

# Approche de la vulnérabilité des aquifères karstiques par méthodes géophysiques : application au système karstique de la Doux d'Issepts.

Christophe SUBIAS

CALLIGEE SUD OUEST, Le prologue 2 – Labège Innopole, BP 2714 – 31312 LABEGE CEDEX  
[c.subias@calligee.fr](mailto:c.subias@calligee.fr)

## INTRODUCTION

On note actuellement une forte préoccupation en matière de protection des captages en alimentation en eau potable (AEP) notamment en pays quercynois où la ressource en eau captée est représentée majoritairement par des sources karstiques réputées vulnérables à toutes pollutions de surface.

Pour cela, des méthodes de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque (EPIK, RISK) en milieu karstique ont été développées et fournissent une aide précieuse dans le cadre de la mise en œuvre des périmètres de protection des captages AEP. Ces différentes approches supposent une bonne connaissance de la répartition spatiale des zones d'infiltration préférentielles et une vue globale sur la nature et le fonctionnement de la roche aquifère. Elles nécessitent aussi une connaissance précise de la densité et de l'organisation de la fracturation de la roche ainsi que l'épaisseur et la nature de la couverture protectrice (Valois, 2008).

Ces paramètres sont souvent difficiles à déterminer notamment dans le cadre de karsts dits sous couverture où la roche aquifère est recouverte de matériaux meubles qu'il s'agisse d'altérations récentes ou anciennes (placage argileux ou marneux) ou d'alluvions modernes ou anciennes. Il est donc nécessaire de tester et développer des méthodologies adaptées à ces contraintes et qui permettrait de « radiographier » l'état du sous-sol sans passer par des méthodes dites destructives (forage, carottages ou sondages à la pelle).

Les nombreuses méthodes géophysiques disponibles actuellement permettent des investigations précises et rapides du sous-sol et peuvent constituer des outils efficaces en hydrogéologie karstique (Al Farès et al., 2002, Rey, 2007, Biro, 2005, Guérin 2005). Les prospections géophysiques, qu'elles soient naturelles (gravimétrique, magnétiques...) ou provoquées (électriques, électromagnétiques, sismiques...) permettent une approche plus locale de la vulnérabilité en terrain calcaire. En effet, elles peuvent, dans certains cas, apporter une connaissance plus précise de la géométrie du réservoir (limites imperméables, axe de drainage...) et de la distribution spatiale de la perméabilité à travers les épaisseurs de recouvrement et la fracturation de la roche.

## CONTEXTE DE L'ETUDE

La source de la Doux d'Issepts (**photo 1**) est captée par le Syndicat AEP de Livernon regroupant 9 communes et alimentant près de 1750 abonnés avec près de 250 000 m<sup>3</sup> pompés par an.

La zone d'études s'inscrit dans la région du Limargue, bande étroite de terrains calcaires liasiques, séparant le causse de Gramat à l'Ouest du Ségala cristallophyllien à l'Est (**fig.1**). Ces terrains s'étendent entre les vallées de la Dordogne et du Lot. L'ensemble du secteur est drainé par le ruisseau d'Assier et le ruisseau du Francès qui se perdent au contact des calcaires Jurassique du causse de Gramat respectivement à Assier et à Théminette (voir **fig. 3**).

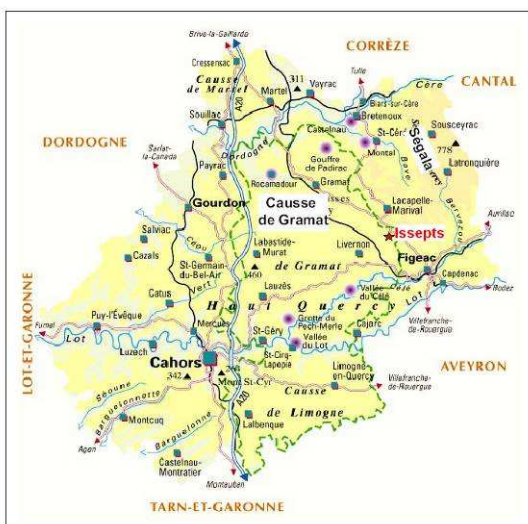


Fig. 1 : Localisation du captage d'Issepts

Photo 1 : Captage de la Doux



Les calcaires dolomitiques et les calcarénites de l'Hettangien supérieur et du Sinémurien forment un réservoir aquifère à porosité de fissure et de chenaux karstique (Astruc 2001). Celui-ci s'enfonce en direction de l'Ouest, sous le Lias moyen et supérieur argilo-marneux et devient captif. L'Hettangien basal (argile et grès) constitue le mur de l'aquifère.

L'alimentation du système se fait par les pluies efficaces s'infiltrant sur le Limargue et par des pertes ponctuelles ou diffuses (dolines, vallées sèches) jalonnant le plateau. Le drainage principal des eaux se fait au Nord vers la source de Biscot et au Sud vers la Doux d'Issepts qui nous intéresse plus particulièrement (voir **fig. 3**)

L'accident tectonique majeur est la faille de Flaujac - Le Bourg, de direction Est-Ouest. Cette faille provoque au Sud, la remontée des terrains imperméables de l'Hettangien inférieur les mettant directement en contact avec la série aquifère du Sinémurien et de l'Hettangien supérieur. Elle joue alors un rôle important dans l'organisation Nord-Sud des écoulements souterrain. En effet, au Nord de cet accident, les eaux souterraines vont être drainées vers l'Ouyse et par conséquent vers la Dordogne, tandis qu'au Sud, elles vont se diriger dans la Dournelle et donc vers le Lot.

La faille d'Assier qui sépare le Causse Sud, jouerait un rôle beaucoup plus ambigu sur la circulation des eaux souterraines. En effet, elle pourrait constituer une barrière hydraulique à la circulation des eaux souterraines et réduire considérablement la zone d'alimentation de la Doux.

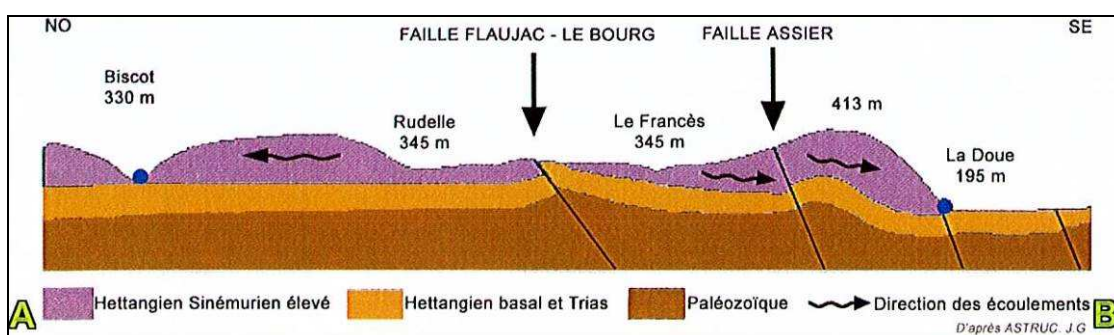


Fig. 2 : Coupe géologique NW – SE (d'après J.G Astruc, voir localisation en pointillé rouge fig. 3)

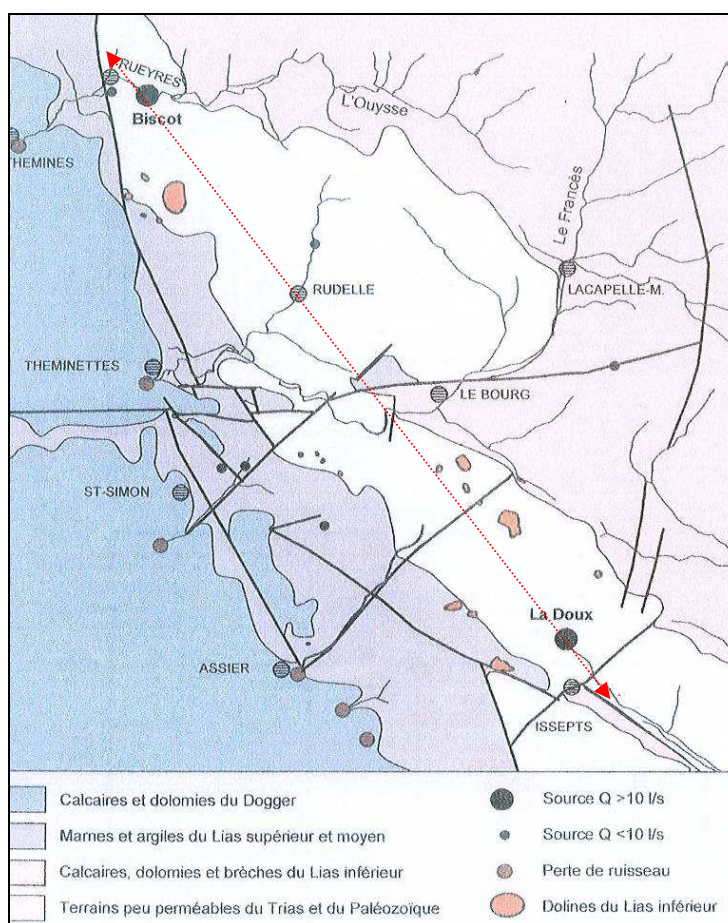


Fig. 3 : Contexte géologique global (d'après J.G Astruc)

## OBJECTIF DE L'ETUDE

L'objectif de l'étude était donc de proposer au Syndicat des méthodes simples et peu coûteuses permettant d'apprécier la vulnérabilité de l'aquifère sur un secteur qui s'étendait autour de la faille d'Assier, point essentiel et problématique de la zone.

La prospection géophysique s'est montrée tout à fait adaptée à cette problématique. En effet, les observations de terrain (géologique, géomorphologiques) faisaient énormément défauts et aucun suivi des débits ne permettait d'approcher le fonctionnement de l'aquifère karstique capté. De plus, les traçages effectués au Nord de la faille n'ont donné aucun résultat positif lié en grande partie aux recouvrements altéritiques marneux tapissant le fond des dolines ou des vallées sèches.

Les investigations géophysiques devaient donc répondre à plusieurs problèmes :

1. préciser la géométrie de l'aquifère
2. caractériser la zone épikarstique
3. définir les structures morphologiques superficielles (remplissages des dolines),
4. cartographier les zones d'infiltration préférentielles.

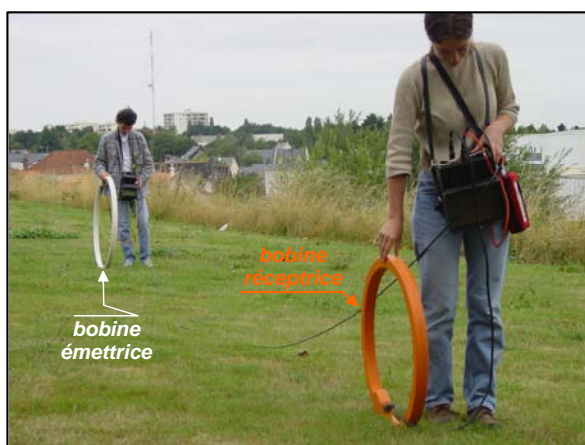
Ces résultats devaient donc orienter l'hydrogéologue agréé en charge de la délimitation des périmètres sur la nécessité d'étendre ou non sa zone de protection rapprochée, au-delà de la faille d'Assier.

## METHODOLOGIE APPLIQUEE

Deux méthodes ont été mises en œuvre : il s'agit de la **prospection électromagnétique EM34-3** et la **prospection électrique**.

La **méthode électrique** est basée sur la mesure en surface de l'intensité et de la différence de potentiel existant entre les différentes électrodes du dispositif (Rey, 2007, Valois 2008). Le rapport de ces deux paramètres permet de calculer la résistivité électrique apparente du sous-sol. Dans le cadre de la méthode dite du panneau électrique, la mesure de la résistivité se fait en différents points d'une flûte comptant jusqu'à 64 électrodes. Cette technique propose donc une exploration à la fois verticale et horizontale du sous-sol au cours d'un seul cycle d'acquisition de données, sans manipulation du dispositif.

Le principe de l'EM34-3 (Borne, 1990) est de créer par l'intermédiaire d'une bobine émettrice, un courant électrique oscillant produisant lui-même une onde électromagnétique qui induit dans le sol un champ électrique et magnétique secondaires (équations de Maxwell). Cette méthode dite à grand rendement peut être utilisée pour la prospection de grandes surfaces et permet de dresser rapidement des cartes de résistivités à plusieurs profondeurs, suivant la géométrie du dispositif et donc la position des bobines (voir photos suivantes).



Mesure EM34 : Equidistance 10 m, mode dipôle horizontal



Mesure EM34 : Equidistance 10 m, mode dipôle vertical

Photo 2 : Mise en œuvre du conductivimètre EM34

## PRINCIPAUX RESULTATS

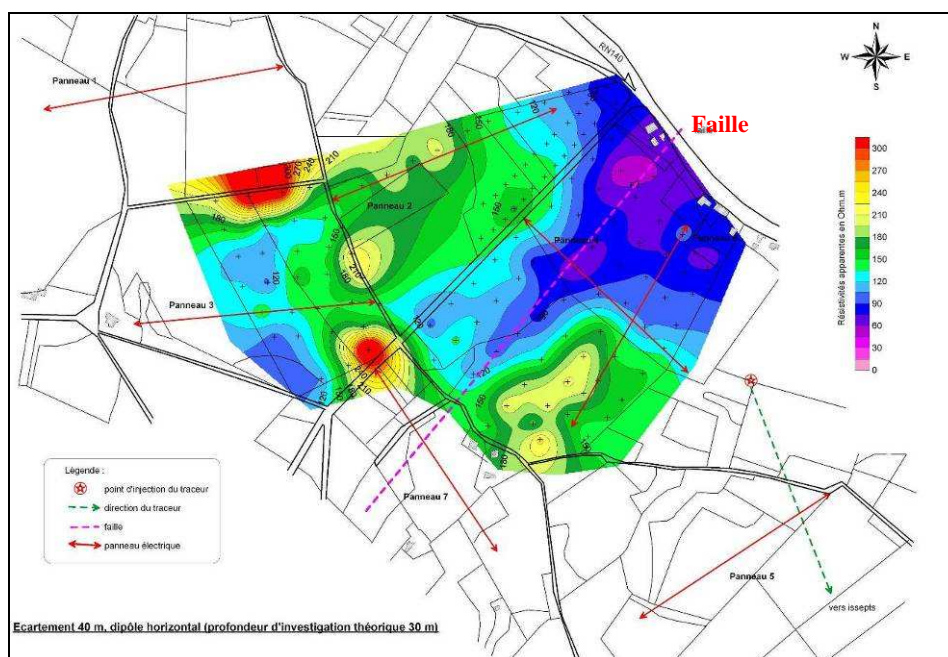
Les cartes EM34 présentées plus bas résultent d'interpolations mathématiques entre les profils qui ont permis de tracer les courbes d'isorésistivités. Le paramétrage des données d'interpolation doit être soigné pour s'affranchir de la disparité spatiale des mesures, inhérente à la maille utilisée. Les classes de résistivité et le dégradé de couleur correspondent, en rouge aux valeurs les plus résistantes et en rose aux valeurs les moins résistantes.

La cartographie a été effectuée par profils espacés de 40 m. Sur les deux premiers profils, les points de mesures sont espacés de 20 m. Sur les autres, les points sont séparés de 40 m les uns des autres. La prospection a totalisé 133 points de mesure.

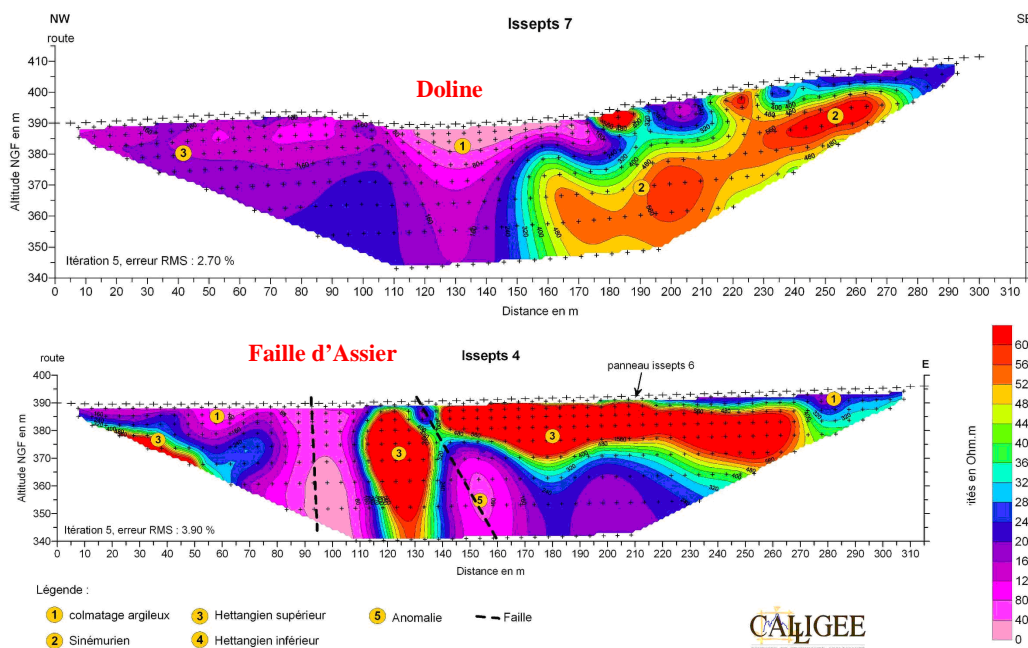
Les mesures sont ici réalisées avec 2 dispositifs permettant des profondeurs d'investigation théoriques croissantes :

- 40 m dipôle horizontal pour une profondeur d'investigation de 30 m,
- 40 m dipôle vertical pour une profondeur d'investigation de 60 m.

Le dispositif électrique utilisé est de type Wenner avec 64 électrodes équidistantes de 5 m soit une profondeur d'investigation théorique de 50 m environ. Les résultats sont présentés sur les **fig. 4 à 7**.



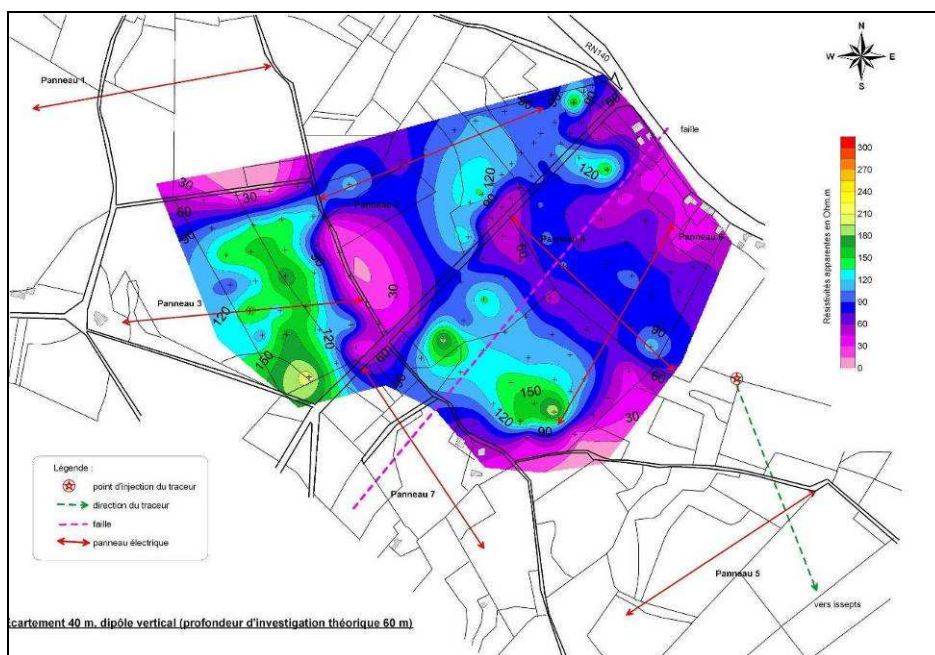
**Fig. 4: Cartographie par EM34, écartement des bobines 40 m, dipôle horizontal, profondeur d'investigation théorique : 30 m**



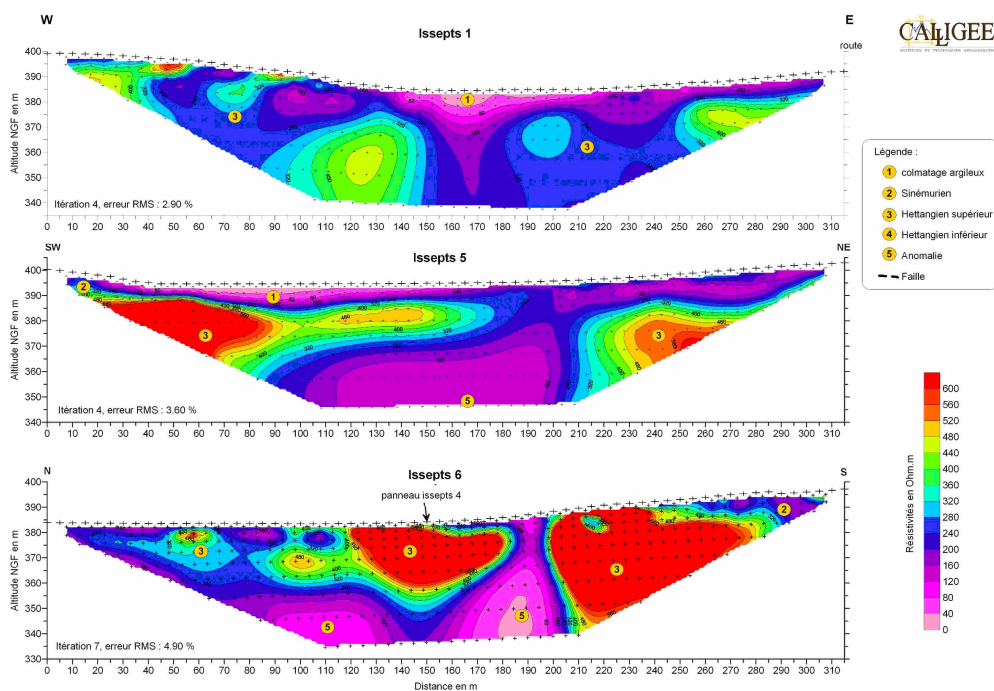
**Fig. 5 : Résultats des panneaux électriques 4 et 7**

La prospection EM34 permet de confirmer (**fig. 4**) :

- Un secteur à fortes résistivités (120 et 340  $\Omega$ .m) caractérisant les calcaires Hettangien sub-affleurant. Les plus basses valeurs représentent d'une part les colmatages argileux de fond de doline (voir panneau 7) et d'autre part les calcarénites de transition entre le Sinémurien et l'Hettangien jusqu'à une trentaine de mètres de profondeur.
- Une bande orientée NNE-SSW à faible résistivité (40 à 120  $\Omega$ .m) matérialisant la faille d'Assier (confirmée par le panneau 4) et décalée par rapport à l'emplacement de la carte géologique d'environ 90 m au Sud et à l'Est de la route.



**Fig. 6 : Cartographie par EM34, écartement des bobines 40 m, dipôle vertical, profondeur d'investigation théorique : 60 m**



**Fig. 7 : Résultats des panneaux électriques 1, 5 et 6**

Les mesures enregistrées par le dispositif EM34 en mode vertical (**fig. 6**) sont fortement influencées par les terrains en profondeur. Les résistivités s'échelonnent dans une gamme moins large (15 à 210  $\Omega$ .m).

Au premier regard on remarque que la plupart des môles résistants observés sur la carte précédente sont ici des ensembles globalement conducteurs. D'autre part la structure assimilée à la faille en bordure de route n'est pas présente. L'orientation des unités est grossièrement NW-SE rappelant la stratigraphie indiquée sur la carte géologique.

A l'extrémité Nord de la carte, les résistivités plus élevées caractérisent le bas de l'Hettangien inférieur (grès). En se dirigeant vers l'Est et le Sud, on passe aux argiles intermédiaires de la même formation (résistivités plus faibles).

Sur le reste de la moitié Est de la carte, les résistivités apparaissent légèrement plus élevées. Une mince bande conductrice de direction NW-SE apparaît dans ce secteur. Cette dernière structure a été assimilée à une structure drainante (drain karstique ou faille drainante) sur laquelle est d'ailleurs localisé le gouffre de Trézebens qui sert aussi de perte aux eaux de ruissellement.

Les valeurs plus résistantes au centre de la carte sont à rapprocher de l'Hettangien supérieur puisque sur cette zone il dépasse largement les 60 mètres d'épaisseur.

Les panneaux électriques (**fig. 7**) permettent aussi de distinguer la typologie des différentes dolines du secteur avec des structures très enracinées (panneau 1), influencée par le fort soutirage karstique et les dolines superficielles à fond plat, colmatées de placages marneux et argileux en totale déconnexion avec l'aquifère sous-jacent.

## CONCLUSION

La prospection géophysique a permis d'une part de préciser la géométrie de l'aquifère en positionnant les différentes unités géologiques et la faille d'Assier, principal accident tectonique du secteur. De plus, elle apporte des éléments indispensables quant à la vulnérabilité de la ressource en eau en caractérisant les principales zones de faiblesse de la zone non saturée (faille, doline absorbante, structure drainante...).

Ces reconnaissances associées à un inventaire des sources de pollution dans le bassin d'alimentation de la source ont permis à l'hydrogéologue agréé chargé d'établir les périmètres de protection d'orienter son avis sur des servitudes à mettre en place sur les zones fortement vulnérables identifiées.

## REFERENCES

1. **ASTRUC JG. (2004)** – Hydrogéologie du Limargue – Secteur Issepts – Rueyres – Observations de terrain et synthèse. 8 p.
2. **BIRO I. (2005)** – Cartographie de la vulnérabilité sur le site Vaulion (Canton de Vaud). Apport de la géophysique, validation par essais de traçages, centre d'hydrogéologie, Université de Neuchâtel, Bulletin d'Hydrogéologie N°21, pp179-180 .
3. **BORNE V. (1990)** – La méthode électromagnétique EM34-3 pour la prospection de sub-surface – Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, n°42, 10 p.
4. **CALLIGEE (2008)** - Etudes préalables à l'établissement des périmètres de protection de la source captée de la Doux d'Issepts. Prospection géophysique complémentaire. Rapport d'études pour le SAEP du Livernon.
5. **CHALIKAKIS K. (2006)** – Application de méthodes géophysiques pour la reconnaissance et la protection de ressources en eau dans les milieux karstiques. Thèse de Docteur en Hydrogéophysique, Université PARIS 6, UMR 7619 Sisyphe, 223 p.
6. **FAUCHARD C. (2003)** – Guide méthodologique sur les méthodes géophysiques de détection de cavités souterraines – Projet CRITERRE.
7. **GUERIN R. (2005)** – Contribution à l'hydrogéophysique – Habilitation à Diriger des Recherches. Université Paris 6. 262 p.
8. **PRANVILLE J. (2007)** – Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines de la partie sud du Causse de Gramat – Rapport de MASTER 2 Sciences de l'Univers – UPMC – Paris 6, UMR Sisyphe.
9. **REY F. (2007)** - Ressources en eau souterraine dans les chaînons béarnais. Géométrie et fonctionnement hydrogéologique de quatre aquifères carbonatés ». Thèse de Doctorat en Géologie Appliquée, Université de Bordeaux 1, p135-178
10. **VALOIS R. (2008)** – Hydrogéologie karstique – Etude du site de Poumeyssen. UPMC – P6 Campus Jussieu – UMR SISYPHE – 50 p.

## MOTS CLES

Vulnérabilité, géophysique, prospection électromagnétique EM34, panneau électrique, Issepts, Quercy, Lot,