

**Annexe 7 :**

**Etude géologique et hydrogéologique du secteur Mas Gimel**

Laboratoire HSM – Université de Montpellier



**Projet Mas GIMEL**

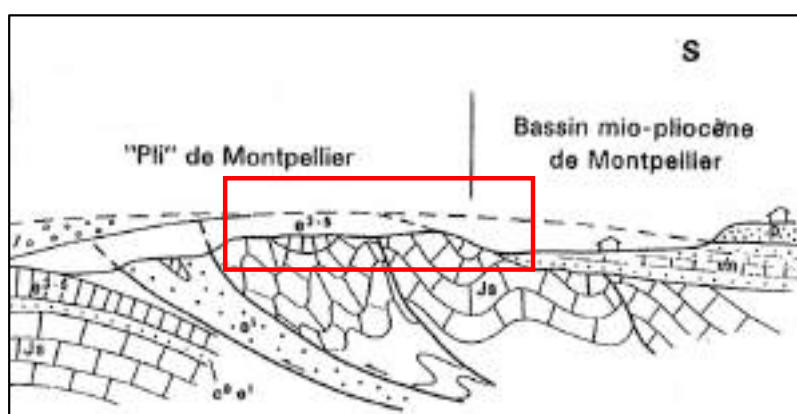
**15/10/21**

**Etude géologique et hydrogéologique du secteur Mas Gimel**  
Synthèse des travaux réalisés depuis Octobre 2020 par le laboratoire HSM

*Auteur : Séverin Pistre (Professeur d'Hydrogéologie – Université Montpellier)*

## 1- Recherches bibliographiques – Contexte hydrogéologique

La zone projet se trouve sur une structure géologique appelée « Pli de Montpellier » qui forme notamment le relief des quartiers nord-montpelliérains (zoo de Lunaret, Plan des 4 Seigneurs, Haut de Paillade). A grande échelle, cette structure correspond à une série plissée jurassique et éocène chevauchante limitée par une faille inverse au nord puis recoupée sur son versant sud par une faille normale. Elle est partiellement recouverte en discordance par des formations cénozoïques plus récentes (Miocène et Pliocène). La figure 1 présente une coupe d'ensemble et la situation projetée du secteur du Mas Gimel.



*Figure 1 : Coupe géologique d'ensemble du pli de Montpellier*

*Le secteur Mas Gimel se trouve dans le cadre rouge*

*(Js : Jurassique supérieur, e1 : Vitrolien, e3-5 : Eocène moyen, m : Miocène, p : Pliocène)*

La carte géologique (fig. 2) montre qu'au niveau du secteur où le projet sera implanté, 2 formations géologiques très différentes sont sub-affleurantes :

- Jurassique – Séquanien (J7) : formation calcaire en petits bancs décimétriques généralement karstifiée et aquifère. Masse d'eau FRDG158 « calcaires jurassiques pli ouest de Montpellier unité Mosson et Sud Montpellier affleurant et sous-couverture ».
- Miocène (m1) à faciès marneux qui n'est pas aquifère.



Depuis l'établissement de la carte, la zone a été en partie urbanisée et les sols largement remaniés et végétalisés. Ainsi, les formations ne sont actuellement plus visibles à l'affleurement.

D'après la carte (fig.2), le Miocène recouvre en discordance le Jurassique et semble masquer au niveau de la zone-projet une faille et des couches lutétiennes (Eocène moyen) composés de calcaires lacustres généralement aquifères. L'Eocène (e3-5c) représenté au sud-ouest de la zone sur la carte n'est pas affleurant actuellement compte tenu des aménagements et reste délicat à caractériser.

Les recherches bibliographiques ont permis de retrouver le compte rendu de visite en 1965 du puits du Mas Gimel. Celui-ci indique un débit très faible et la présence d'une source à 150m W-SW. Il mentionne un autre puits vers l'Ouest qui serait plus productif (500l/jour).

La Banque des Données du Sous-sol (BSS) du BRGM répertorie 3 forages de 32 à 70 mètres de profondeur, au Sud-Est à proximité de la route de Grabels. Aucun n'a rencontré de venues d'eau significative. Tous ont recoupé le Pliocène avec pour 2 d'entre-eux quelques mètres de faciès astien sableux ou conglomératique puis les argiles bleues imperméables de l'Helvétien. Le 3eme n'a recoupé que les argiles sur 70 mètres. Depuis d'autres forages ont été forés, à

l'Est (rue de Puech Villa-Valsière) ou au Sud-Est (Malbosc), lors de travaux dans le Miocène sans avoir rencontré de venues d'eau.

D'après le rapport BRGM de 1965 (BSS : <http://infoterre.brgm.fr/page/banque-sol-bss>), il est probable que le puits du Mas Gimel traverse le Miocène pour capter l'eau du Jurassique. Toujours selon ce rapport, ceci est cohérent avec le creusement du puits qui a peut-être été stoppé au toit du Jurassique nettement plus résistant. Mais, compte tenu de la disposition de l'éocène d'après la carte géologique, il pourrait s'agir du calcaire éocène discordant sur le jurassique et lui-même recouvert par le Miocène.

La visite du puits montre que les parties construites du puits (murs et voutes) reposent sur des roches calcaires sans qu'il soit possible d'identifier leur nature et leur position stratigraphique.



*Photo à l'intérieur du puits du Mas Gimel – puits de type « cathédrale »*

## **2- Mesures géophysiques (profils électriques)**

Cette méthode a pour but, par injection dans le sol d'un courant électrique de faible intensité, de mesurer la résistivité électrique du sous-sol en fonction de la profondeur. Cette méthode permet d'établir une tomographie de résistivité électrique des roches (fig. 4) sur une profondeur égale approximativement au quart de la distance qui sépare des électrodes. Toutefois, la méthode ne peut révéler que les contrastes forts (argiles vs calcaires par exemple) et devient rapidement peu précise avec la profondeur. Par ailleurs, la méthode nécessite de pouvoir déployer un alignement de piquets (électrodes) selon une ligne droite de 150 m minimum (pour une profondeur explorée de 35 m environ).

*L'objectif est ici d'explorer la nature du sous-sol de la zone projet et plus précisément de localiser les différentes roches qui le composent. Il s'agit en particulier de savoir si le Miocène repose directement sur les calcaires jurassiques ou bien s'il repose sur les calcaires éocènes.*



Figure 3 : Position approximative des profils électriques (lignes rouges) :  
 Profil 1 : 19/05/21  
 Profil 2 : 10/06/21  
 Profil 3 : 30/09/21

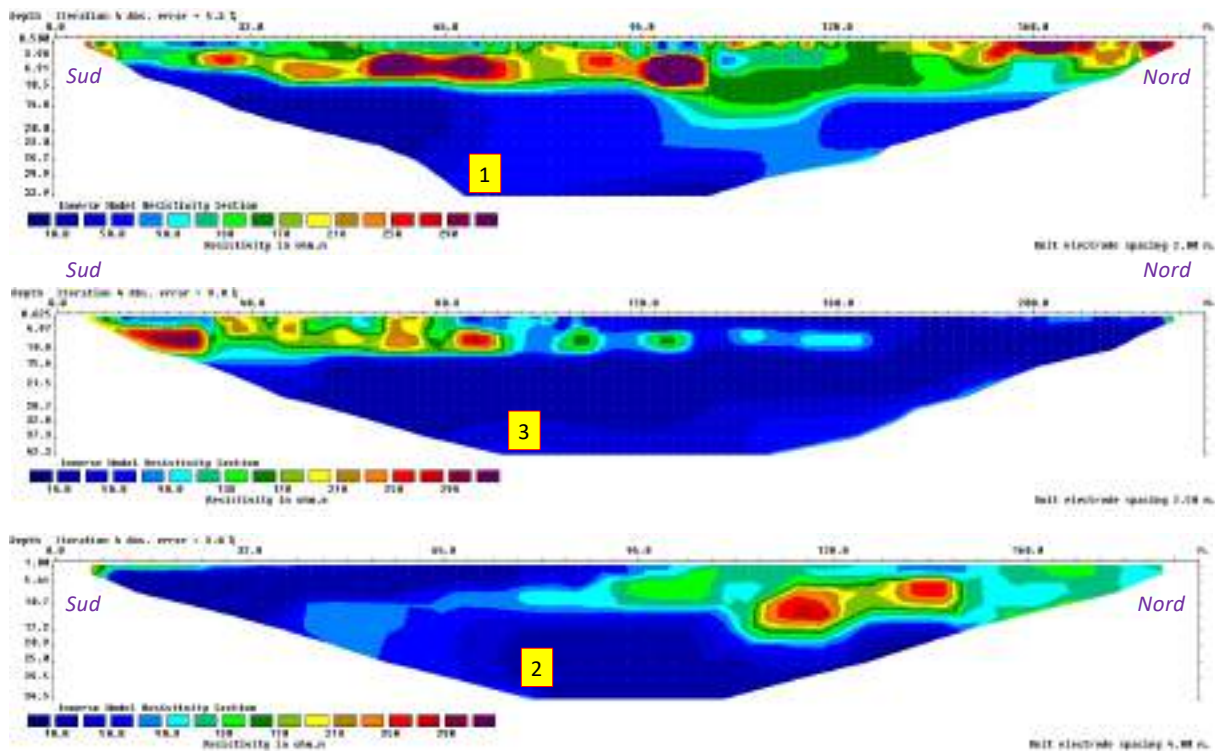


Figure 4 : Profils de résistivité électrique obtenus  
 (présentés selon une direction approximative Sud-Est vers Nord-Ouest)

Le détail de l'analyse des mesures de résistivité est donné en Annexe 2.

Le profil 1 a été implanté entre la route de Grabels et le Mas Gimel à proximité du carrefour en profitant d'une ligne moins végétalisée. Il montre dans les 100 m les plus au sud :

- Un niveau de 3 à 4 m d'épaisseur assez hétérogène qui peut correspondre au Miocène;
- Un niveau résistif de 4 à 10-12 m marqué par un changement net de résistivité à sa base qui peut correspondre à du calcaire ;
- Un niveau conducteur au-dessous de 10-12 m avec une signature d'argiles. La présence de ce dernier niveau est très surprenante et peu compatible avec un socle épais constitué de calcaire jurassique sous le Miocène tel que supposé par la rapport BRGM relatif au puits et au rapport EGIS-2021.

La partie nord du profil 1, indique une diminution de la profondeur du niveau résistif qui peut être lié à une réduction de l'épaisseur du recouvrement miocène. Le niveau conducteur est aussi présent d'abord vers 12-14 m et vers 7 m à l'extrémité nord du profil.

Le profil 2 n'a pas pu être installé selon une direction constante en raison de la densité de la végétation dans ce secteur (fig. 5). Les résultats peuvent donc être biaisés. Toutefois si on l'interprète en négligeant ces possibles biais, il montre :

- Dans la partie sud un niveau conducteur proche de la surface et aucun niveau résistant type calcaire dans les premiers 10 à 15 m ;
- Dans la partie nord, une roche résistive (avec un léger pendage vers le sud ?) qui peut correspondre au calcaire jurassique avec disparition de la couverture miocène en cohérence avec la carte géologique.



*Figure 5 : Positionnement GPS des 3 profils électriques (lignes rouges) sur vue aérienne de la zone*

Le Profil 3 a pu être déployé en amont du talus le long de la route de Grabels (fig. 5). Un chemin piétonnier à peu près rectiligne a grandement facilité l'implantation du dispositif. Son objectif

était de confirmer les observations issues les profils 1 et 2 et tenter d'établir un lien entre eux en explorant la continuité des structures (couches). Il montre clairement :

- Sur les premiers 30m de profil au Sud, un niveau conducteur de 5 m d'épaisseur qui semble disparaître ensuite ;
- Un niveau résistant type calcaire, de 10 à 12m d'épaisseur à pendage faible vers le Sud, et qui disparaît autour de 100m à partir du Sud ;
- Un niveau très conducteur type argile juste en-dessous du précédent qui remonte en sub-surface à mi-profil à partir du Sud.

Même si les profils n'ont pas pu être implantés le long d'une même ligne avec un véritable recouvrement, ils donnent un résultat d'ensemble très cohérent si on les projette selon une ligne SE-NO (fig. 6). La structure qui apparaît est composée de 4 types de lithologies :

- Couche de molasses miocènes (m1) avec une épaisseur de 3 à 4 m qui disparaît au centre de la zone ;
- Couche de calcaire éocène (e3-5c) d'une dizaine de mètres d'épaisseur recouverte au Sud par le Miocène et à pendage faible vers le Sud ;
- Couche d'argiles éocènes (e3-5m) dont l'épaisseur est indéterminée compte tenu de l'imprécision de la méthode au-delà de la trentaine de mètres de profondeur dans ce cas ;
- Le « socle » calcaire jurassique (J7) recouvert en discordance par l'Eocène et proche de la surface dans la partie nord de la zone.

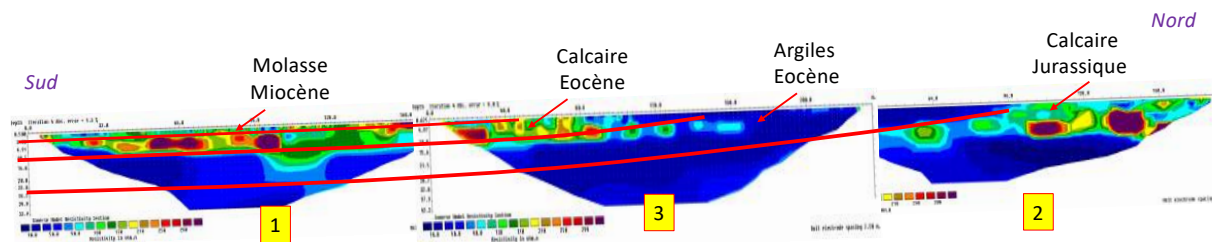


Figure 6 : Interprétation d'ensemble des profils géophysiques  
(les lignes rouges représentent les limites de couches)

Même si cette structure montre des différences majeures avec les schémas admis dans les études antérieures, il est tout à fait cohérent avec le schéma général du pli de Montpellier (fig. 1).

D'un point de vue hydrogéologique, cela signifie que la nappe captée par le puits est contenue dans les calcaires éocènes. Cette nappe est superposée à celle du Jurassique connue pour être drainée par la Mosson (source des Moulins) et isolée par le niveau éocène argileux (e3-5m). Elle apparaît comme « une nappe perchée » semi-captive sous les marnes miocènes (partie sud de la zone) et libre au-delà permettant sa recharge.

### 3- Mesure de la capacité d'infiltration des sols

La méthode utilisée est la méthode de Beerkan avec 2 dispositifs de diamètres différents. Les mesures ont été réalisées le 11/06/21 en 2 points (fig. 7).

Les résultats indiquent, sur les 2 points de mesures, un sol peu perméable :

- au Nord-Ouest, sur Jurassique en bleu sur la carte), le sol est de nature grumeleuse :  
Dispositif 1 =  $K_{sat} = 3,4.10^{-1}$  m/s  
Dispositif 2 =  $K_{sat} = 2,0.10^{-1}$  m/s
- au Sud-Est, sur Pliocène en marron sur la carte, le sol est de nature argileuse :  
Dispositif 1 =  $K_{sat} = 9,6.10^{-3}$  m/s  
Dispositif 2 =  $K_{sat} = 5,8.10^{-3}$  m/s

Le sol de la partie du projet située sur le Pliocène soit 80% environ est donc très peu perméable, de l'ordre de 10 à 50 fois moins que celui au droit du Jurassique. Cela a des implications fortes sur le ruissellement à la suite de précipitations intenses. Le sol a été largement remanié par des activités agricoles sur le secteur mais il est fort probable que le sol peu perméable se trouve quelques centimètres sous la surface limitant ainsi l'infiltration.

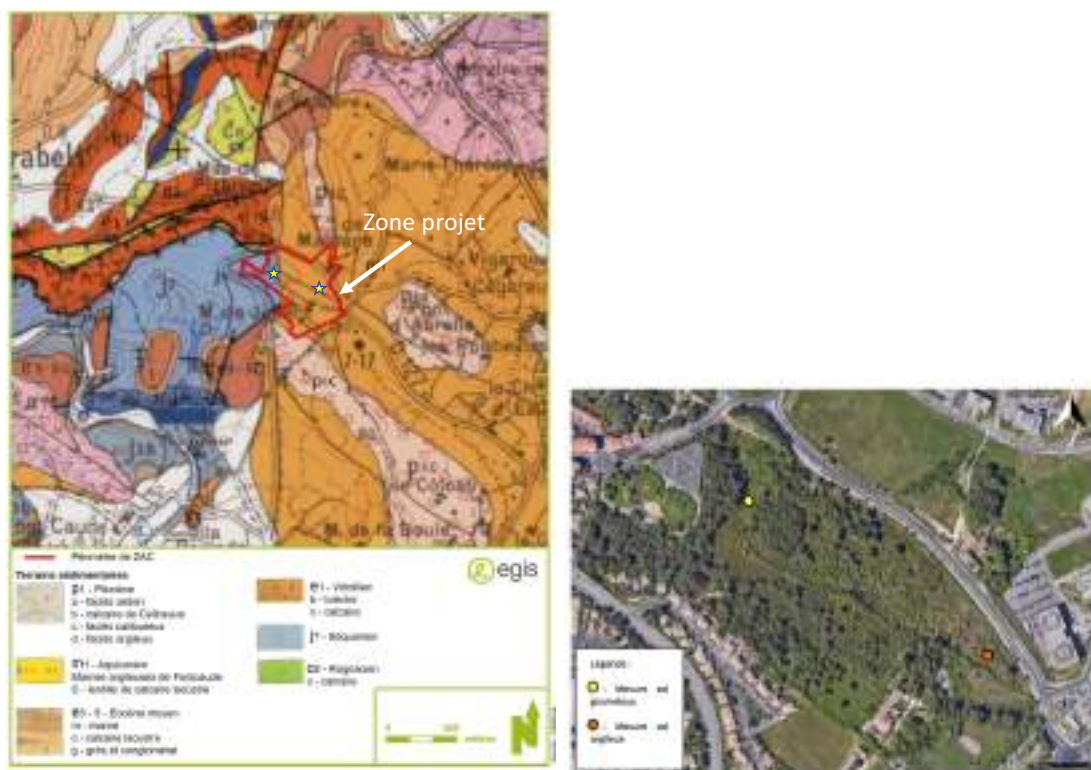


Figure 7 : Carte géologique et vue aérienne de la zone projet  
Localisation des points de mesure de la capacité d'infiltration des sols

#### 4- Analyses hydrochimiques et bactériologiques

Les eaux souterraines ont fait l'objet de prélèvements :

- Le 21/10/20, soit en période de « moyennes eaux » au niveau du puits du Mas de Gimel et de la source du Verdanson (Tuilerie de Massane) ;
- Le 28/07/21, soit en période de « basse eaux » au niveau du puits du Mas, de la source du Verdanson (Tuilerie de Massane) et des venues d'eau observables au carrefour de l'Avenue de Gimel.



L'objectif de ces analyses était de 1/ caractériser le profil chimique des eaux pour en déduire leur origine (type de roche traversée), 2/ établir leur niveau contamination en vue d'une possible exploitation pour arrosage.

Les annexes 3 et 4 correspondent à l'ensemble des résultats d'analyses.

L'analyse chimique des échantillons d'eau montre des compositions en éléments majeurs très proches et très stables entre moyennes et basses eaux. Les éléments hydrochimiques traces (dont Terres rares) et ne révèlent pas de différences notables sauf pour le Fer, Zinc, Cuivre et quelques autres éléments dont le plomb que l'on trouve en plus fortes concentrations dans le puits (bien que sous les seuils de potabilité). Cela est certainement dû aux pièces métalliques installées dans le puits (tuyaux, pompes...). Les concentrations en ces éléments (métaux et associés) dans le puits ont tendance à augmenter en période de basses eaux ce qui n'est pas surprenant si l'on admet que les temps de séjour sont plus grands comme conséquence de la diminution du débit de la nappe.

Ces analyses indiquent qu'il s'agirait de la même nappe d'eau souterraine dans le puits, à la source et pour les venues d'eau diffuses au niveau du carrefour. Ces eaux sont de bonne qualité chimique et ne révèlent aucune contamination excessive (nitrates < 8 g/l) y compris en métaux.

Sauf pour les venues d'eau diffuses au niveau du carrefour qui n'ont pas fait l'objet d'analyses bactériologiques, les concentrations en Coliformes indiquent une contamination essentiellement naturelle car les coliformes ont une origine « hydro tellurique » ; Les concentrations en coliformes F (E. Coli) sont quasi identiques à des niveaux faibles dans les eaux du puits et de la source et ne désignent pas une contamination fécale. Les valeurs en Coliformes sont plutôt faibles pour une eau naturelle, mais suffisantes pour les rendre impropres à la consommation directe (non potable – cf. annexe 5). Cette eau peut constituer en revanche une eau de bonne qualité pour l'irrigation.

## 5- Mesures topographiques

Une série de mesures topographiques a été réalisée à l'aide d'un GPS cinématique, le 10/06/21.

Leur but principal était :

- Obtenir une topographie précise le long des profils géophysiques car elle est nécessaire pour leur interprétation (reportée fig. 5) ;
- Mesurer l'altitude de la source du Verdanson (Tuilerie) et des venues d'eau au carrefour Route de Grabels-Avenue de Gimel pour estimer les gradients hydrauliques de la nappe.

Les résultats indiquent pour la source (81,5m) et pour les venues d'eau (80m).

Ces valeurs sont comprises dans l'intervalle des piézométries mesurées sur le puits. La source et les venues d'eau au niveau du carrefour sont donc certainement les exutoires de la nappe captée par le puits dont le niveau est autour de 82 m (cf point 6). Les venues d'eau au carrefour Route de Grabels-Avenue de Gimel semblent donc drainer la nappe éocène semi-captive à

travers le Miocène peu épais et hétérogène, avec un gradient piézométrique (1,5 m environ) entre ces venues et le puits. Leur altitude explique leur caractère permanent.

Remarque :

Si on admet :

- une distance approximative entre le puits et les venues d'eau le long de l'avenue de 150m
- une épaisseur d'aquifère de 10m
- une longueur de la ligne de venues d'eau de 50m
- un débit des venues d'eau (estimé en Juin 2020) de 0,5 l/s

On obtient une conductivité hydraulique (en régime permanent) de  $1.10^{-4}$  m/s.

Cette valeur est tout à fait réaliste pour ce type d'aquifère.

## 6- Mesures piézométriques et physico-chimiques de la nappe

La sonde piézométrique placée dans le puits le 19/10/20 a été relevée le 12/10/21. Les mesures sont réalisées au pas de 15 minutes (soit plus de 33.000 mesures).

Le niveau piézométrique a été recalé sur la topographie fournie par GGL (Plan photogrammétrique DGMA).

L'objectif de ce suivi est :

- Comprendre le fonctionnement de la nappe ;
- Estimer la position de son niveau et de son battement.

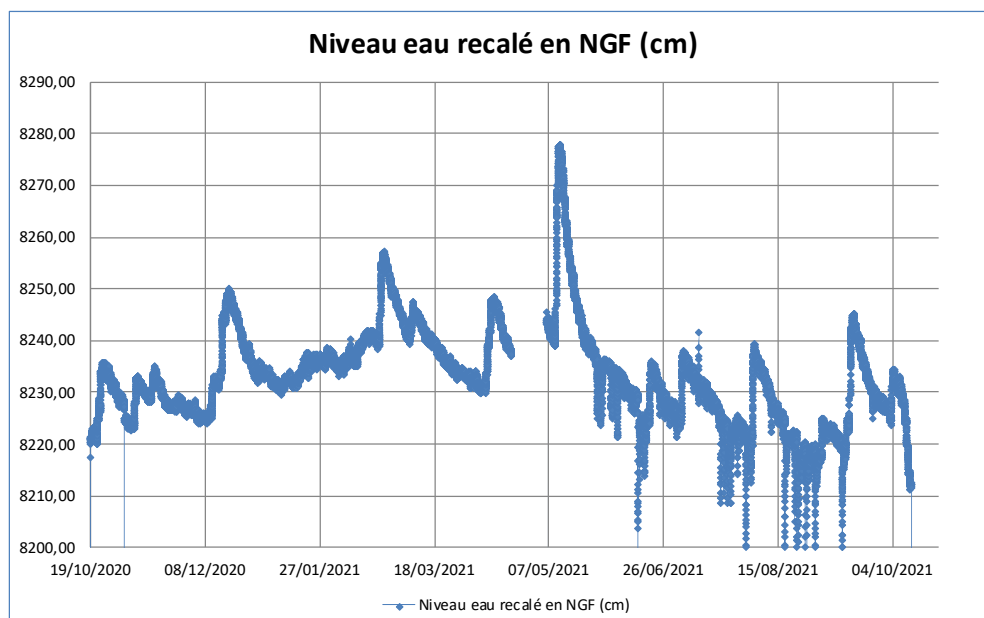


Figure 8 : Chronique piézométrique enregistrée sur le puits du Mas Gimel (19/10/20 au 12/10/21)  
(vérification de la sonde le 03/11/21)

Sur le dernier cycle hydrologique (Octobre 2020 à Octobre 2021), le niveau de la nappe au niveau du puits a varié entre 82,1 m et 82,8 m NGF soit moins d'un mètre de battement (Fig. 8). Il semble réagir sans délais à la pluviométrie avec des variations modérées mais typiques d'un aquifère karstique. On note des variations centimétriques journalières à relier aux marées terrestres et à la semi-captivité de la nappe. Les baisses rapides enregistrées durant la période estivale sont dues à des pompages dans le puits.

L'annexe 6 montre en parallèle la piézométrie sur le puits du Mas Gimel et la pluviométrie sur le toit de la Maison de l'Eau (Avenue Emile Jeanbrau) soit environ à 3 km sur site.

Seule la montée du 10 au 17/12/2020, ne correspond à aucune pluie mesurée au départ de la montée (mais 4 jours plus tôt). Cela peut s'expliquer par un défaut de mesure ou par l'hétérogénéité des pluies. On peut aussi noter que le niveau dans le puits reste supérieur à l'altitude de la source et des venues d'eau sur l'avenue : ceci est cohérent avec leur caractère pérenne.

La température et la conductivité de l'eau montrent des évolutions significatives délicates à interpréter en détail sans enregistrement de la pluie locale sur la même période (fig. 9). Néanmoins, la température comme la conductivité diminuent globalement sur la période humide du cycle hydrologique : l'alimentation de la nappe par de l'eau de pluie froide et peu minéralisée abaisse la température et implique un effet de dilution. A partir du printemps, la recharge diminue et l'eau de pluie est plus chaude : la minéralisation et la température augmentent. Les concentrations chimiques ont aussi montré cette tendance à l'augmentation en période estivale. L'effet des épisodes pluvieux est aussi très net sur ces 2 paramètres physico-chimiques. Tout cela confirme que la part d'alimentation directe et rapide de la nappe est majoritaire.

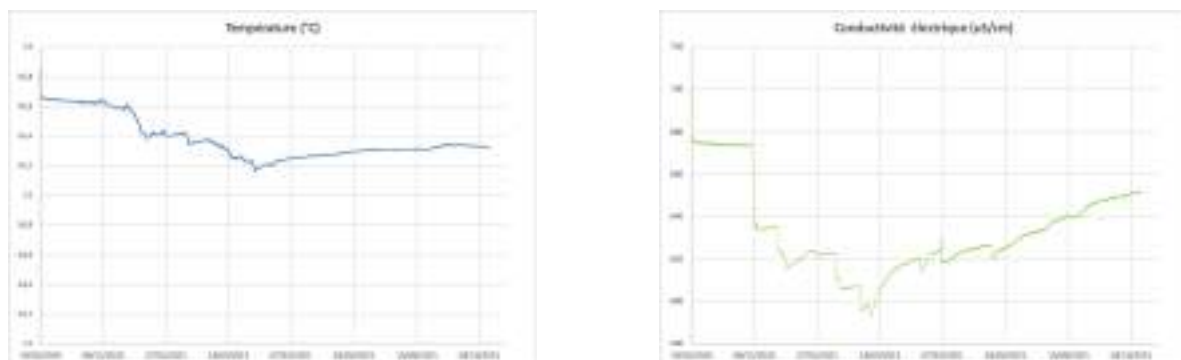


Figure 9 : Chronique de température et conductivité enregistrées sur le puits du Mas Gimel (19/10/20 au 12/10/21)

## Conclusions synthétiques

- **Génie civil** : La structure géologique du sous-sol de la zone projet s'avère plus complexe qu'indiqué dans les études antérieures. On ne trouve pas sur l'ensemble du site un socle de roches calcaires résistantes entre 1 et 5m favorables à la mise en oeuvre de fondations.

A faibles profondeurs (3 à 5m), ces roches existent au nord de la zone (calcaires jurassiques) et au sud de la zone (calcaires éocènes). Par contre, le sous-sol de la partie médiane est occupé sur plusieurs mètres par des argiles ou marnes à aborder différemment en termes de fondations ; cela expliquerait la profondeur du calcaire sur le piézomètre Pz3 de l'étude SOLEA BTP.

Par ailleurs, cette formation peu résistante se trouve sous les calcaires épais d'une dizaine de mètres au dans la partie sud.

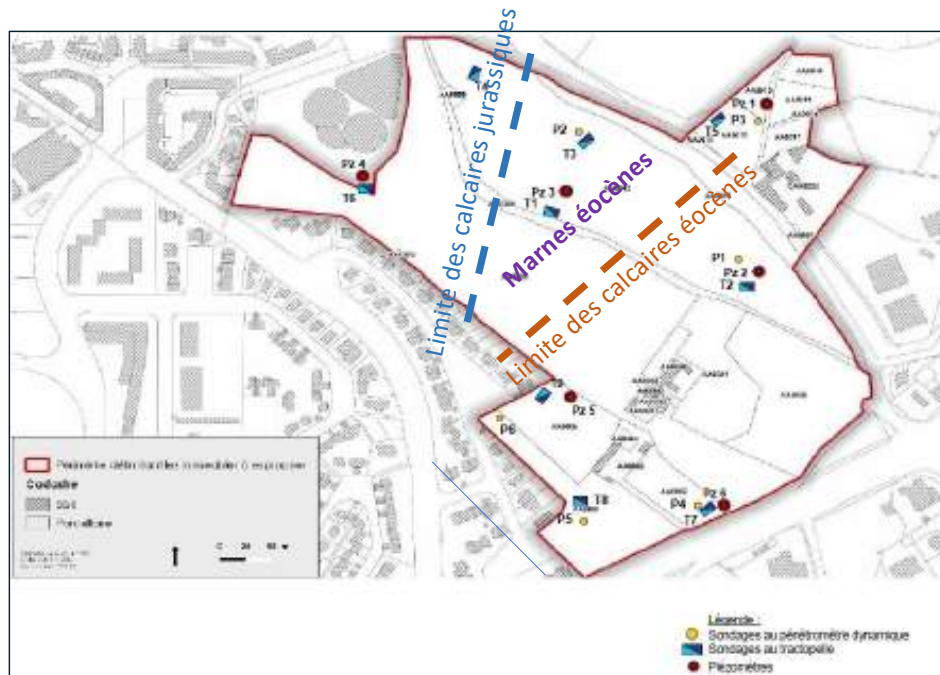


Figure 10 : Estimation des limites sub-affleurantes des calcaires (jurassique et éocène)

La couche calcaire éocène contient une nappe d'eau dont le niveau se situe autour de 82 m NGF et qui occasionnera des venues d'eau significatives lors de travaux en-dessous de cette cote au sud de la limite des calcaires éocènes. Des essais de forages en petit diamètre permettraient de cartographier plus précisément le toit de ce socle calcaire sous les marnes miocènes.

- **Hydraulique** et dimensionnement des bassins de rétention : L'infiltration des sols naturels est très limitée. Le calcul des volumes des bassins devra intégrer un coefficient d'infiltration très faible. Le creusement des bassins de rétention sera aussi impacté par la position du socle calcaire ; au-delà de quelques mètres de profondeur dans la partie sud de la zone, le creusement de ces bassins rencontrera un socle résistant et perméable constitué de calcaires.
- **Valorisation des points d'eau** (puits, source) : Le puits du Mas Gimel est une construction remarquable et patrimoniale à mettre en valeur et qui peut être un atout attractif de la zone d'aménagement. Le suivi de son niveau par une sonde automatique pourrait aussi contribuer au volet environnemental de la zone. De la même manière, la source dite du Verdanson pourrait aussi être mise en valeur et contribuer au volet environnemental accompagné d'un suivi régulier. Son environnement immédiat est

relativement dégradé et nécessiterait quelques travaux de mise en valeur. La source et le puits pourraient être le point de départ de projets pédagogiques pour des classes de primaire : zone d'habitations au-dessus d'une nappe d'eau souterraine accessible par un puits et une source dans son périmètre. Ces particularités du site représentent des atouts pour une demande d'un Label Environnement pour le projet d'aménagement. L'installation d'un pluviomètre sur la zone compléterait le dispositif. Le laboratoire Hydrosociences (HSM) dans le cadre d'un partenariat avec l'agglo 3M doit prochainement installer un pluviomètre sur les réservoirs AEP situés au nord de la zone d'aménagement. Il serait intéressant d'envisager une convention entre le maître d'ouvrage de la zone et HSM pour le suivi des points d'eau de la zone et la mise à disposition des données mise en forme à travers le site web de l'observatoire OREME (<https://oreme.org>).

- **Potentialité de la nappe** : Contrairement au rapport BRGM de 1965 indiquant que la nappe était contenue dans les calcaires jurassiques, nous pensons qu'elle est située dans les calcaires éocènes et donc perchée (isolée) au-dessus de l'aquifère jurassique (fig. 11). Néanmoins, elle est d'étendue suffisante et de nature favorable (karstique) à l'implantation d'un forage destiné au pompage d'eau d'irrigation qui renforcerait le volet environnemental de la zone. Compte tenu des valeurs de conductivité estimées et de l'épaisseur de l'aquifère, la transmissivité semble faible ; ainsi le débit d'exploitation ne pourrait pas être élevé (quelques m<sup>3</sup>/jour). Ce pompage selon son positionnement réduirait les venues d'eau au niveau du carrefour qui sont un exutoire de cette nappe au même titre que la source du Verdanson. Mais il aurait aussi pour conséquences d'abaisser le niveau du puits et de réduire le débit de la source. Son positionnement entre le puits et l'avenue de Gimel minimiserait ces inconvénients. Un suivi plus long de la piézométrie sur le puits et un pompage d'essai permettrait de caractériser plus précisément les propriétés et les potentialités de la nappe mais cette méthode nécessite un forage de 40 à 50 mètres minimum de profondeur et de diamètre suffisant pour installer une pompe immergée.

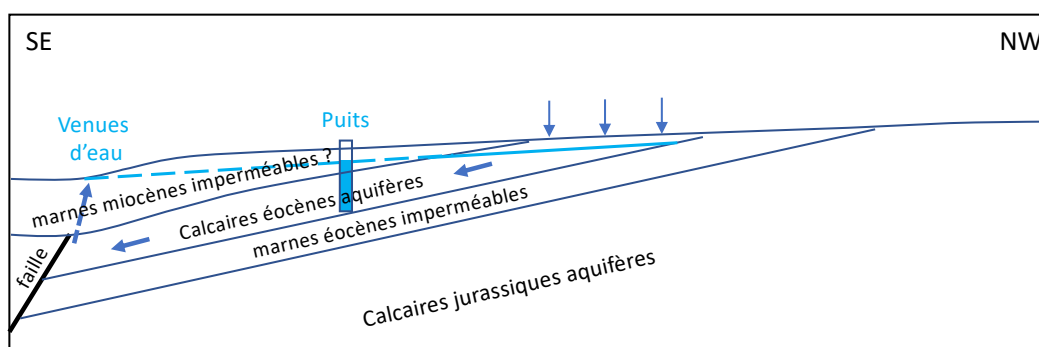


Figure 11 : Représentation schématique de l'aquifère du Mas Gimel

#### Recommandations prioritaires :

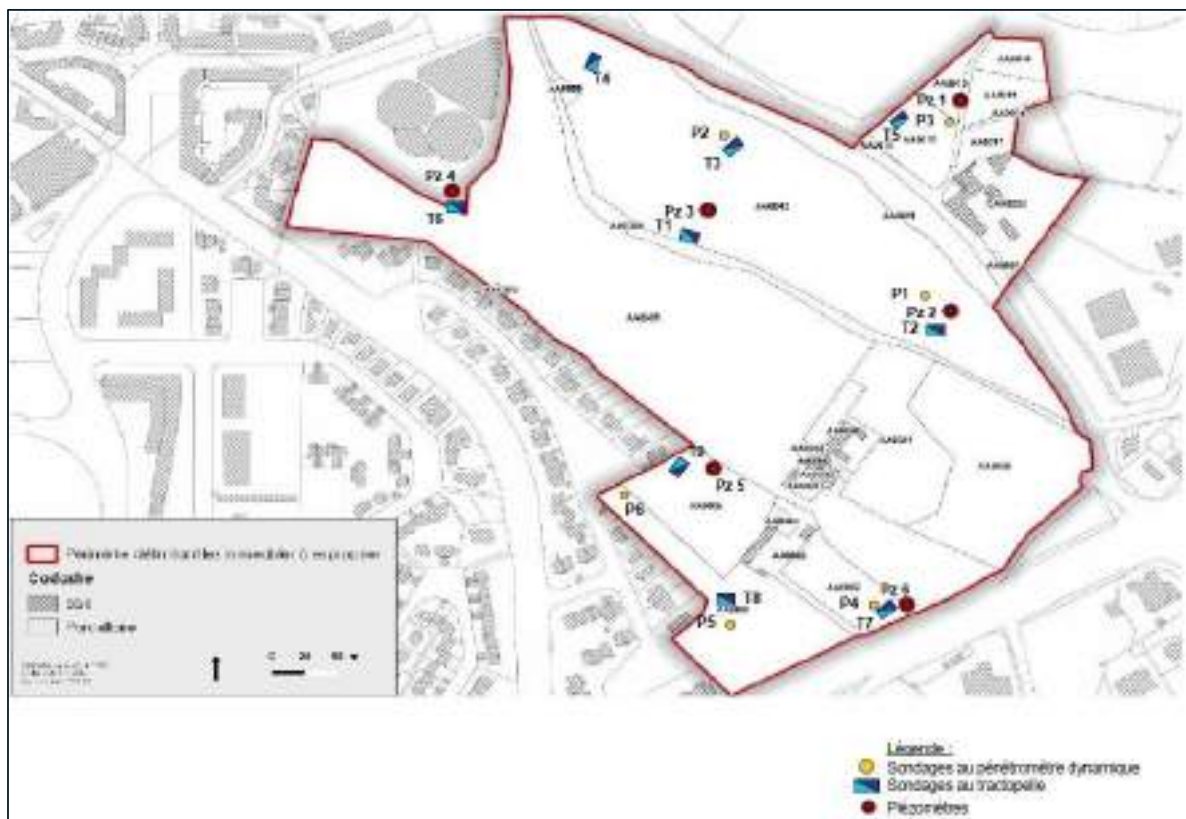
- Forages (10 minimum) petits diamètres ou à la tarière pour cartographier plus précisément le toit des calcaires éocènes ou jurassiques ;
- Forage « profond » (60m) de diamètre 100mm afin d'installer une pompe immergée avec suivi par un géologue et réalisation d'un essai par pompage.

## Annexe 1 – Carte des piézomètres SOLEA BTP

Extrait rapport EGIS – Etude d'impact 08 FEV 2021

Le rapport EGIS de Février 2021 (dossier de création ZAC) fait état de 6 piézomètres réalisés en 2018 par SOLEA BTP et équipés de sondes piézométriques. Une visite de terrain (13/06/21) ciblée sur les piézomètres Pz1, Pz2, Pz3 n'a pas permis de les retrouver. Si elles existent, ces données seraient très utiles au projet.

Les ouvrages semblent avoir été rasés.



- Des calcaires beiges et marno-calcaires : Les calcaires forment un socle qui a été reconnu quasiment au droit de tous les sondages destructifs. Seul le sondage PZ1 placé dans la zone de la tuilerie (zone de prédominance des marnes de Fontcaude) n'a pas rencontré les formations calcaires. Les calcaires et marno calcaires correspondent à des formations du Séquanien. Les calcaires apparaissent aux profondeurs suivantes :

- Pz1 : non atteint à 14,00 m/TN
- Pz2 : 2,40 m/TN
- Pz3 : 10,20 m/TN
- Pz4 : 4,10 m/TN
- Pz5 : 6,50 m/TN
- Pz6 : 5,60 m/TN

Ces valeurs montrent que le toit rocheux plonge rapidement au droit de la zone 3 et est certainement très profond au droit de la zone 4.

## Annexe 2 – Comptes Rendus des expériences de Profils géophysiques

### PROFIL ERT 1 (19/05/21)

#### Mesures

L'obtention de résistivités de contact correctes (inférieures à 20kohm) a été difficile plus en raison de la corrosion de notre matériel que de la nature du sol.

3 acquisitions ont été réalisées sur la ligne d'électrodes.

La première en Wenner Schlumberger a mal fonctionné et est inutilisable.

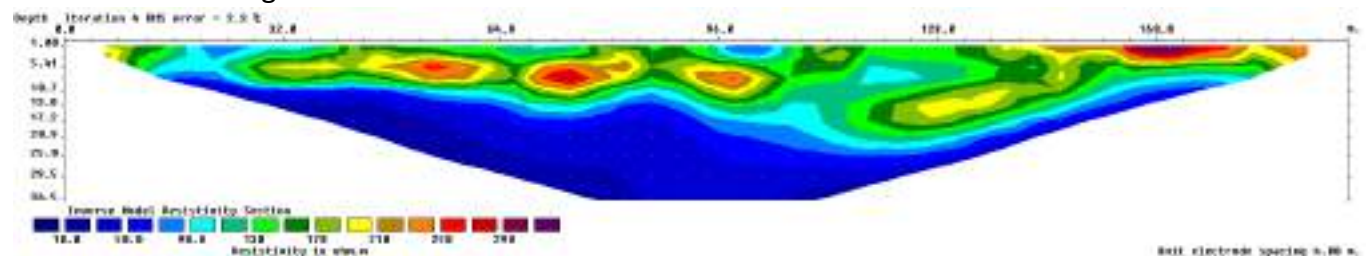
La seconde en dipôle dipôle s'est plutôt bien passée mais de nombreux points sont néanmoins erronés et doivent être éliminés avant de procéder à l'inversion (soit en raison des difficultés avec le matériel soit en raison de la nature de la mesure dipôle dipôle souvent bruitée.). Le filtre automatique du logiciel Prosys (récupération et prétraitement des données) garde 487 points sur 625.

La troisième acquisition est la reprise du Wenner Schlumberger effectué en premier. Cette fois la mesure est bonne 506 points retenus sur 510.

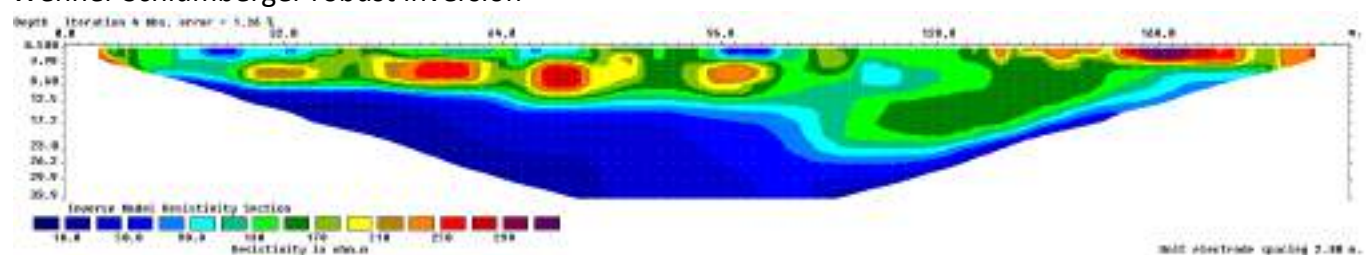
#### Résultats

Les résultats d'inversion sont présentés en mode Robust Inversion, un mode de calcul qui favorise les interfaces un peu abruptes. Les résultats semblent plus lisibles ainsi. Pour le Wenner Schlumberger, les deux modes d'inversion sont présentés pour montrer la différence. A noter que le pourcentage d'erreur (erreur entre la simulation et les données) est très bas pour le profil Wenner Schlumberger et correct pour les autres.

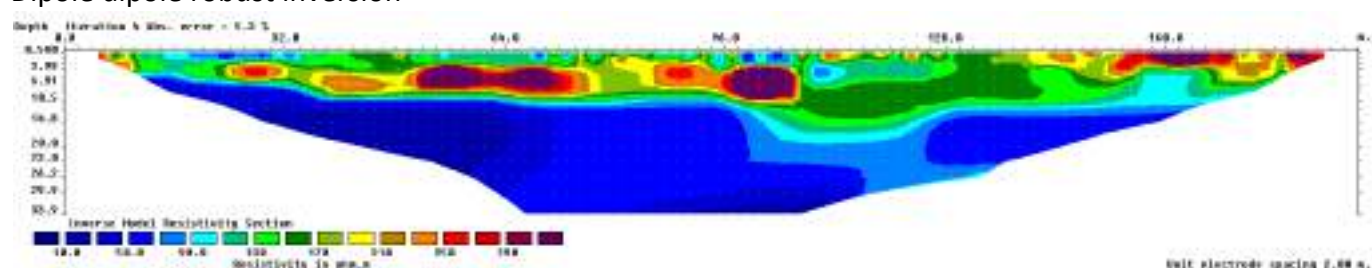
#### Wenner Schlumberger inversion standard



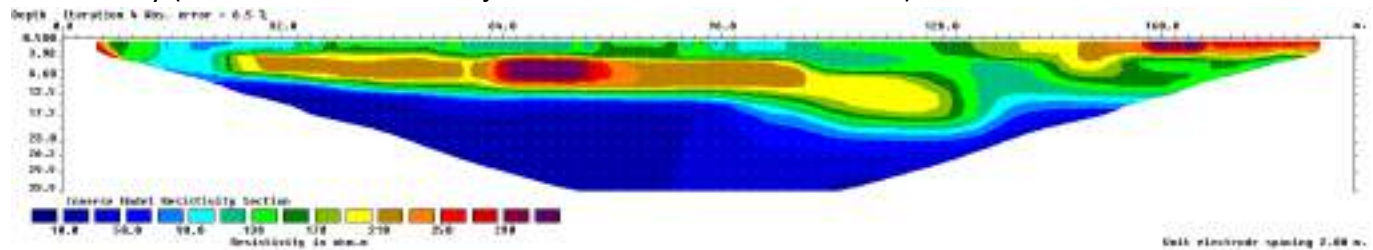
#### Wenner Schlumberger robust inversion



#### Dipole dipole robust inversion



## Mixed array (on additionne les deux jeux de données avant inversion) robust inversion



## PROFIL ERT 2 (10/06/21)

La ligne d'électrodes du 10/06 n'est pas du tout rectiligne ce qui limite la robustesse de l'interprétation.

### Mesures

L'obtention de résistivités de contact correctes (inférieures à 20kohm) a été immédiate. (valeurs comprises entre 2 et 7 kohm sauf pour l'électrode 39 qui est à 14kohm).

2 acquisitions ont été réalisées sur la ligne d'électrodes.

La première en Wenner Schlumberger a bien fonctionné.

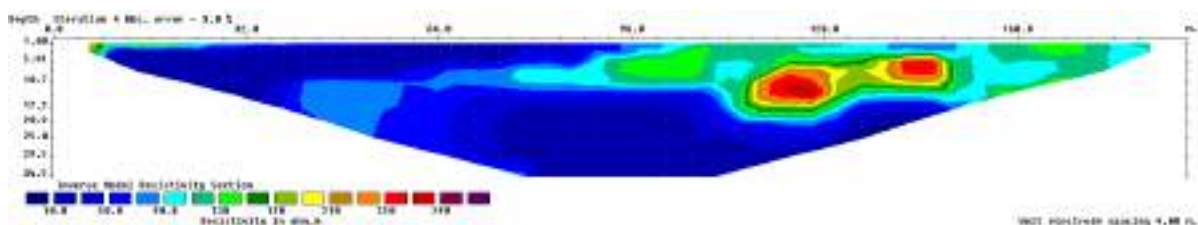
La seconde en dipôle dipôle a livré des données assez médiocres. De nombreux points sont inexploitable. Le filtre automatique du logiciel Prosys (récupération et prétraitement des données) ne conserve que 444 points sur 625. Malgré cela l'image obtenue avec cette mesure est assez proche de celle obtenue avec le Wenner Schlumberger

L'interprétation de ces mesures restera assez sommaire dans la mesure où la géométrie de la ligne est loin d'être optimale (éloignée d'une ligne droite).

### Résultats

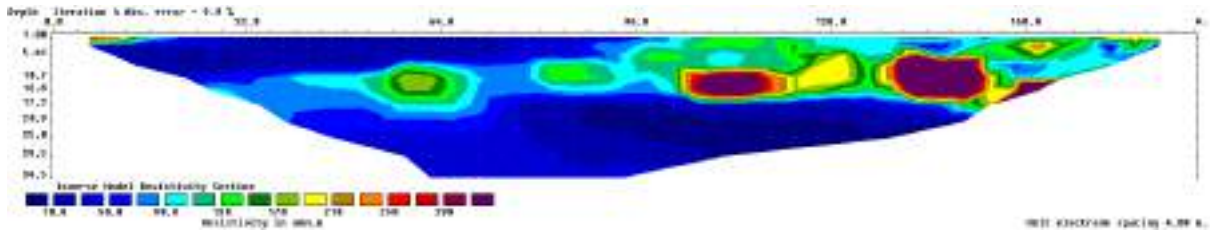
Les résultats d'inversion sont présentés en mode Robust Inversion, un mode de calcul qui favorise les interfaces un peu abruptes. Les résultats semblent plus lisibles ainsi.

Wenner Schlumberger robust inversion



Dipole dipole robust inversion





### PROFIL ERT 3 (30/09/21)

#### Mesures

L'obtention de résistivités de contact correctes (inférieures à 20kohm) a été immédiate. (valeurs inférieures à 3 kohm )

2 acquisitions ont été réalisées sur la ligne d'électrodes. L'écartement inter-électrodes était de 5m.

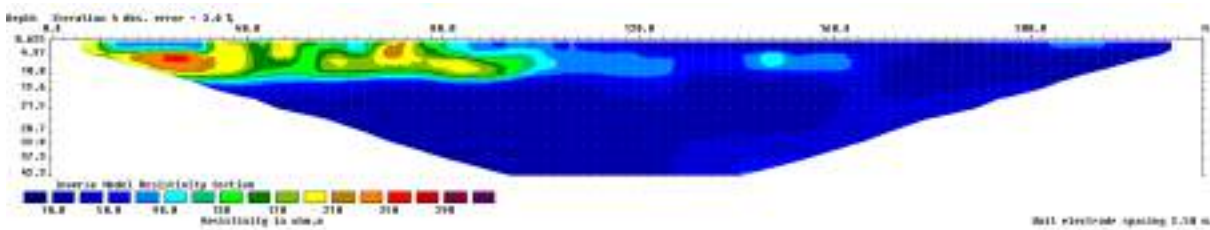
La première acquisition en Wenner Schlumberger a bien fonctionné.

La seconde acquisition en dipôle dipôle présente de nombreux points erronés. Le filtre automatique du logiciel Prosys (récupération et prétraitement des données) ne conserve que 475 points sur 625. Un filtrage manuel permet de conserver 542 points. Avec les 475 points, une zone résistive apparait en profondeur sur la gauche du profil. Cette zone n'apparait pas quand on garde plus de points (542) et n'apparait pas non plus en Wenner-Schlumberger. Il s'agit certainement d'un artefact.

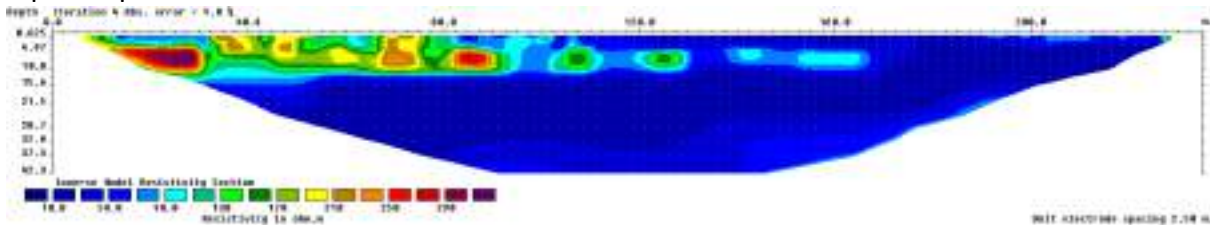
#### Résultats

Les résultats d'inversion sont présentés en mode Robust Inversion, un mode de calcul qui favorise les interfaces un peu abruptes. Les résultats semblent plus lisibles avec cette méthode.

#### Wenner Schlumberger robust inversion



#### Dipole dipole robust inversion



## Annexe 3 – Résultats des analyses d'eau en Eléments majeurs

Concentration en milligrammes/litre

nom	conductivité µS/cm	date de prélèvement	Mesures laboratoire			Chromatographie ionique														bactériologie										
			conduct.	pH	T°	Titrateur	F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Br <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>++</sup>	Ca <sup>++</sup>	Balance ionique	Somme anions	Somme Cations
Puits Mas Gimel	non mesurée	20/10/2020	798	x	6,5	481,1	<LD	40,9	<LD	3,5	<LD	24,5	23,2	<LD	1,2	8,8	136,8	7,88	1,15	0,06	0,51	1,01	0,03	0,72	6,83	-6%	9,61	8,59	127,4	6,3
Source Verdanson	non mesurée	20/10/2020	777	x	6,4	425,3	<LD	35,9	<LD	6,7	<LD	28,6	20,7	<LD	0,8	7,2	140,5	6,97	1,01	0,11	0,60	0,90	0,02	0,59	7,01	-1%	8,69	8,53	48,8	2
Vennes d'eau Avenue de Gimel	770	28/07/2021	792	7,24		424,5	<LD	42,9	<LD	3,2	<LD	25,3	22,3	<LD	1,2	7,2	133,1	53,84	37,15	56,70	49,50	22,12	38,74	10,05	19,50	-37%	197,18	90,41	non mesurée	non mesurée
Puits Mas Gimel	746	28/07/2021	747	7,10		392,6	<LD	44,7	<LD	6,0	<LD	24,9	23,5	<LD	1,5	8,0	123,7	49,80	38,74	105,29	48,84	23,30	49,04	11,13	18,13	-41%	242,68	101,59	non mesurée	non mesurée
Source Verdanson	non mesurée	28/07/2021	797	6,93		412,1	0,24	42,0	<LD	7,0	<LD	30,4	22,1	<LD	1,0	7,0	135,8	52,27	36,38	123,37	59,53	21,84	32,29	9,71	19,89	-53%	271,54	83,74	non mesurée	non mesurée

<LD inférieur à la limite de détection

## Annexe 4 – Résultats des analyses d'eau en Eléments traces

Concentrations en ppb (microgrammes/litres) – concentrations atypiques surlignées en jaune

Elément chimique	date prélèvement	7Li	11B	23Na	24Mg	27Al	29Si	31P	34S	39K	44Ca	47Ti	51V	52Cr	58Mn	56Fe	59Co	60Ni	63Cu
Limite Détection		0,02496	0,07833	0,19713	0,09509	1,11498	12,40384	1,89416	65,81236	0,61504	0,63434	0,12123	0,00169	0,00197	0,00048	1,29416	0,00087	0,02846	0,00654
Puits	20/10/2021	2,41097	36,55032	24739,79493	9213,69641	<LD	4034,31197	14,34177	9636,03591	1413,62150	169599,61284	0,05273	0,46917	0,12933	0,07554	4,58488	0,01928	0,39943	6,90600
scie Verdanson	20/10/2021	2,80814	30,67224	22839,03425	7756,74593	<LD	4266,59322	3,43332	11536,07492	622,19484	177905,02529	<LD	0,34625	0,08907	19,07197	2,91958	0,03641	0,21904	0,17091
venues d'eau																			
Avenue de																			
Gimel	28/07/2021	1,7863	34,0511	23519,5628	7686,1994	<LD	3818,5147	<LD	8945,6017	1020,1667	150681,1954	<LD	0,3893	0,0685	2,7083	<LD	0,0218	0,2289	0,1329
Puits	28/07/2021	2,5360	26,85880	24576,1122	8504,8488	<LD	3196,8058	19,0646	8939,1820	1523,8788	137827,2373	<LD	0,5904	0,1413	0,3078	<LD	0,0261	0,6470	55,1839
scie Verdanson	28/07/2021	2,6969	28,2991	23153,1459	7504,3918	<LD	3708,4287	<LD	10596,3848	606,2323	151098,4119	<LD	0,3153	0,1102	7,1197	<LD	0,0415	0,2615	0,1896

Elément chimique	66Zn	71Ga	75As	78Se	85Rb	88Sr	89Y	98Mo	107Ag	111Cd	118Sn	121Sb	133Cs	137Ba	139La	140Ce
Limite Détection	0,01178	0,00082	0,00429	0,01961	0,00135	0,00126	0,00059	0,01714	0,00577	0,00034	0,03345	0,00793	0,00073	0,00946	0,00312	0,00060
Puits	19,37046		0,13580	0,09105	0,65419	505,29456	0,08128	0,13328	0,00435	0,02214	<LD	0,06473	0,01081	26,59562	0,01546	0,00201
scie Verdanson	0,14591		0,13586	0,12075	0,29376	396,56580	0,01810	0,08902	<LD	0,00065	<LD	0,03327	0,00380	26,54383	0,00462	0,00048
venues d'eau																
Avenue de																
Gimel	28/07/2021	0,0332	<LD	0,1505	0,1435	0,2315	369,6212	0,0716	<LD	0,0026	0,1054	0,0465	0,0029	27,1194	<LD	<LD
Puits	28/07/2021	226,4792	0,0042	0,2353	0,1279	0,7572	515,6604	0,0713	<LD	0,0362	0,1111	0,1244	0,0161	22,6853	0,0127	0,0018
scie Verdanson	28/07/2021	0,9383	<LD	0,1396	0,1434	0,2864	386,8326	0,0144	<LD	0,0014	<LD	0,0394	0,0034	25,1211	<LD	<LD

Elément chimique	141Pr	146Nd	147Sm	151Eu	159Tb	160Gd	163Dy	165Ho	166Er	169Tm	172Yb	175Lu	205Tl	208Pb	232Th	238U
Limite Détection	0,00026	0,00083	0,00017	0,00010	0,00011	0,00037	0,00011	0,00007	0,00014	0,00001	0,00017	0,00009	0,00065	0,00647	0,00153	0,00132
Puits	0,00270	0,01309	0,00284	0,00092	0,00051	0,00792	0,00400	0,00101	0,00387	0,00056	0,00448	0,00074	0,00508	0,06692		0,41064
scie Verdanson	0,00062	0,00279	0,00068	0,00038	0,00017	0,00503	0,00124	0,00035	0,00130	0,00018	0,00156	0,00022	0,00320	0,00509		0,43232
venues d'eau																
Avenue de																
Gimel	28/07/2021	0,0006	0,0026	0,0009	0,0007	0,0060	0,0018	0,0005	0,0027	0,0005	0,0043	0,0009	0,0052	<LD	0,0033	0,4265
Puits	28/07/2021	0,0027	0,0094	0,0022	0,0011	0,0137	0,0034	0,0009	0,0032	0,0006	0,0050	0,0011	0,0130	1,5496	0,0032	0,3965
scie Verdanson	28/07/2021	<LD	0,0019	0,0005	0,0005	0,0072	0,0007	0,0003	0,0011	0,0002	0,0014	0,0003	0,0031	0,1318	<LD	0,4773

## Annexe 5 – Fiche d'analyse d'eau du puits du Mas Gimel (21/10/21) (envoyée à Mr Pêcheur)

Eléments majeurs : Concentration en milligrammes/litre

Eléments traces : Concentrations en ppb (microgrammes/litres)

### PROJET MAS DE GIMEL - Puits Mr PECHEUR

analyse par chromatographie ionique

n°	Nom des échantillons	date des échantillons	T°C	C.E. (µS/cm)	T°C	pH	HCO <sub>3</sub>
1	Puits Mas Gimel	21/10/2020		798		6,5	481,1

#### Eléments majeurs

F	Cl	NO <sub>2</sub>	Br	NO <sub>3</sub>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>
Résultat mg/l											
<LD	40,9	<LD	<LD	3,5	<LD	24,5	23,2	<LD	1,2	8,8	136,8

bactériologie	
Coliforme T	Coliforme F
127,4	6,3

Analysé avec ICAP TQ THERMO SCIENTIFIC le :14/12/2020  
Opérateur :Rémi Freydlér

#### Eléments traces

Résultats en µg/L

Li	B	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
lithium	bore	sodium	magnésium	aluminium		phosphore	soufre	potassium	calcium	titane		chrome	manganèse	fer	cobalt	nickel
2,411	36,550	24739,795	9213,696	<LD	4034,31	14,342	9636,036	1413,621	169599,6	0,053	0,469	0,129	0,076	4,585	0,019	0,399

Cu	Zn	As	Se	Rb	Sr	Y	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Pr
cuivre	zinc	arsenic	sélénium				molybdène	argent	cadmium	étain	antimoine	césium	barium			
6,906	19,370	0,136	0,091	0,654	505,295	0,081	0,133	0,004	0,022	<LD	0,065	0,011	26,596	0,015	0,002	0,003

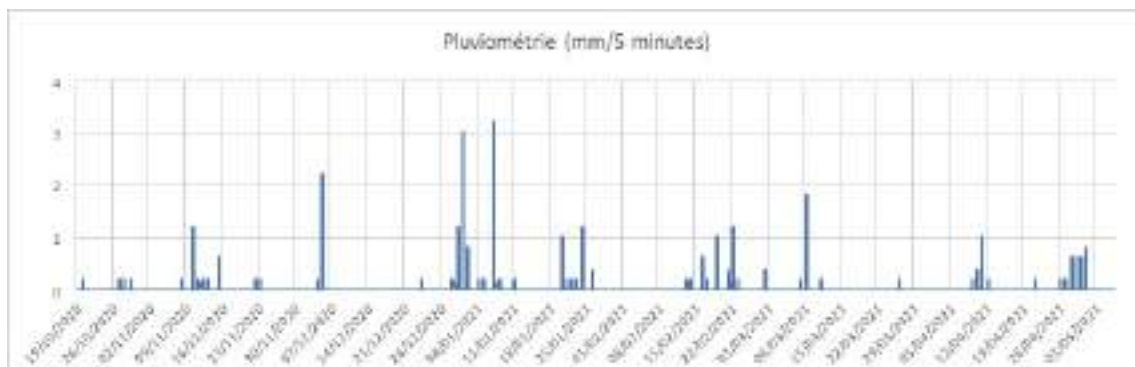
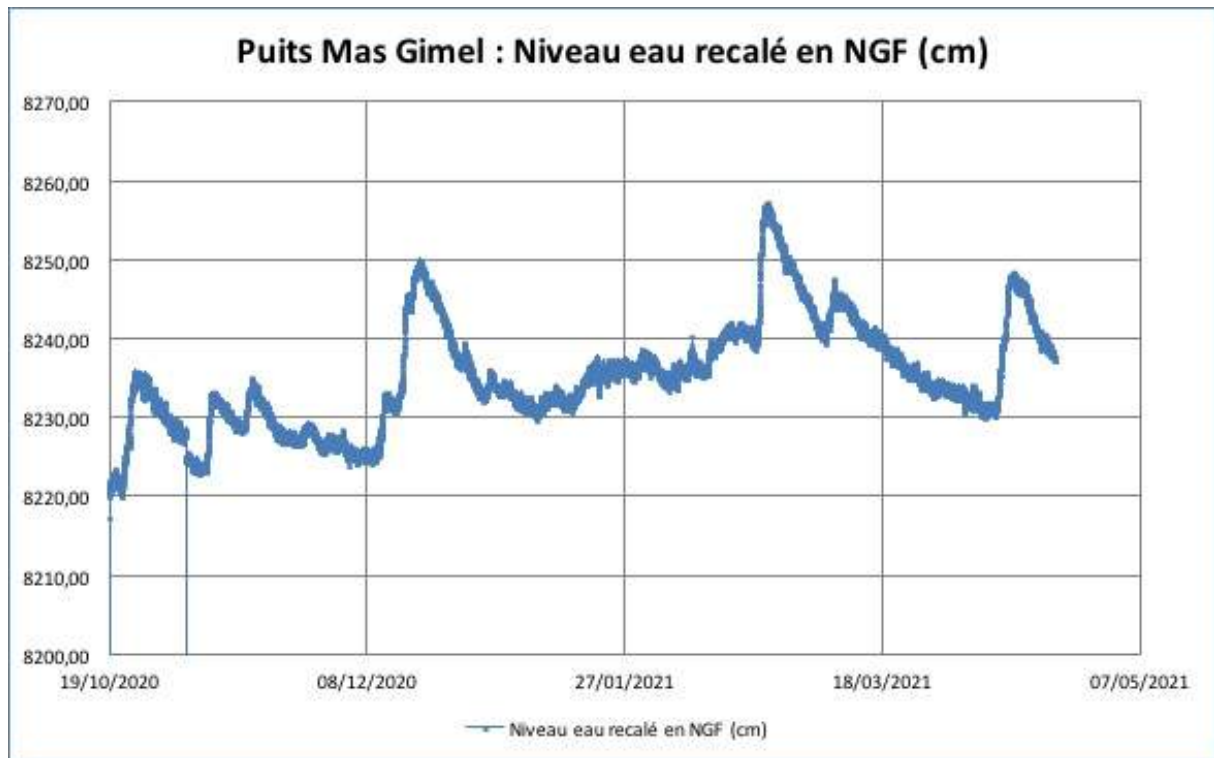
Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Tl	Pb	U
												plomb	uranium
0,013	0,003	0,001	0,008	0,001	0,004	0,001	0,004	0,001	0,004	0,001	0,005	0,067	0,411

<LD : sous la Limite de Détection

inférieur norme
potabilité mais élevée
inférieur mais proche
norme potabilité
supérieur norme
potabilité
très supérieur norme
potabilité

Fiche d'analyse d'eau du puits du Mas Gimel (21/10/21)  
(envoyée à Mr Pêcheur)

**Annexe 6 – Chronique piézométrique enregistrée sur le puits du Mas Gimel et pluviométrie sur la même période (19/10/20 au 06/05/21) (vérification de la sonde le 03/11/20)**



*Chronique piézométrique enregistrée sur le puits du Mas Gimel (19/10/21 au 06/05/21) (vérification de la sonde le 03/11/21) et pluviométrie sur la même période*

La pluviométrie correspond aux précipitations mesurées au pas de 5 minutes sur le toit de la Maison de l'Eau (Avenue Emile Jeanbrau) soit environ à 3 km sur site.