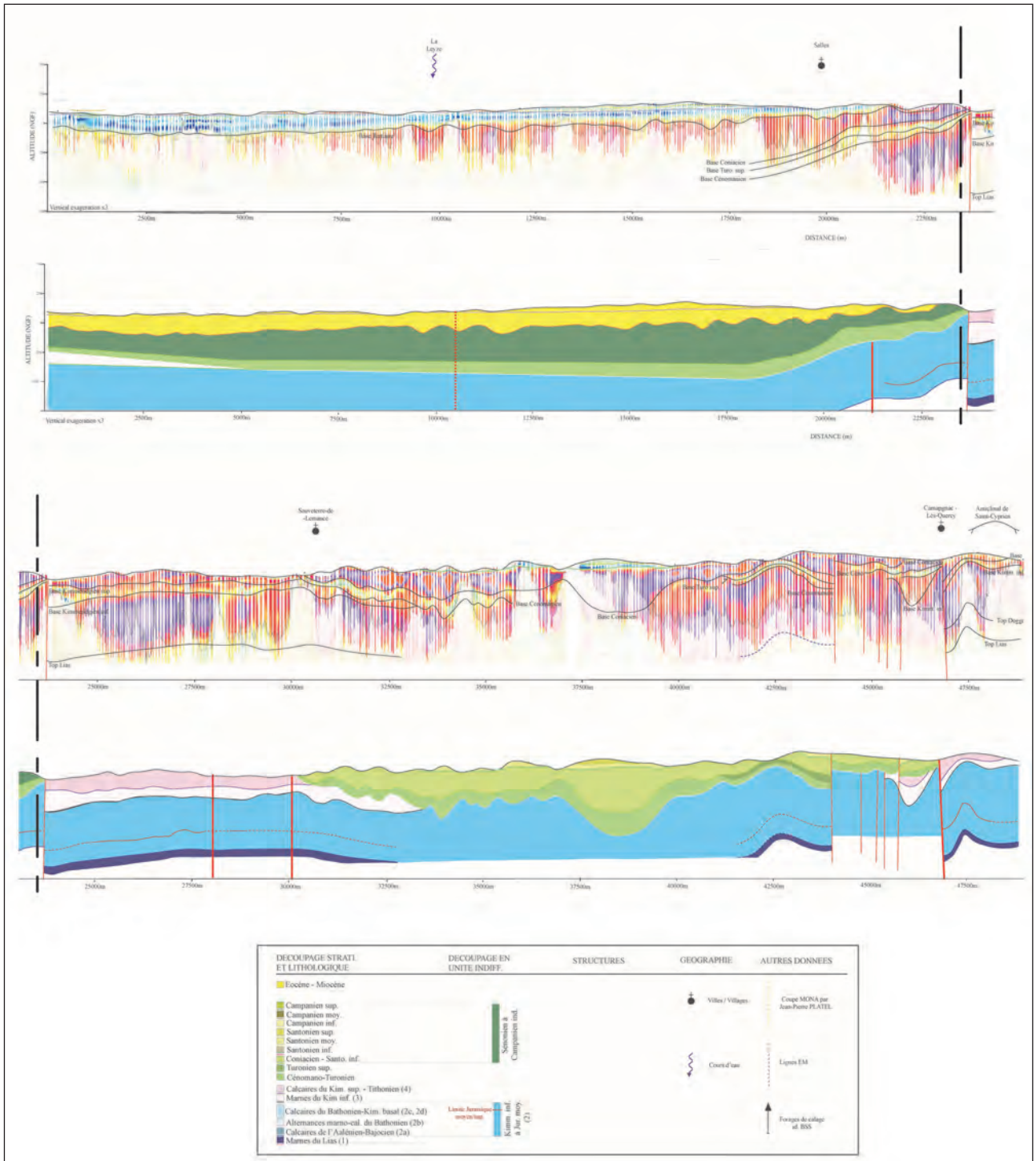


Figure 3. Profil AEM n°23 du projet Eaux-SCARS obtenu après traitement des données acquises (en haut) et interprétation litho-stratigraphique associée (en bas).

précisément entre le Turonien supérieur et le Santonien), visibles sur le profil AEM n°6 (Fig. 4). C'est le cas également sur le profil n°16 (Fig. 5) : l'interprétation amène à tronquer la série crétacée sous le Campanien et les altérites sur la moitié est du profil (au-delà de 13 000 m de distance), du fait du soulèvement des séries jurassiques, qui

seraient même proches de l'affleurement en milieu de profil.

Néanmoins, les accidents impliquant des rejeux mineurs, sans contraste net de résistivité de part et d'autre du plan de faille, ne sont souvent pas visibles sur les profils AEM ; c'est le cas pour certaines failles issues des cartes

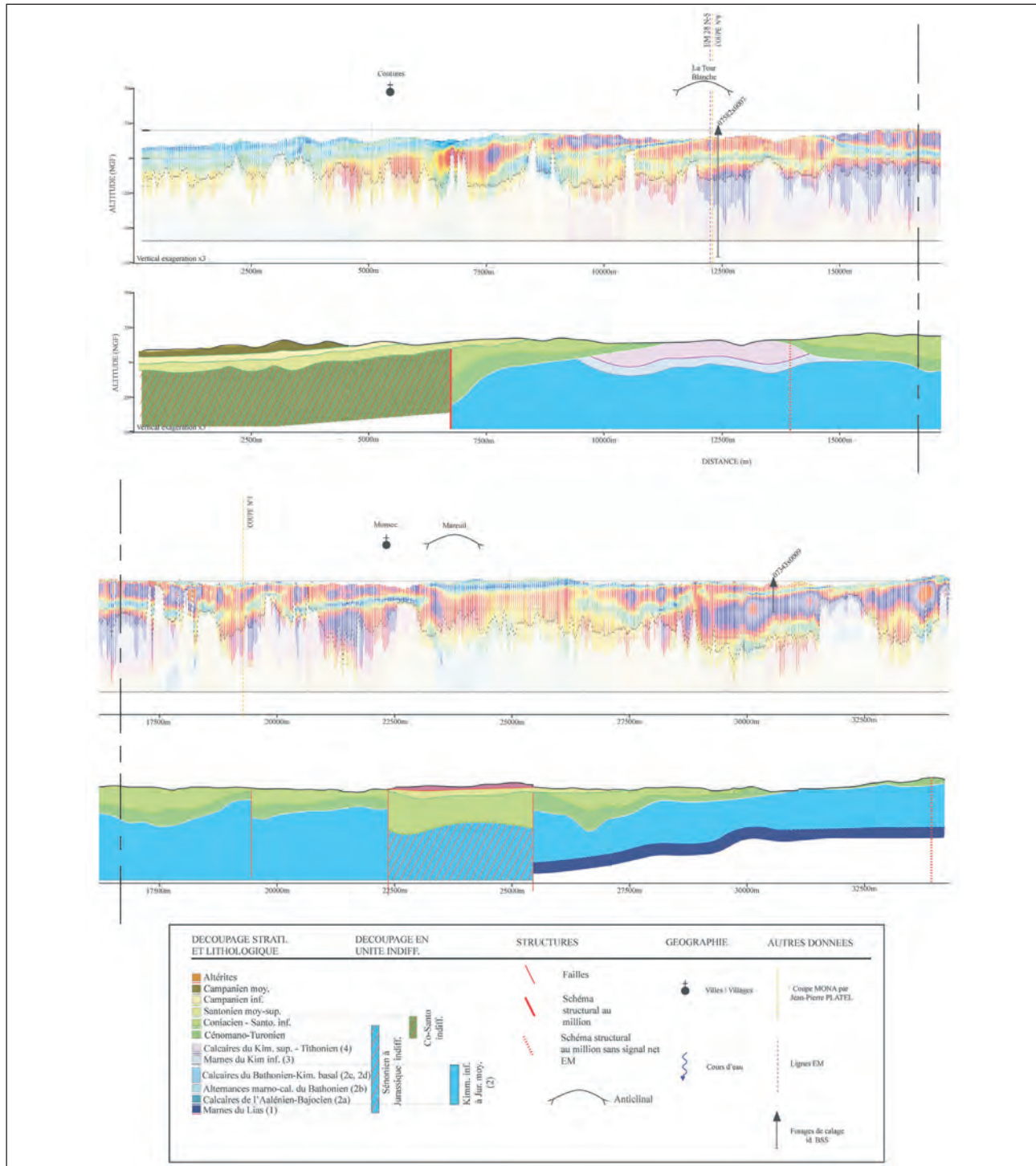


Figure 4. Profil AEM n°6 du projet Eaux-SCARS obtenu après traitement des données acquises (en haut) et interprétation litho-stratigraphique associée (en bas).

géologiques réalisées à l'échelle du 1/50 000. De ce fait, et plus globalement en lien avec les limites inhérentes à la méthode qui repose sur l'identification d'électrofacès, pas toujours univoques, les acquisitions effectuées avec ce maillage régional ne permettent pas d'appréhender les structures de détail dans toute leur complexité géomé-

trique, lorsqu'elles ont des extensions limitées. Ceci nécessiterait de disposer de données de calage plus denses sur les secteurs considérés.

Cette campagne a permis de mettre en évidence une importante structuration sous couverture, qui induit nécessairement une compartimentation marquée des

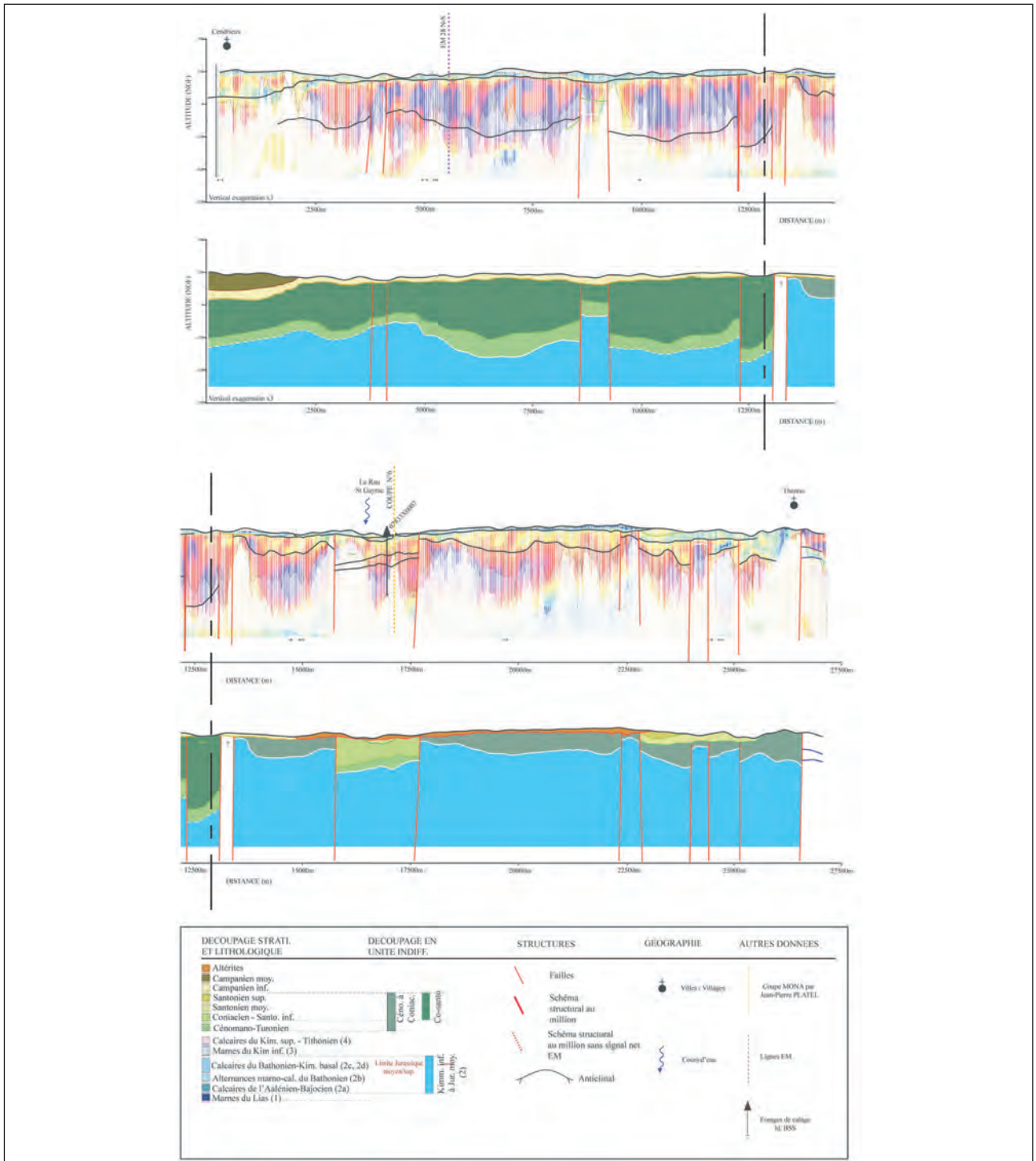


Figure 5. Profil AEM n°16 du projet Eaux-SCARS obtenu après traitement des données acquises (en haut) et interprétation stratigraphique associée (en bas).

aquifères jurassiques et crétaçés. Au-delà de la seule compartimentation des réservoirs, se pose la question des fonctions hydrogéologiques de chacun de ces accidents, autant latéralement (perméable ou limite étanche ?) que verticalement (drain favorisant les échanges verticaux ?) ; cette question sera abordée avec l'apport des autres

investigations déployées dans le cadre du projet.

À titre d'exemple et d'illustration complémentaire sur les implications hydrogéologiques des interprétations menées à partir des données AEM, le profil n°6 (Fig. 4) image une géométrie complexe sur l'une des structures majeures du territoire d'étude : l'anticlinal de La Tour



## LES TECHNIQUES D'INVESTIGATION

Blanche (autour de 12 500 m de distance sur le profil), hérité d'une structuration polyphasée dont la première phase est antérieure aux dépôts du Crétacé supérieur. Les différents étages stratigraphiques sont par conséquent affectés différemment par les réactivations de la structure. Aussi, s'il était déjà établi que l'aquifère carbonaté du Kimméridgien supérieur affleurerait au cœur de l'anticlinal, le profil met en évidence *i)* que son extension en profondeur est limitée par l'éponte du Kimméridgien inférieur et *ii)* qu'avec une géométrie pseudo-synforme dont le toit est recoupé en discordance par le Cénomaniens, les dépôts du Kimméridgien inférieur et supérieur présentent une extension latérale limitée dans ce secteur, notamment sur les flancs sud-ouest et nord-est de l'anticlinal. Ainsi, les dépôts discordants du Cénomaniens, qui constituent également un imperméable relatif, confèrent localement au réservoir du Jurassique moyen sous-jacent une situation d'aquifère captif ; si cette géométrie se confirme en 3 dimensions, toute réalimentation directe du Jurassique moyen sur le secteur de l'anticlinal sera *de facto* exclue.

Enfin, il est intéressant de constater que les acquisitions permettent d'identifier de manière très distincte deux types d'aquifère dans le remplissage cénozoïque : d'une part des paléo-vallées incisées à la base de la série

(70 m de profondeur) dans la partie sud de la zone étudiée (secteur d'Agen et de Villeneuve-sur-Lot), et d'autre part des grands épandages terrigènes au nord de la Dordogne. Ces apports terrigènes marquent respectivement deux phases de soulèvement du bloc quercynois à l'Éocène supérieur et à l'Oligocène supérieur, et probablement une réactivation des structures nord-ouest/sud-est. Ils constituent autant de cibles potentielles pour la diversification des ressources en eau souterraine.

### Apports sur un territoire d'étude restreint : le secteur des Sources du Toulon

Les acquisitions portées sur *les Sources du Toulon* (Fig. 6) sont encore en cours d'interprétation, toutefois il est intéressant d'exposer les premiers constats en regard de ceux établis sur l'acquisition régionale.

En premier lieu, le resserrement des lignes (espacement de 400 m) permet une exploitation et une mise en cohérence de l'ensemble des détails observables sur chaque profil : continuité des épontes, schéma structural et mise en relation des différents aquifères/épontes.

Plusieurs faisceaux de failles dont les orientations sont globalement nord-ouest/sud-est sont mis en évidence par la corrélation des profils. C'est le cas par exemple

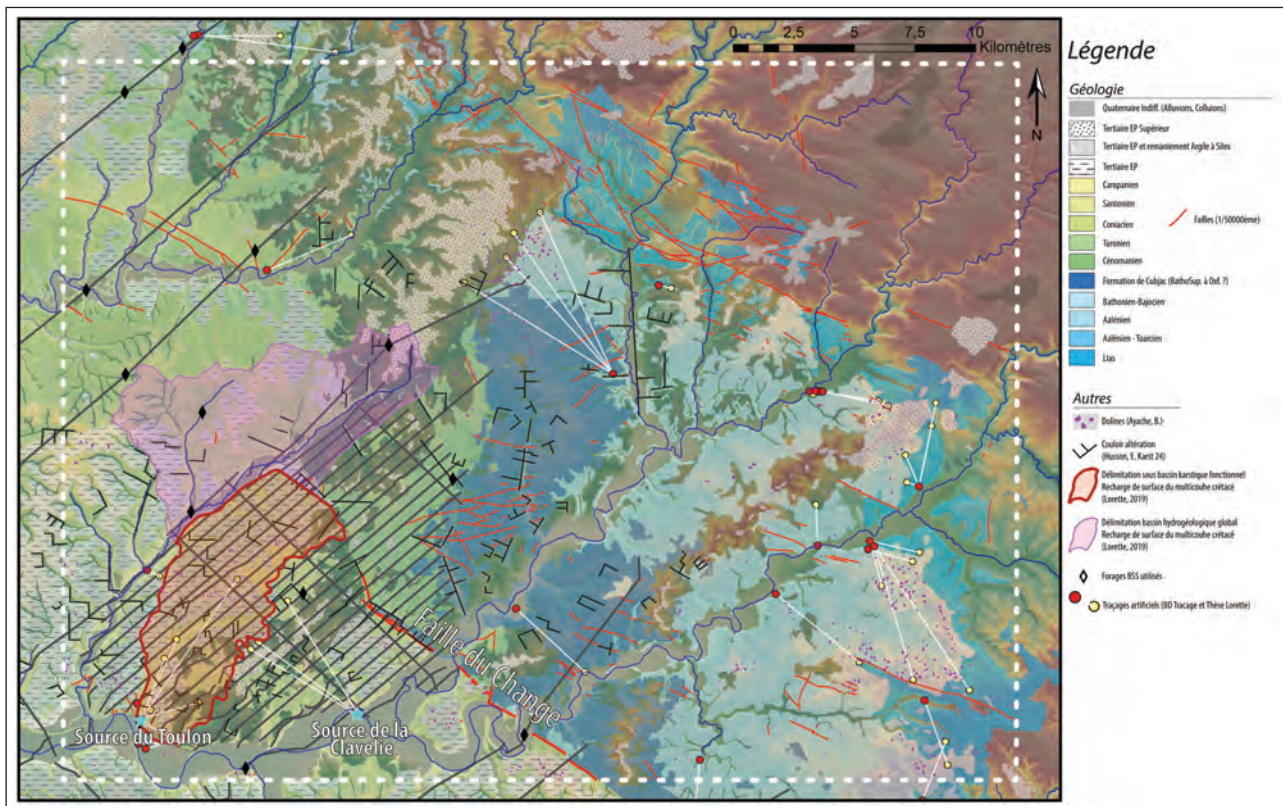


Figure 6. Localisation des acquisitions électromagnétiques sur le secteur des Sources du Toulon et principaux constats hydrogéologiques antérieurs.

pour la faille du Change, de direction N145° en bordure est de la zone d'étude, qui est identifiée dans la littérature comme un accident majeur sur le bassin versant, avec un rejet de l'ordre de 150 m qui porte à l'affleurement les calcaires du Jurassique moyen à l'est. D'une part, les acquisitions montrent que la branche nord de la faille se prolonge au nord sur au moins 5 km, sous recouvrement (Santonien-Campanien et colluvions), et se scinde en plusieurs failles conjuguées. De plus, cette faille du Change montre de nombreuses ramifications (jusqu'à 4/5 faisceaux de failles) qui n'avaient pas été identifiées en surface. L'interprétation des profils confirme que l'aquifère karstique libre du Turonien-Coniacien se retrouve bien en regard de l'aquifère du Jurassique moyen, de part et d'autre de la faille : si la faille ne constitue pas une limite étanche, la communication entre ces aquifères est envisageable sur tout le linéaire de l'accident.

Une autre structure est axée sur **la source de la Clavelie** au sud. Elle est concordante avec un axe de drainage mis en évidence par des traçages (Lorette, 2019), qui exclut tout le secteur sud-est de la zone d'étude du bassin d'alimentation des Sources du Toulon.

L'autre apport majeur de l'acquisition sur ce bassin versant est l'identification de nombreuses structures traversant l'éponte cénomaniennne, là où les schémas de fonctionnement existants de la ressource ne considèrent que des structures plissées entre la faille du Change et l'exutoire, avec des aquifères superposés bien individualisés. Concernant l'interprétation des profils en termes d'altération ou de karstification, il est encore difficile à ce stade de déconvoluer le signal de résistivité afin d'attribuer une signature géophysique fiable à ces processus. Cependant quelques indices de changement de valeur de résistivité sous des zones de forte concentration de dolines semblent indiquer des morphologies d'altération sous couverture sur les premières dizaines de mètres des roches carbonatées.

## Perspectives d'application de l'électromagnétisme hélicoptère pour la connaissance et la gestion des aquifères sédimentaires

Ces acquisitions conduites dans le cadre du projet Eaux-SCARS établissent clairement l'intérêt des acquisitions électromagnétiques aéroportées en hydrogéologie, en domaine sédimentaire. En effet, elles permettent de fixer un socle de compréhension préalable à la mise en place d'une gestion étayée des ressources en eau souterraine sur un territoire donné.

La capacité à couvrir une grande partie d'un territoire par des profils continus, avec des contraintes d'accès modérées, et dans des gammes de profondeur adaptables et compatibles avec les objets d'étude usuels, est un premier atout. Les résultats bruts exprimés en profils de résistivité permettent d'imager des contrastes directement liés aux lithologies, et donc de discerner les lithologies potentiellement aquifères des formations peu perméables. Il reste cependant important de prendre en considération que : *i*) d'une part la résolution verticale diminue avec la profondeur, et ne permet parfois plus de différencier certains horizons marqueurs, bien que géologiquement continus, et *ii*) d'autre part la mesure de résistivité a un caractère intégrateur car, outre la lithologie, elle peut être affectée par l'altération, la cimentation des formations ou encore leur degré de fracturation, qui sont difficiles à déconvoluer en l'absence d'autres données/connaissances. C'est pourquoi la compréhension de l'agencement des aquifères et de leurs limites doit s'inscrire dans un processus de mise en cohérence avec les connaissances et données géologiques du secteur d'étude (forages disponibles dont diagraphies différées, données de surface), et d'autre méthodes géophysiques complémentaires. À titre d'illustration, la résolution obtenue sur la Figure 3 en regard des connaissances antérieures (coupe sur la Figure 1) est particulièrement parlante sur les avancées permises par la méthode.

Ces avancées incluent la délimitation des secteurs du territoire sur lesquels la robustesse de l'interprétation reste limitée, par le dispositif choisi et/ou par la qualité des données géologiques déjà à disposition. Un point de vigilance réside en effet dans le choix initial du dispositif, qui doit être adapté aux aquifères étudiés et aux questionnements posés : d'une part en termes de profondeur et de résolution verticale, et d'autre part en termes d'espacement des lignes d'acquisition. L'approche adoptée pour le projet Eaux-SCARS à échelle régionale par exemple, avec des profils très espacés, permet une vision en trois dimensions à grande échelle des principaux ensembles aquifères et remplit donc son objectif. Mais le constat est que chaque profil pris individuellement montre des variations de résistivité à une résolution bien plus fine ; à ce stade, ces variations ne sont pas toutes comprises car elles peuvent être liées à de nombreux paramètres, mais elles apportent des questionnements nouveaux et focalisés sur la compréhension géologique de certains secteurs. Les réponses ne pourront être apportées que par des investigations géologiques complémentaires, ciblées sur ces secteurs (forages, analyses de terrain, autres méthodes géophysiques...), qui permettront de calibrer et contraindre localement ces profils pour affiner l'interprétation.

## LES TECHNIQUES D'INVESTIGATION

D'autre part, dans le cadre du projet Eaux-SCARS, l'ensemble des constats exposés sera confronté aux données issues des campagnes de mesures et des suivis temporels à long terme dans les nappes et les eaux de surface du secteur étudié, à différentes échelles : piézométrie, hydrométrie, hydrochimie et isotopie ; appuyé par la réinterprétation de nombreux pompages d'essai, un schéma cohérent de fonctionnement des aquifères du secteur sera proposé, en cartographiant les zones de connexion hydraulique entre réservoirs, leur compartimentation, leur modalité d'alimentation. L'évolution de la compréhension structurale régionale nécessitera de réviser la géométrie du modèle hydrodynamique de gestion opérationnelle des nappes du Secondaire du Bassin nord-aquitain.

### Bibliographie

- Dumont M., Reninger P.-A., Pryet A., Martelet G., Aunay B. et Join J.-L., 2018. Agglomerative hierarchical clustering of airborne electromagnetic data for multi-scale geological studies. *Journal of Applied Geophysics* 157, 1-9.
- Esben A., Boesen T. et Christiansen A.-V., 2017. Chapter Two - A review of Airborne Electromagnetics Methods With Focus on Geotechnical and Hydrogeological Applications From 2007 to 2017. *Advances in Geophysics*, 58, 47-93 (<https://doi.org/10.1016/bs.agph.2017.10.002>).
- Lorette G., 2019. Fonctionnement et vulnérabilité d'un système karstique multicouche à partir d'une approche multi-traceurs et d'un suivi haute-résolution: application aux Sources du Toulon à Périgueux (Dordogne, France). *Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, Université de Bordeaux*.
- Platel J.-P., 1987. Le crétacé supérieur de la plate-forme septentrionale du Bassin d'Aquitaine : stratigraphie et évolution géodynamique. *Thèse d'État, Université de Bordeaux*.
- Platel J.-P., Pédrón N., Gomez E. et Saltel M., 2010. Perspectives de gestion des nappes du Secondaire en Agenais-Périgord. Synthèse géologique et hydrogéologique, modélisation hydrodynamique. *Rapport final BRGM/RP-59330-FR*, 217 p.
- Vittecoq B., Reninger P.A., Bellier V., Taïlamé A.L., Nascimento L., Gros E. et Violette S., 2023. Montagne Pelée volcano (Martinique, in the French Lesser Antilles) hydrogeological system revealed by high resolution helicopter borne electromagnetic imagery. *Hydrogeology Journal*, 31, 1331-1352 (<https://doi.org/10.1007/s10040-023-02642-5>).

# CATHODYNE

Cathodoluminescence - Optique

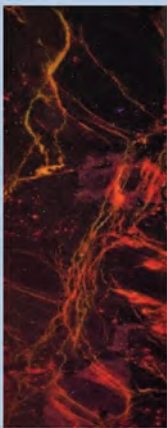
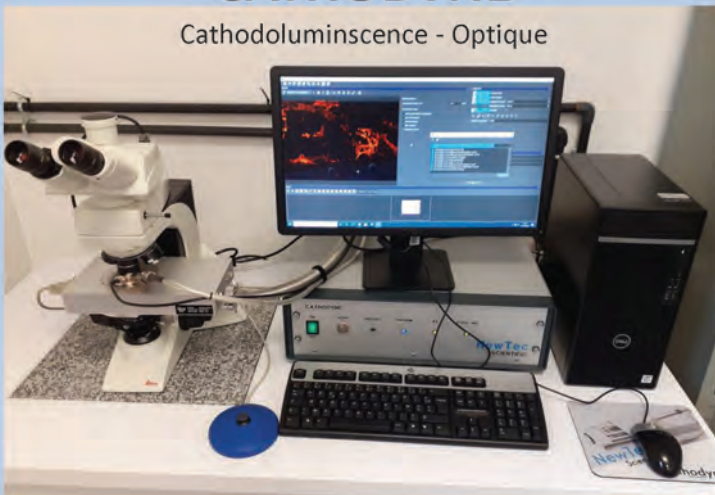
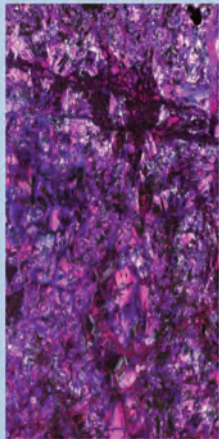


Image 12,5mm x 5mm  
Objectif x10





[www.newtec.fr](http://www.newtec.fr)

NewTec Scientific 2 route de Sommières – F-30820 CAVEIRAC – Phone: +33 (0)4 66 62 33 04 - contact : [ste@newtec.fr](mailto:ste@newtec.fr)

**NewTec**  
Scientific