



DEMANDEUR

Régie des eaux de la Provence Verte (REPV)

52, rue des Déportés

83170 Brignoles

SITE D'ETUDE

Site de Pierroubaud

83570 CORRENS

Alimentation en eau potable de la commune de Correns

**Etude hydrogéologique préalable à l'implantation d'un piézomètre et
d'un forage d'exploitation sur le site de Pierroubaud**

Phase un : Etude hydrogéologique et technico-économique



Ingénierie du
développement des territoires
Eau - Energies renouvelables

INGENERIA_2025009_CL			
Version	Date	Rédigé par	Vérifié par
1	30/07/2025	CL	CL
2	09/09/2025	CL	CL

Avenue du huit mai 1945 – Immeuble le Mansard – Entrée A
13100 Aix-en-Provence - Tel : 06 25 62 07 95
contact@ingeneria.fr - www.ingeneria.fr

Sommaire

1	<i>Rappel du contexte</i>	<i>4</i>
2	<i>Définition de la zone d'étude.....</i>	<i>5</i>
3	<i>Connaissances des ressources du secteur.....</i>	<i>6</i>
3.1	Recensement des ouvrages présents dans la zone d'étude dans la Banque du Sous-Sol (BSS) du BRGM	6
3.2	Forages des Combes et de Pierroubaud	7
3.2.1	Forage des Combes.....	7
3.2.2	Forage de Pierroubaud	8
4	<i>Etude géologique et hydrogéologique</i>	<i>10</i>
4.1	Géologie.....	10
4.2	Hydrogéologie	10
4.3	Etude géophysique	12
4.3.1	Objet de l'étude	12
4.3.2	Travaux sur le terrain	12
4.3.3	Résultats	16
4.3.4	Conclusions sur l'étude géophysique	20
5	<i>Etude de projet pour la réalisation d'un nouveau forage sur le site de Pierroubaud...</i>	<i>22</i>
5.1	Faisabilité vis-à-vis du contexte hydrogéologique	22
5.2	Faisabilité vis-à-vis de la réglementation en vigueur	22
5.3	Proposition d'implantation des forages de reconnaissance	23
5.4	Descriptions techniques des ouvrages	23
5.4.1	Forage de reconnaissance	24
5.4.2	Forage d'exploitation.....	25
5.5	Coût des travaux.....	28
6	<i>Etude de projet pour la réalisation de la réhabilitation du forage F1 de Pierroubaud.</i>	<i>30</i>
6.1	Etat de l'ouvrage	30
6.2	Disponibilité de la ressource	30
6.3	Modalité de réhabilitation	31
6.4	Coût de l'opération.....	32

Table des illustrations

<i>Figure 1 : Localisation de la zone d'étude</i>	<i>5</i>
<i>Figure 2 : Localisation des forages les plus profonds de la zone d'étude présente dans la banque du sous-sol (BSS) du BRGM</i>	<i>6</i>
<i>Figure 3 : variation du niveau d'eau dans le forage des Combes.....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 4 : variation du niveau d'eau dans le forage de Pierroubaud</i>	<i>8</i>
<i>Figure 5 : Extrait de la carte géologique au 1 : 50 000 de Brignoles (n°1022)</i>	<i>10</i>
<i>Figure 6 : Vitesse d'écoulement en fonction de la porosité</i>	<i>11</i>

Figure 7 : situation géographique de la zone d'étude.....	14
Figure 8 : Implantation des profils sur Carte IGN.....	15
Figure 9 : Implantation des profils et des résultats sur photo aérienne.....	16
Figure 10 : Résultats du profil 1 (Pôle-Dipôle).....	17
Figure 11 : Résultats du profil 1 (Pôle-Pôle)	18
Figure 12 : résultats du profil 2 (Pôle-Dipôle).....	19
Figure 13 : résultats du profil 2 (Pôle-Pôle).....	20
Figure 14 : Proposition d'implantation du forage de reconnaissance.....	23
Figure 15 : coupe géologique et technique des forages de reconnaissance	25
Figure 16 : coupe géologique et technique du forage d'exploitation F2 de Pierroubaud	26
Figure 17 : coupe de l'ouvrage F1 après réhabilitation	32

1 Rappel du contexte

La régie des eaux de la Provence Verte (REPV), établissement public local à caractère industriel et commercial, créé par la Communauté d'agglomération de la Provence Verte, intervient pour le compte de cette dernière en matière d'alimentation en eau potable et en assainissement collectif pour une portion du territoire communautaire.

La commune de Correns est alimentée en eau potable à partir de deux forages qui alimentent le réservoir des Combes d'une capacité de 300 m³. Cet ouvrage constitue la seule unité de distribution du village.

Les forages des Combes et de Pierroubaud ont fait l'objet en 2024 et en 2025 d'une inspection télévisuelle :

- Le forage des Combes reste en bon état.
- Le forage de Pierroubaud présente des anomalies graves qui portent atteinte à sa pérennité et sa réhabilitation est nécessaire à court terme.

Pour sécuriser l'alimentation en eau potable de la commune, la REPV envisage donc la réalisation d'un nouveau forage sur le site de Pierroubaud, ainsi que la réhabilitation du forage existant. **L'objectif est de réaliser un ouvrage permettant d'exploitation du même aquifère à un débit compris entre 20 et 25 m³/h.**

La REPV a confié à INGENERIA, bureau d'études spécialisé en hydrogéologie, une mission de maîtrise d'œuvre complète. Conformément au CCTP établi par la commune, le programme consiste à :

1. Réaliser une étude hydrogéologique, permettant d'identifier les zones favorables, et d'une étude de projet
2. Réaliser un cahier des charges de travaux, aide à la construction des entreprises et dossiers administratifs,
3. Maîtrise d'œuvre des forages de reconnaissance et rapport de fin de travaux,
4. Maîtrise d'œuvre pour la transformation d'un forage de prospection en forage test avec pompage d'essai et rapport de fin de travaux.

Le présent dossier correspond à l'étude hydrogéologique préalable.

Cette étude comprend :

1. Définition de la zone d'étude
2. Recueil des données techniques et synthèse bibliographique
3. Étude géologique structurale et géomorphologique
4. Analyse multicritère de faisabilité
5. Proposition de sondages et évaluation des coûts d'accès à la ressource

2 Définition de la zone d'étude

La zone d'étude prise en compte pour la réalisation de l'étude est située dans l'emprise des périmètres de protection immédiate des forages des Combes et de Pierroubaud, dans un souci de simplification des démarches administratives (la réalisation d'un nouveau captant la même ressource dans l'emprise d'un PPI existant ne nécessite pas la réalisation d'une procédure d'autorisation complète).

Dans le cas d'une opportunité géologique et hydrogéologique avérée dans des PPI, celle-ci sera tout de même étudiée.

La REPV a mentionné que le débit minimum recherché est compris entre 20 et 25 m³/h, soit un débit similaire au forage F1 de Pierroubaud.

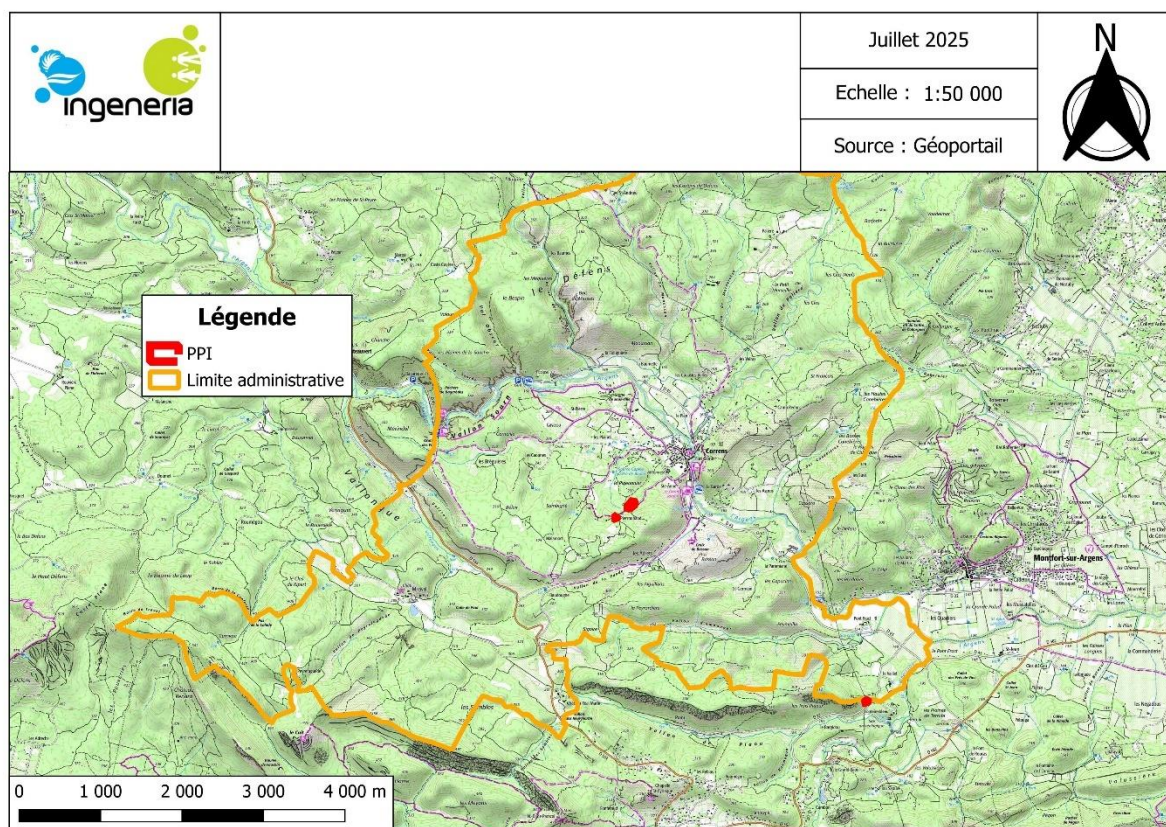


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude

3 Connaissances des ressources du secteur

3.1 Recensement des ouvrages présents dans la zone d'étude dans la Banque du Sous-Sol (BSS) du BRGM

Peu de forages sont présents dans la zone d'étude, toutefois, quelques ouvrages peuvent tout de même nous renseigner quant au caractère aquifère ou non des formations géologiques locales (Figure 2) :

Code BSS	Localisation par rapport au site de Pierroubaud	Prof. (m)	Description géologique ou hydrogéologique
BSS004KFPD	Au Sud-Ouest	110	Calcaires argileux et tufs arrivées d'eaux à 60 et 90 mètres de profondeur ; débit de production de l'ordre de 1 m ³ /h Forage situé en bordure méridionale des formations dolomitiques du Jurassique
BSS002JRLB	Au Nord-Ouest	76	Forage domestique, peu d'information Niveau d'eau à 200 m NGF

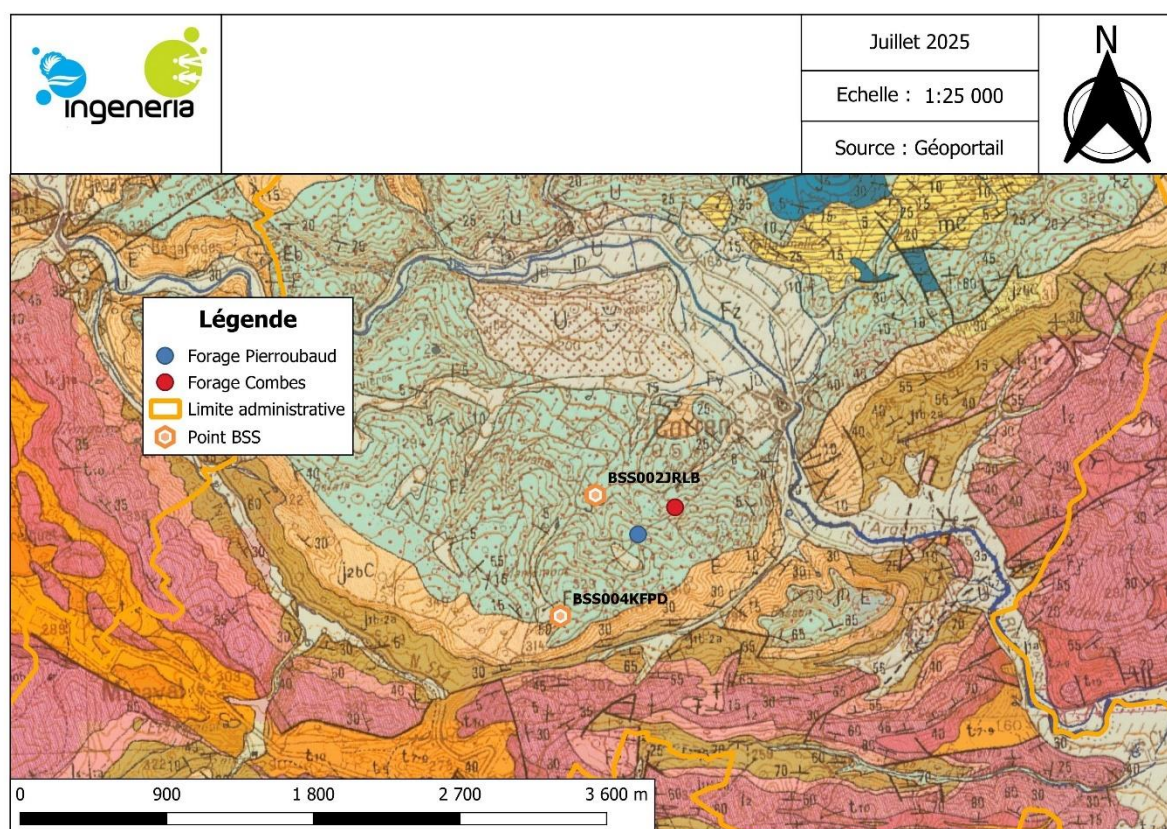


Figure 2 : Localisation des forages les plus profonds de la zone d'étude présente dans la banque du sous-sol (BSS) du BRGM

3.2 Forages des Combes et de Pierroubaud

3.2.1 Forage des Combes

La coupe géologique du forage des Combes est la suivante :

- De 0 à 49 m : dolomies blanches, sèches et argileuses
- De 49 à 88 m : dolomies jaunes et des calcaires dolomitiques durs
- De 88 à 150 m : des calcaires marneux gris-bleu fissurés

Les arrivées d'eau ont été observées entre 45 et 49 mètres, puis à partir de 88 mètres.

L'ouvrage a été équipé d'un tubage en acier diamètre 210/219 mm jusqu'à 140 m, une zone crépinée est présente entre 45 et 135 mètres.

Des travaux de décolmatage à l'acide chlorhydrique et injection de polyphosphates ont été réalisés, mais aucune augmentation notable de débit n'a été enregistrée au soufflage air lift pendant ces travaux.

Les essais de pompage ont permis de mettre en évidence la présence d'un débit spécifique de 0,145 m³/h/m soit un débit de l'ordre de 1,45 m³/h pour un rabattement de 10 mètres. Les conclusions de l'essai de pompage sont que le débit maximum de l'ouvrage n'a pas été atteint, mais qu'il est inférieur à 15 m³/h.

Lors de la réalisation du forage en 1990, le débit spécifique était faible de l'ordre de 0,145 m³/h/m (soit un rabattement de 82 m pour un pompage à 12 m³/h). Cette valeur est extrapolation, étant donné que les essais de pompage n'ont pas été réalisés à un débit supérieur à 10 m³/h.

Actuellement le forage est exploité à 12 m³/h, ce débit correspond au débit maximum durant le jour de pointe (233 m³/j).

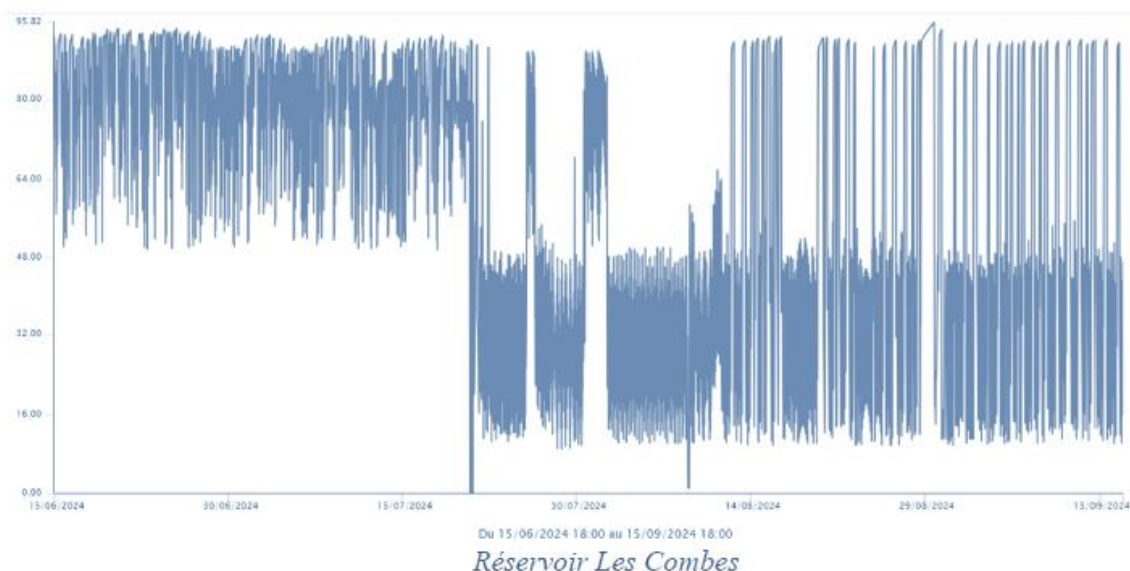


Figure 3 : variation du niveau d'eau dans le forage des Combes

Le niveau d'eau au repos dans le forage semble quasi stable dans le temps à environ 90 mètres au-dessus de la sonde. Compte tenu des capacités de production de l'ouvrage, il est donc logique de retrouver une baisse rapide du niveau d'eau dans le forage.

Bien que le forage des Combes ne soit pas bien connecté à l'aquifère, provoquant ainsi un rabattement important lors des phases de pompage, la stabilité du niveau statique témoigne d'une bonne capacité de production de l'aquifère.

3.2.2 Forage de Pierroubaud

La coupe géologique du forage de Pierroubaud est la suivante :

- De 0 à 105 m : calcaires beiges fracturés
- De 105 à 180 m : calcaires marneux gris noir

N.B : les calcaires beiges fracturés correspondent à des dolomies blanches (visibles à l’affleurement) avec des passages de calcaires dolomitiques.

Les arrivées d’eau ont été rencontrées à des profondeurs de 18, entre 35 et 40 m et à 100 m. Les formations marneuses constituent le Bathonien, d’après la notice de la carte géologique, ces formations disposent d’une puissance comprise entre 200 et 250 mètres. Les formations sous-jacentes du Lias et du Trias peuvent être aquifère, mais l’épaisseur de marnes à traverser est trop importante et augmenterait considérablement le prix du forage.

Les essais de pompage menés à la suite des travaux de forage ont permis de mettre en évidence un rabattement de l’ordre de 14,92 m à un débit de 29,7 m³/h, sans réelle stabilisation. Aucune interprétation de ce pompage n’a été faite ou communiquée et le débit de fonctionnement de cet ouvrage n’a pas été prescrit.

L’essai a également permis de mettre en évidence une relation entre le forage de Pierroubaud et le forage des Combes. Le rabattement maximum observé sur le forage des Combes est de l’ordre de 4,48 m.

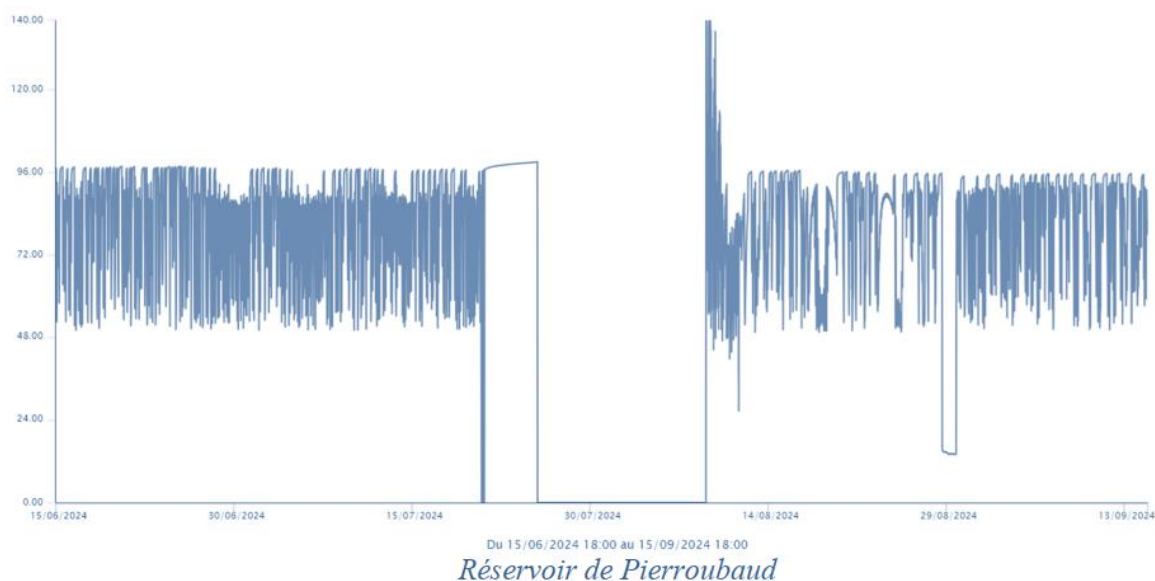


Figure 4 : variation du niveau d’eau dans le forage de Pierroubaud

Nous ne disposons pas d’interprétation des essais de pompage sur le forage de Pierroubaud, nous ne sommes donc pas en mesure de définir un débit spécifique. Toutefois, l’allure des courbes de niveau est très similaire avec celles du forage des Combes, on peut donc supposer que le débit de production de cet ouvrage est similaire.

Les forages des Combes et de Pierroubaud disposent de comportement en pompage semblable avec un rabattement conséquent en pompage (débit spécifique de seulement 0,145 m³/h/m). Ces forages semblent être en surexploitation et de nombreuses phases de pompage sont réalisées (2 à 3 fois par heures). La stabilité du niveau statique témoigne d’un aquifère pérenne, mais mal connecté avec les forages. La nature dolomitique de l’aquifère le rend très peu réactif au développement par acidification. Il est possible d’envisager un développement de l’ouvrage par air choc mais son

efficacité reste limitée. En l'état de nos connaissances actuelles, la réalisation d'un nouveau forage disposant d'un débit de l'ordre de 25 m³/h semble être peu réaliste. Un débit compris entre 10 et 15 m³/h serait un très bon compromis entre la capacité de production de l'aquifère et les besoins de pointe de la commune (12 m³/h).

4 Etude géologique et hydrogéologique

4.1 Géologie

Le forage des Combes et de Pierroubaud se situe sur le flanc Sud d'un synclinal Jurassique indifférencié dolomitique traversé sensiblement d'Ouest en Est par l'Argens et ses alluvions récentes

Le cœur du synclinal est occupé par des calcaires lacustres et travertins (du miocène) et des entablements de tufs recouvrent localement les alluvions modernes. Au Sud-Est de Correns, un repli anticlinal fait affleurer des calcaires et marno-calcaire (bathonien supérieur) favorisant l'émergence de la source du Pré de Boutin située à 0,45 km au NNW du forage des Combes.

Les formations dolomitiques reposent sur des formations marneuses du Bathonien d'une puissance de l'ordre de 250 mètres.

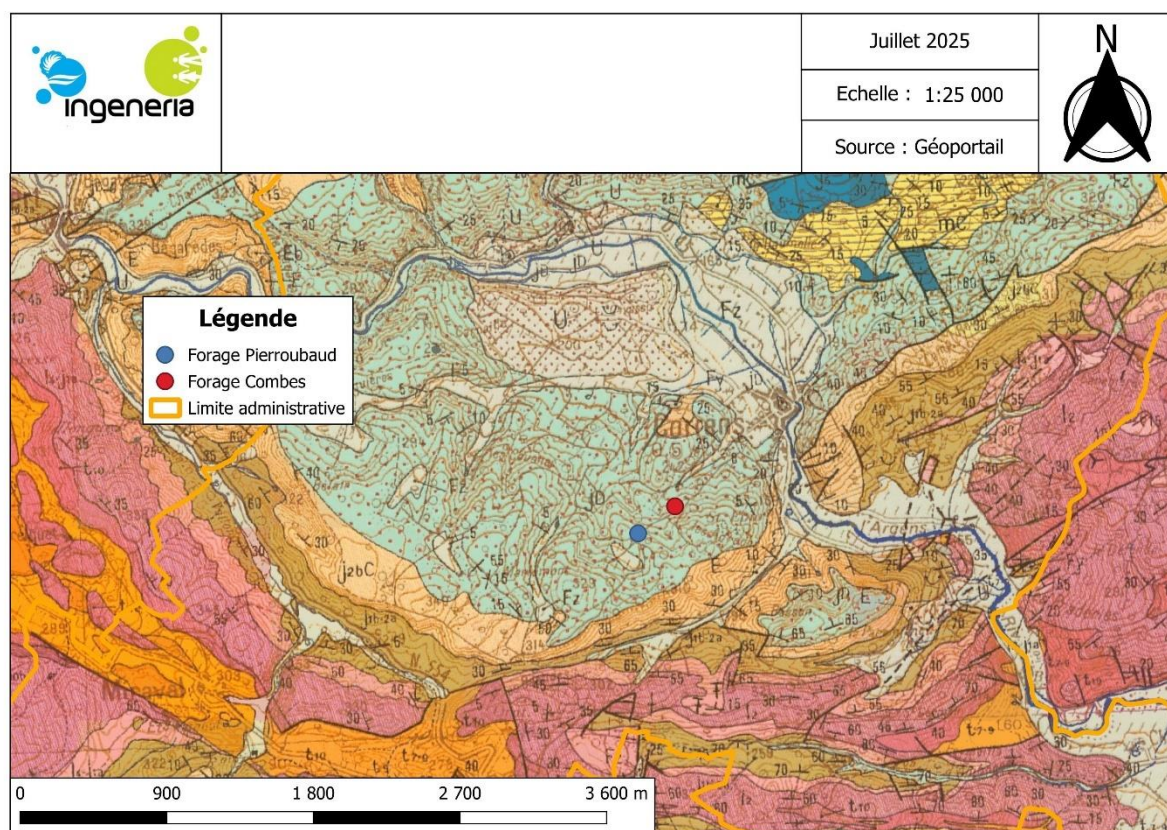


Figure 5 : Extrait de la carte géologique au 1 : 50 000 de Brignoles (n°1022)

4.2 Hydrogéologie

La nature aquifère d'un terrain (c'est-à-dire sa capacité à contenir une nappe d'eau souterraine) est liée à sa porosité et à sa perméabilité :

- **Porosité** = présence de vides. Ici, nous observons 3 types de porosité : celle des galeries karstiques (suspectée dans notre zone d'étude), aussi appelées « porosité en grand », celles des fractures de la roche appelée « porosité de fissures » et celle des matrices poreuses appelées « porosité d'interstices ».

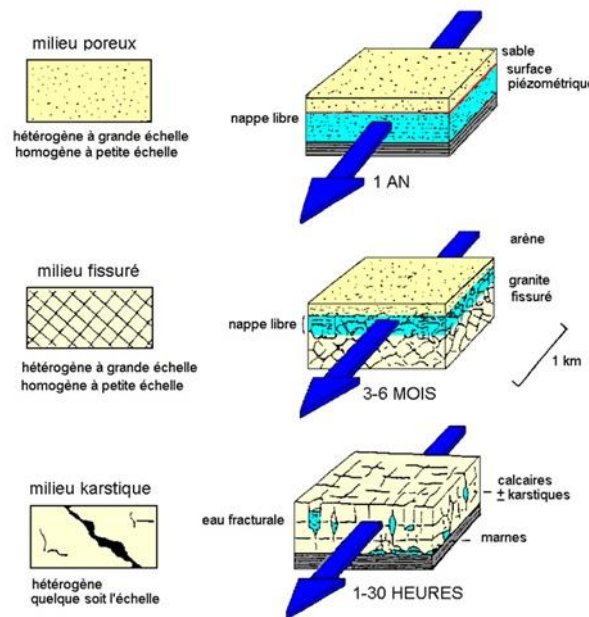


Figure 6 : Vitesse d'écoulement en fonction de la porosité

- **Perméabilité** = capacité de l'eau à circuler dans le terrain. Elle est liée à la porosité efficace, impliquant que les « vides » soient reliés entre eux (sinon, l'eau reste « piégée » dans le terrain).

Nature des roches	Coefficient de perméabilité (m/s)
Graviers (alluvions)	10^{-2}
Calcaires	10^{-2} à 10^{-6}
Grès et Pelites	10^{-7}
Schiste	10^{-7} à 10^{-10}
Argile	10^{-7} à 10^{-10}

Plus la valeur du coefficient de perméabilité est faible, plus la perméabilité est faible. Pour rappel, $10^{-2} = 0,01$ et $10^{-10} = 0,0000000001$.

Du point de vue hydrogéologique, il existe de façon générale au sein des dolomies :

- Des circulations d'eau favorisées par des accidents tectoniques (faille) et/ou l'existence d'un véritable karst (vides importants, grottes souterraines, relais) à différents niveaux
- La présence d'une nappe « continuée », localement et en fonction de la dolomitisation des calcaires

Plusieurs forages privés captent les eaux contenues au sein de ce massif dolomitique. Trois d'entre eux indiquent un niveau d'eau à faible profondeur (de 7,8 à 8,7 m).

L'étude géophysique va nous permettre de localiser la présence de zones fortement remaniées ou karstifiées pour implanter au mieux les forages de reconnaissance.

4.3 Etude géophysique

4.3.1 Objet de l'étude

A la demande de la société INGENERIA et pour le compte de la Régie des Eaux de la Provence Verte (REPV) le Bureau de Recherche et de Prospection Géophysique a effectué une campagne de mesures électriques au Sud du territoire de la commune de CORRENS (83) centrée sur le Périmètre de Protection Immédiat du forage de Pierroubaud.

La REPV envisage la création d'un nouveau forage dans l'enceinte du PPI et la réhabilitation du forage existant.

Cette étude, effectuée par la méthode de l'Imagerie Electrique (panneaux électriques), a pour but d'une part de situer le secteur du PPI dans son environnement géologique rapproché , nature, karstification et fracturation des dolomies, et d'autre part de reconnaître de part et d'autre du PPI d'éventuelles nouvelles structures pouvant être favorables à la présence et à la circulation des eaux souterraines pouvant ainsi proposer une alternative à l'implantation d'un nouveau forage à proximité et avec de meilleures garanties.

L'imagerie électrique permet d'obtenir le long de profils rectilignes des coupes en 2D, en continu, ici jusqu'à 200 mètres d'épaisseur environ, visualisant les variations de la résistivité dans le sous-sol.

La répartition des résistivités électriques en profondeur souligne les diverses unités et structures géologiques (massifs homogènes, variations de faciès, failles, zones d'altération, zones massives...) et oriente ainsi l'implantation de forages de reconnaissance.

4.3.2 Travaux sur le terrain

Cette campagne de mesures s'est déroulée le mardi 18 mars 2025.

Deux profils d'imagerie électrique ont été effectués, implantés au mieux selon les indications de l'hydrogéologue de la société INGENERIA, M. Cyrille LASCOMBES présent sur le terrain.

Les 2 profils sont longs de 315 m, constitués de 64 électrodes alignées, distantes entre elles de 5 m.

Le profil P1, situé le plus au Sud et à l'amont, est orienté NW/SE.

Il débute au NW dans une parcelle débroussaillée (pare-feu) qu'il reconnaît entre les électrodes 1 et 20. A partir de l'électrode 21 il rejoint le chemin de Pierroubaud côté amont, face au grillage du PPI du forage qu'il suit jusqu'à l'électrode 30. Il continue ensuite vers le SE en suivant le chemin principal jusqu'à l'électrode 43 puis un chemin privé jusqu'à son extrémité, électrode 64.

Le profil P2 est orienté SW/NE. Il débute, électrode 1, devant le portail d'une propriété privée, puis suit un chemin d'accès jusqu'à l'électrode 10. Il rejoint le chemin de Pierroubaud et recoupe le profil P1. Il suit ensuite et descend le chemin de Pierroubaud vers le NE jusqu'à son extrémité, électrode 64 située à proximité de l'angle de clôture du PPI du forage des Combes et du réservoir. Les électrodes 11 à 23 se situent face au grillage du PPI du forage de Pierroubaud.

La position exacte de toutes les électrodes a été relevée au GPS.

Les mesures ont été effectuées en utilisant d'une part la configuration classique du quadripôle « ABMN » selon la technique du pôle-dipôle qui permet une investigation de 100 m de profondeur environ pour un profil de 300 m. A et B sont les électrodes d'injection du courant et M et N sont les électrodes de mesure du potentiel. Une des électrodes d'injection du courant dite à « l'infini » est positionnée à environ 800, perpendiculairement (voir annexe : Méthodologie).

D'autre part, afin de doubler la profondeur d'investigation (environ 200 m), le protocole pôle –pôle a également été utilisé pour les 2 profils.

Moins précis que le précédent et délicat à mettre en œuvre, il permet de visualiser les structures générales. Il nécessite la mise en place d'une deuxième électrode dite « à l'infini », électrode de mesure du potentiel, située au mieux symétriquement à la première par rapport au profil.

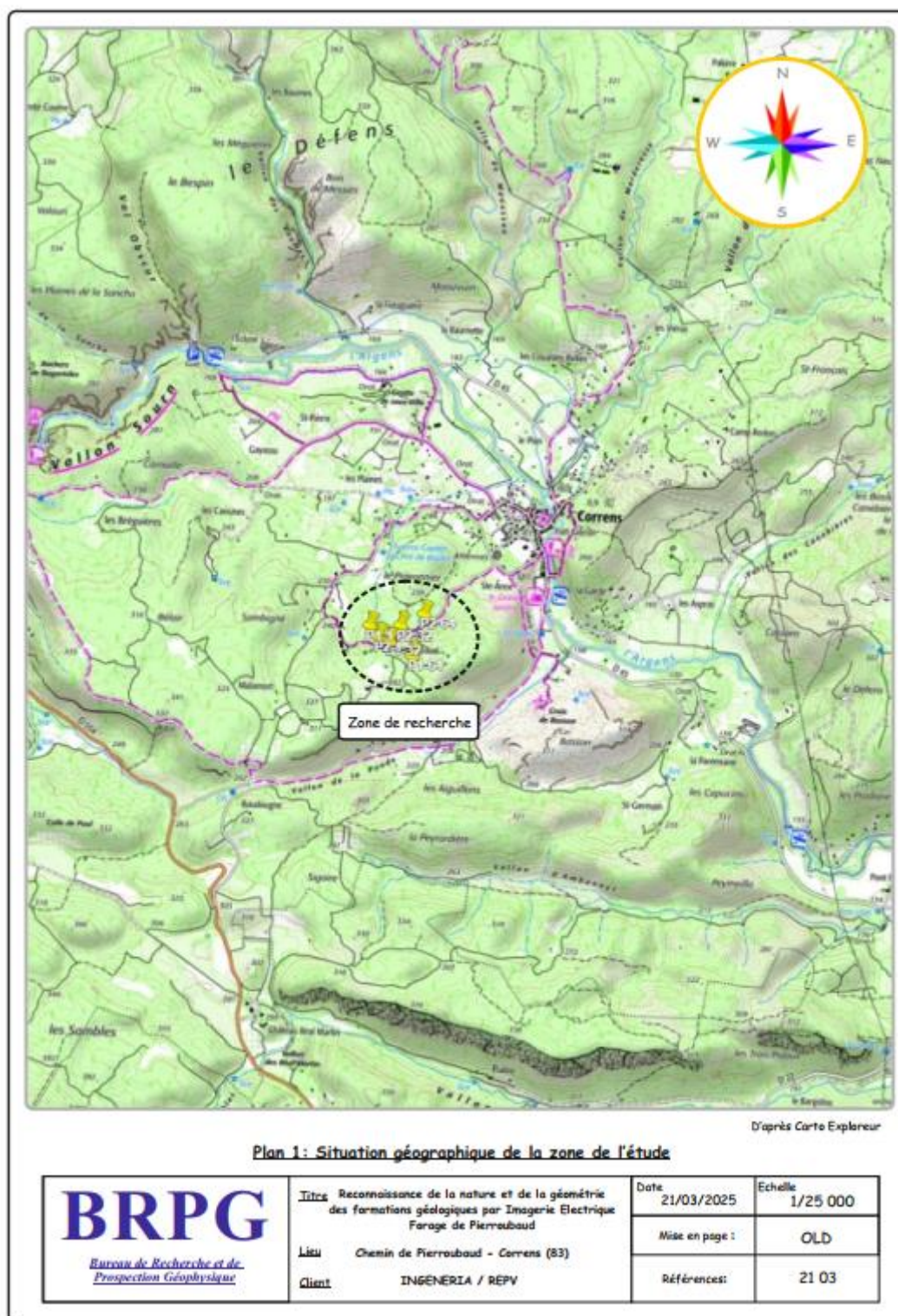


Figure 7 : situation géographique de la zone d'étude

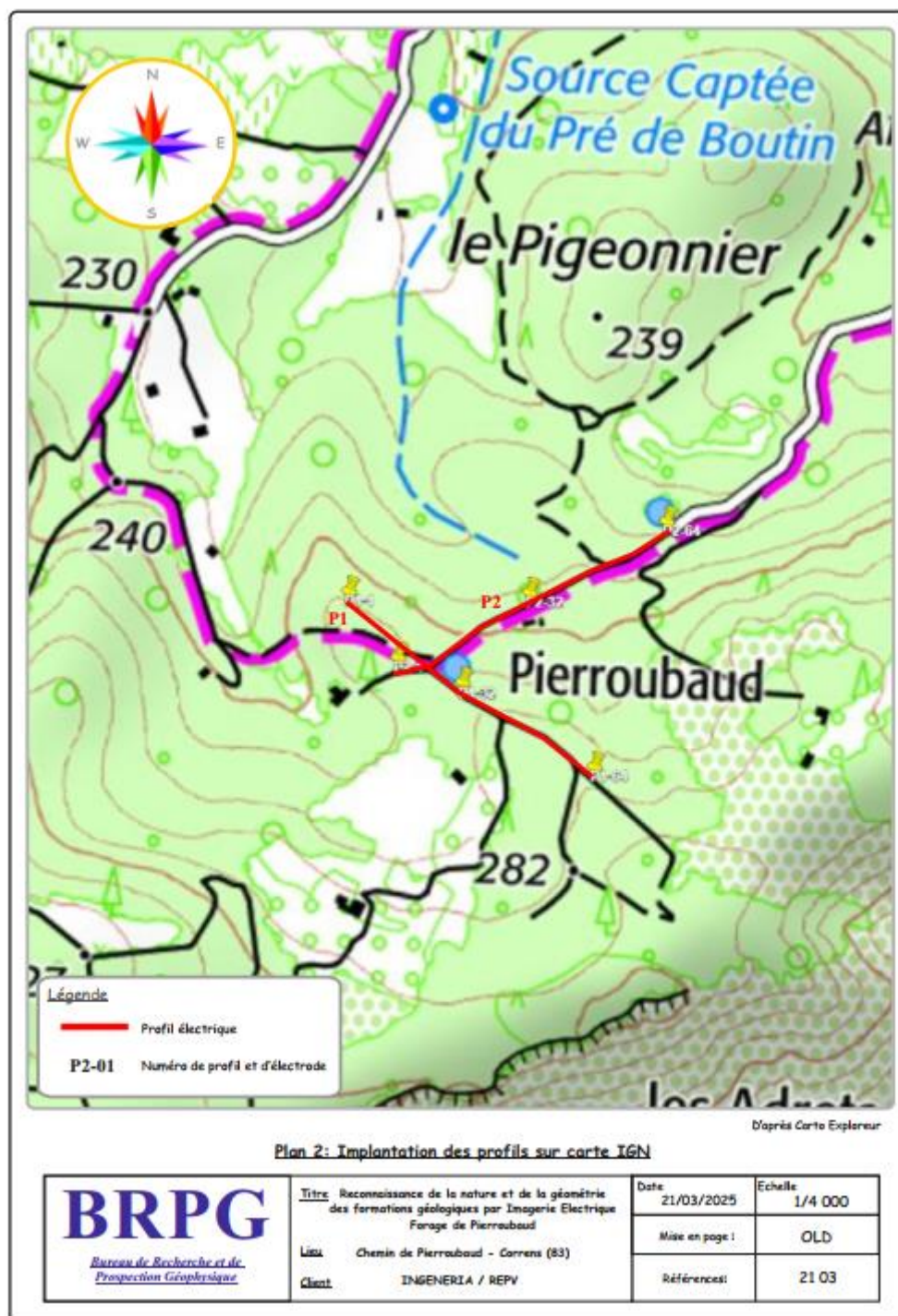


Figure 8 : Implantation des profils sur Carte IGN

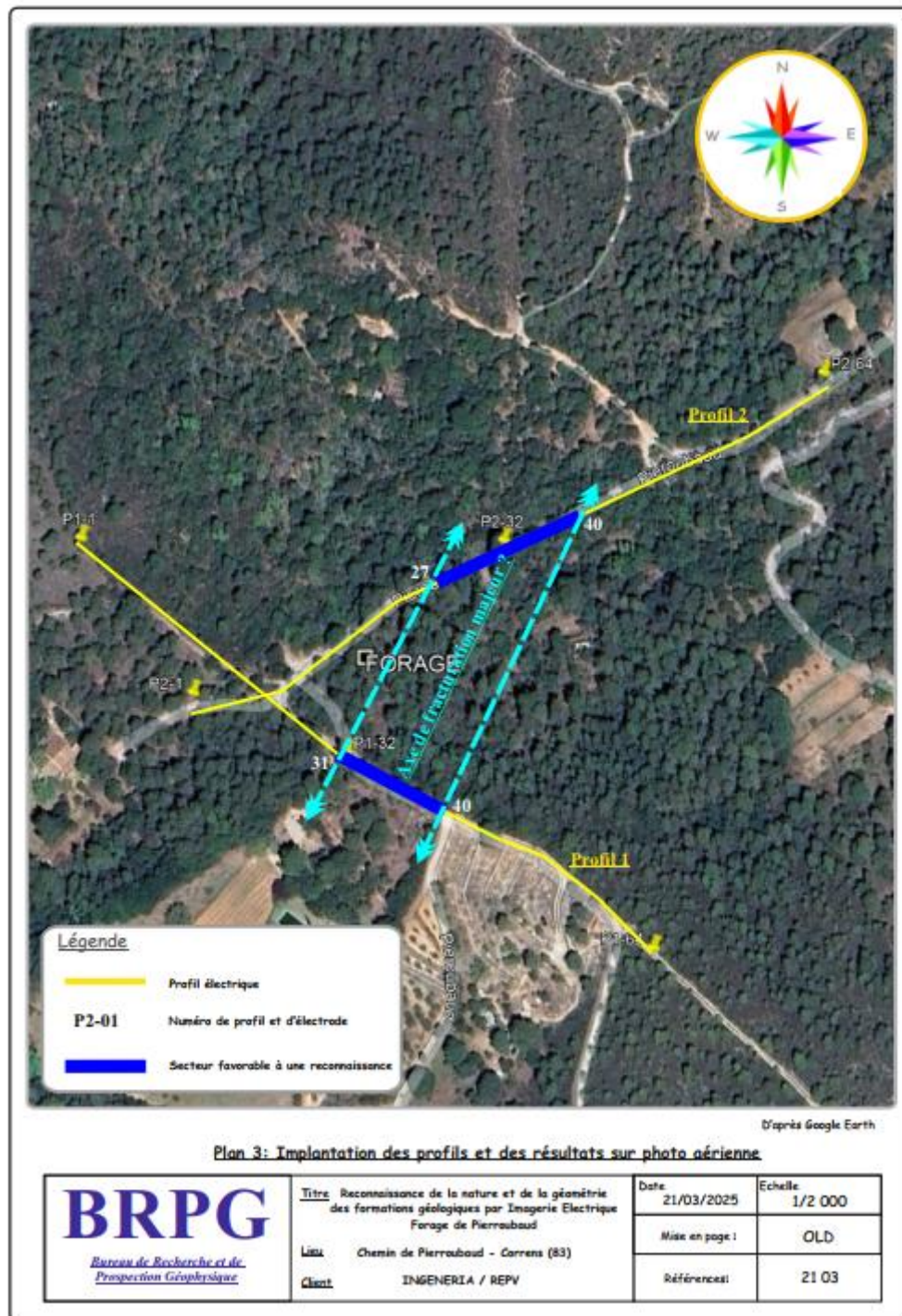


Figure 9 : Implantation des profils et des résultats sur photo aérienne

4.3.3 Résultats

4.3.3.1 Profil P1 pôle dipôle

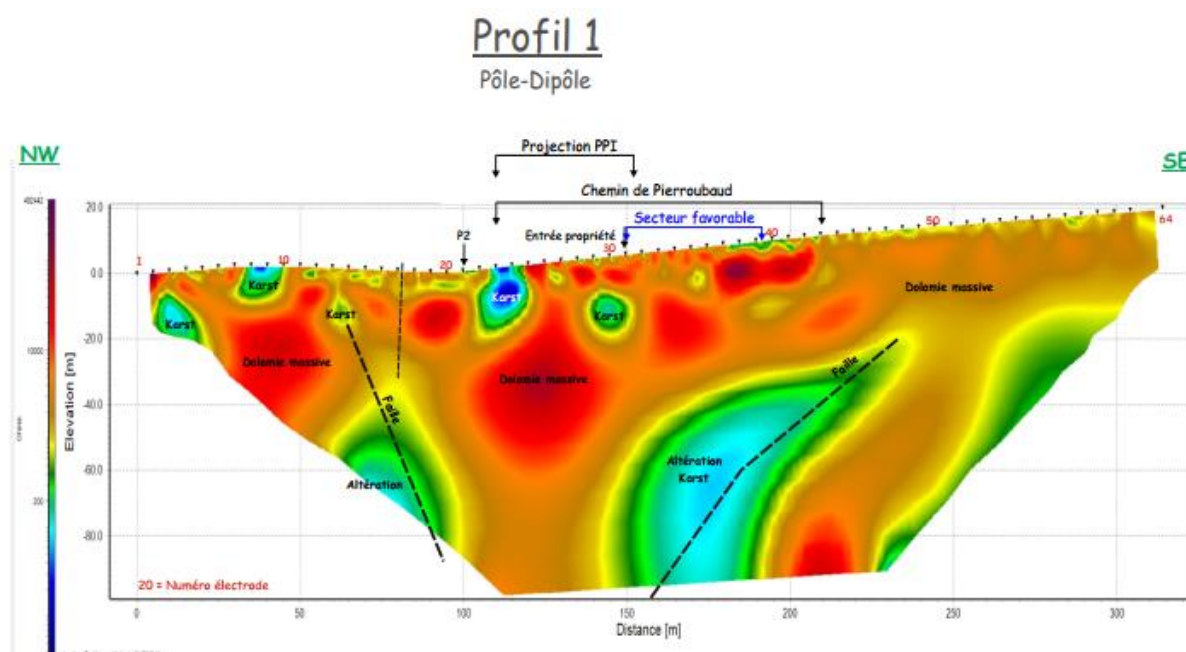
La coupe du profil P1, présentée figures 1a et 1a', montre d'une manière générale sur les 90 m d'épaisseur reconnus une formation résistante, $R > 1000$ ohms, signalant des dolomies massives et/ou les calcaires massifs reconnus par le forage de Pierroubaud au sein desquels différentes formes d'altération se développent : failles, fractures et formes diverses de karstification.

On note en particulier le passage de 2 failles importantes s'initiant en surface et altérant le substratum en profondeur entre 40 et 80 m de profondeur :

- dans la moitié NW une faille s'initie en surface au niveau de l'électrode 12 et plonge en profondeur vers le SE provoquant une altération importante au droit des électrodes 15 à 18 à partir de 45 m de profondeur.
- dans la moitié SE une structure conductrice allongée débutant au droit de l'électrode 50 vers 30 m de profondeur plonge vers le NW puis se développe verticalement à partir de 50 m de profondeur sur une zone centrée sur les électrodes 35-36 d'une trentaine de mètres de large.

Ces 2 accidents verticaux séparés par un axe massif, électrodes 20 à 30, provoquant altération et karstification profondes sont des structures favorisant la présence et la circulation des eaux souterraines.

Plus superficiellement, on note la présence dans le massif résistant de poches ovoïdes signalant a priori des cavités karstiques, électrodes 2,9, 23, 30.



4.3.3.2 Profil P1 Pôle Pôle

La coupe profonde effectuée en mode pôle-pôle schématise les structures mises en évidence et détaillées sur la coupe précédente.

On note à partir de la surface :

- sur 30 à 50 m d'épaisseur, la présence des dolomies massives, résistantes électriquement et altérées localement par quelques poches karstiques et le passage de deux accidents (failles) détaillés sur la figure précédente.
- à partir de 50 m de profondeur 2 unités massives développées au NW, électrodes 1 à 20, et au SE, électrodes 40 à 55 jusqu'à 100 à 150 m de profondeur encadrent une poche d'altération d'une trentaine de mètres d'épaisseur centrée sur l'électrode 32, karstification provoquée a priori par les 2 failles
- sous ces 2 unités massives et la poche d'altération, les valeurs moyennes de résistivité de l'ordre de 300 ohms (couleur verte) peuvent signaler les calcaires marneux gris reconnus par le forage de Pierroubaud à 105 m de profondeur.

En profondeur au-delà de 180 m environ, une unité conductrice (couleur bleue) apparaît pouvant signaler soit à un caractère marneux des calcaires qui s'accroît avec la profondeur, soit à la limite de la méthode (le courant ne pénétrant pas assez profondément).

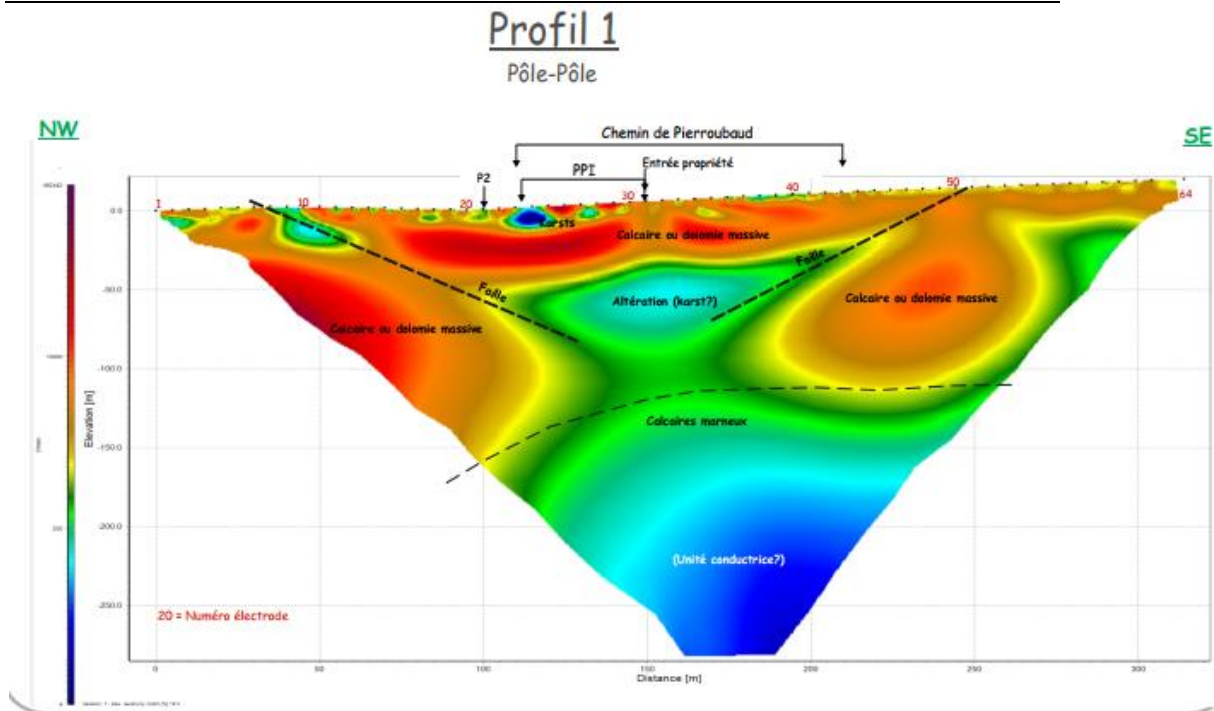


Figure 11 : Résultats du profil 1 (Pôle-Pôle)

4.3.3.3 Profil P2 Pôle Dipôle

Comme pour le profil P1 la coupe de ce profil P2 présente des dolomies massives a priori, mais localement altérées par de la karstification et de la fracturation.

On note la présence de failles et fractures plus ou moins verticales s'initiant en surface au niveau des électrodes 10, 16, 28 et 48 et altérant sur leur tracé les dolomies. Ces failles sont soulignées par le développement de structures karstiques.

De part et d'autre du profil, les dolomies restent massives :

- au SW, à l'amont, électrodes 9 à 20, les dolomies massives, $R > 1000$ ohms, présentent quelques structures karstiques conductrices. Avec la profondeur les valeurs de résistivité diminuent progressivement, soulignant le caractère moins massif et/ou plus marneux des matériaux.
- au NE, à l'aval, électrodes 47 à 64, dolomies massives résistantes altérées par le passage d'une faille s'initiant en surface au niveau de l'électrode 48 et plongeant légèrement vers le SW et présence d'une poche karstique au droit de l'électrode 52 entre 10 et 20 m de profondeur

Entre ces 2 unités massives, électrodes 20 à 47, à partir de 60 m de profondeur, sous des dolomies très massives, une poche conductrice importante se développe en profondeur centrée sur le secteur de l'électrode 30 et se poursuit au-delà de la coupe signalant une forte altération des dolomies.

Cette structure karstique, aquifère a priori, est favorable à la présence et à la circulation des eaux souterraines. Son potentiel peut être reconnu par forage à partir du secteur de l'électrode 30 (secteur favorable à une reconnaissance de la structure karstique : électrodes 27 à 39).

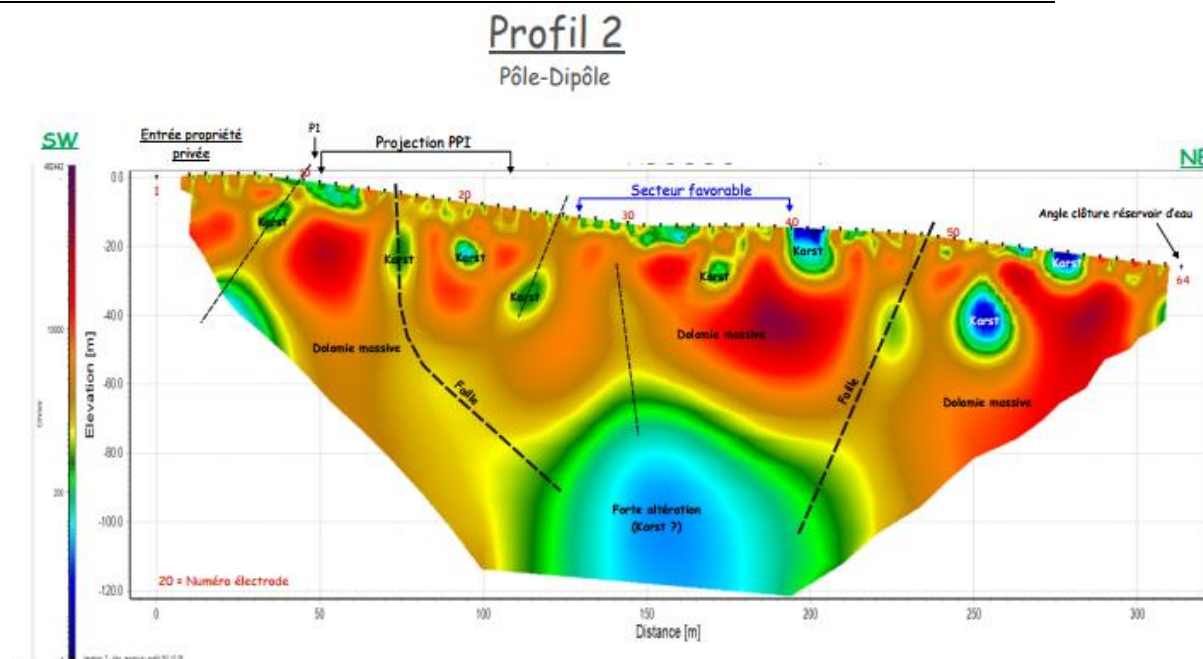


Figure 12 : résultats du profil 2 (Pôle-Dipôle)

4.3.3.4 Profil P2 Pole Pôle

La coupe profonde du profil P2 effectuée en mode pôle-pôle confirme la nature et la géométrie générale des structures détaillées sur la coupe précédente en les schématisant.

On note essentiellement sous l'unité de dolomies massives développées dès la surface sur 60 à 120 m de profondeur et altérées par des failles et des structures karstiques la présence au centre du profil, électrodes 27 à 40, d'une structure conductrice qui limite l'épaisseur des dolomies massives et signalent la présence d'une forte altération et/ou karstification du massif dolomitique.

- -électrodes 1 à 27 : dolomies massives sur 40 à 60 m d'épaisseur recoupées par 2 failles.

Au-delà de 60 m de profondeur, les résistivités baissent, signalant un passage progressif à des faciès plus conducteurs (calcaires marneux).

- -électrodes 27 à 40 : dolomies massives sur 60 à 70 m de profondeur surmontant une structure de forte altération d'épaisseur conséquente, mais difficile à préciser, les faciès conducteurs limitant la profondeur d'investigation de la méthode.
- -électrodes 40 à 64 : ensemble dolomitique massif recoupé par une structure d'altération regroupant fracturation et karstification plongeant vers le SW à partir de l'électrode 52.

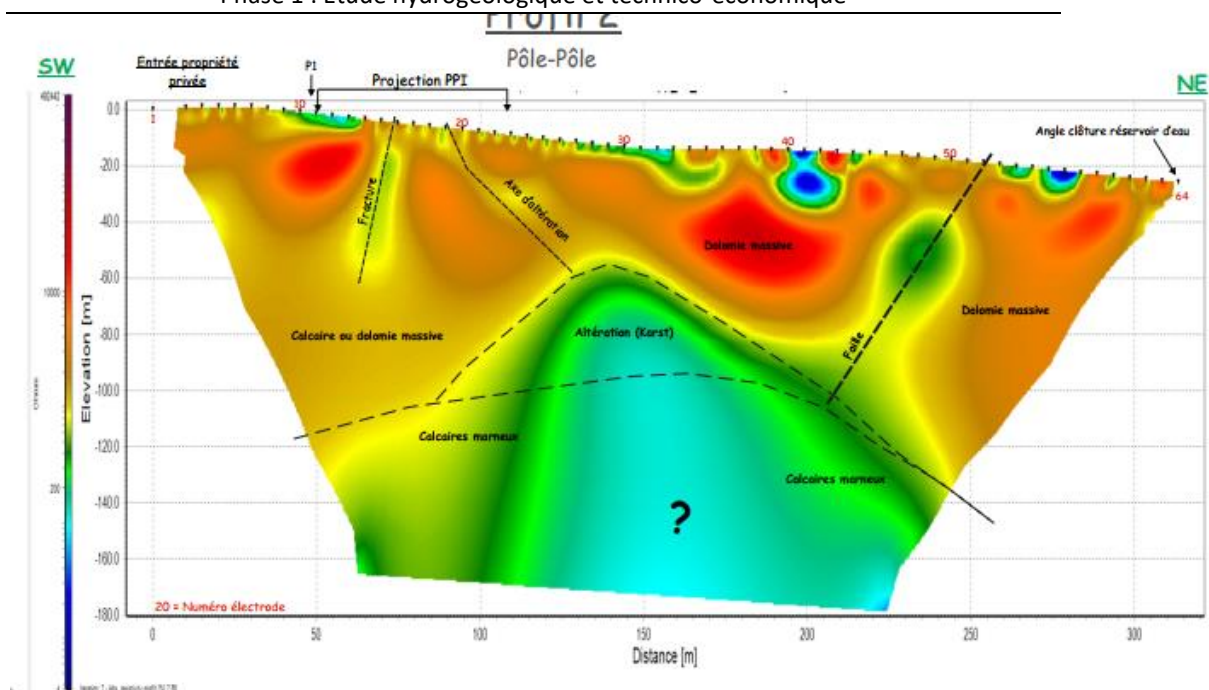


Figure 13 : résultats du profil 2 (Pôle-Pôle)

4.3.4 Conclusions sur l'étude géophysique

Les coupes des profils P1 et P2 ont permis de visualiser et de positionner au sein du massif dolomitique diverses structures d'altération et/ou de karstification pouvant faciliter la présence et la circulation des eaux souterraines.

Sur chacun des profils, une zone d'altération intense bien développée a été mise en évidence sous une cinquantaine de mètres de dolomies massives et positionnée par rapport au PPI du forage de Pierroubaud :

- Profil P1 : Au Sud, à l'amont, la zone d'altération se situe très légèrement au SE du PPI au niveau des électrodes 31 à 40 alors que l'enclos du PPI se situe au niveau des électrodes 22 à 30
- Profil P2 : Au Nord, à l'aval, la zone d'altération se situe au NE du PPI au niveau des électrodes 27 à 40 alors que l'enclos du PPI se situe au niveau des électrodes 11 à 22 une trentaine de mètres à l'amont.

Ces 2 structures d'altération conductrices se situant à des profondeurs comparables peuvent signaler une seule et même structure, axe de fracturation et/ou de karstification majeur, orienté NE/SW et dont le tracé longerait le PPI du forage de Pierroubaud du côté est.

L'étude géophysique effectuée par imagerie électrique à CORRENS, au Sud de la commune, secteur du forage de Pierroubaud a permis de reconnaître au voisinage du forage de Pierroubaud et au droit des 2 profils d'imagerie électrique effectués la nature et la géométrie des formations géologiques sur plus de 150 m d'épaisseur.

Plusieurs structures d'altération et de karstification a priori favorables à la présence et à la circulation des eaux souterraines ont été positionnées au sein du massif dolomitique.

Les plus remarquables se situent sur le profil P1 au droit des électrodes 31 à 40 et sur le profil P2 au droit des électrodes 27 à 40.

Elles peuvent être reconnues par des forages implantés dans le secteur de l'électrode 32 pour le profil P1 et dans le secteur de l'électrode 30 pour le profil P2.

La mise en plan de ces anomalies conductrices montre également qu'une structure reliant ces 2 secteurs aquifères a priori longerait le PPI du forage de Pierroubaud sur tout son côté est.

5 Etude de projet pour la réalisation d'un nouveau forage sur le site de Pierroubaud

5.1 Faisabilité vis-à-vis du contexte hydrogéologique

Les forages des Combes et de Pierroubaud disposent de comportement en pompage semblable avec un rabattement conséquent en pompage (débit spécifique de seulement 0,145 m³/h/m). Ces forages semblent être en surexploitation et de nombreuses phases de pompage sont réalisées (2 à 3 fois par heures). La stabilité du niveau statique témoigne d'un aquifère pérenne, mais mal connecté avec les forages. La nature dolomitique de l'aquifère le rend très peu réactif au développement par acidification. Il est possible d'envisager un développement de l'ouvrage par air choc mais son efficacité reste limitée. En l'état de nos connaissances actuelles, la réalisation d'un nouveau forage disposant d'un débit de l'ordre de 25 m³/h semble être peu réaliste. Un débit compris entre 10 et 15 m³/h serait un très bon compromis entre la capacité de production de l'aquifère et les besoins de pointe de la commune (12 m³/h).

Les forages existants captent l'eau contenue dans les formations dolomitiques du Jurassique sur une épaisseur de 100 m. A partir de cette profondeur, les forages rentrent dans des formations marneuses non productives et dépourvues d'arrivée d'eau. L'épaisseur de ces formations imperméables est de l'ordre de 250 mètres. Nous préconisons donc la réalisation de forage de 110 mètres de profondeur, cette profondeur, pourra être adaptée en fonction des observations géologiques en cours de foration.

L'étude géophysique a permis de mettre en évidence la présence d'une zone fortement fracturée pouvant être favorable pour la recherche en eau. Cette zone peut présenter un potentiel aquifère supérieur aux forages existants, toutefois, il paraît plus raisonnable de rechercher un débit de l'ordre de 15 m³/h.

La faisabilité du projet vis-à-vis du contexte hydrogéologique est bonne

5.2 Faisabilité vis-à-vis de la réglementation en vigueur

La réalisation d'un forage est soumise à plusieurs contraintes réglementaires :

- Réalisation d'une étude cas par cas pour la réalisation de tout forage d'une profondeur supérieure à 50 mètres
- Réalisation d'un dossier loi sur l'eau pour l'autorisation des travaux de forage et des essais de pompage
- Dans le cas d'un forage réalisé dans l'emprise d'un périmètre de protection immédiate d'un forage existant et, dans le cas où le forage capte la « même » eau, la réalisation d'une autorisation pour les prélèvements n'est pas nécessaire, seul un porté à connaissance est à transmettre à l'ARS.

Le projet est inclus dans plusieurs zones protégées :

- Zone Natura 2000 FR9301626 « Val d'Argens »
- ZNIEFF de type 2 930012477 « Vallon Sourn »
- Zone Humide « zone des Sources les Plaines Vallon Sourn – Bois de Correns identifiant 83CGLVAR0700

Ces zones protégées ne constituent pas un point de blocage pour la réalisation d'un nouveau forage.

La faisabilité du projet est bonne vis-à-vis de la réglementation en vigueur

5.3 Proposition d'implantation des forages de reconnaissance

L'étude géophysique a permis de mettre en évidence la présence d'une zone fortement fracturée pouvant présenter un potentiel aquifère supérieur par rapport aux forages existants :

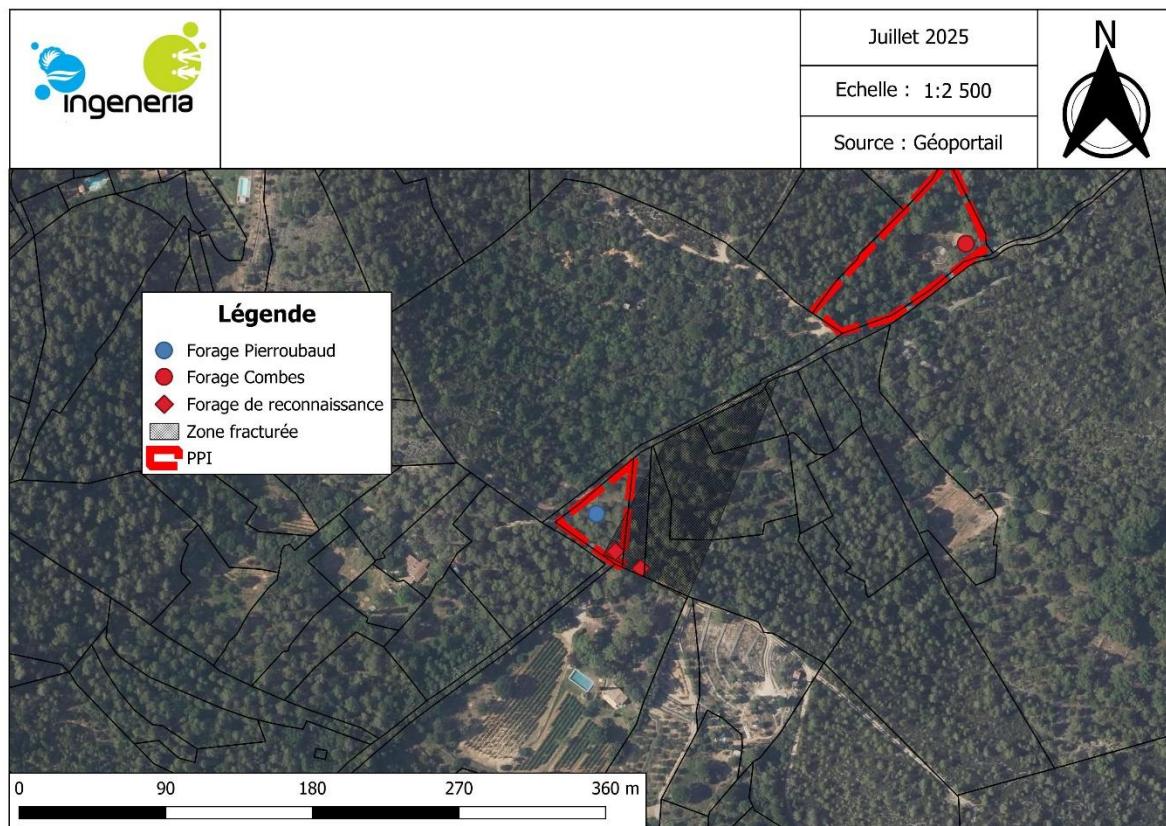


Figure 14 : Proposition d'implantation du forage de reconnaissance

L'étude hydrogéologique a permis de mettre en évidence la présence d'un aquifère pérenne, mais mal connecté avec les forages existants. Pour disposer d'un débit supérieur et/ou d'un rabattement moins important en pompage, il est nécessaire d'implanter le forage dans des zones présentant une fracturation importante. La zone fracturée, mise en évidence par la campagne de géophysique, n'est présente que dans l'extrémité Sud du PPI du forage de Pierroubaud. Nous proposons, la réalisation d'un premier forage de reconnaissance, le premier à l'intérieur du périmètre de protection immédiate du forage de Pierroubaud (pour limiter les dossiers réglementaires), en cas d'échecs, nous proposons la réalisation d'un forage de reconnaissance dans la parcelle voisine, propriété communale, qui offre un meilleur emplacement dans l'axe de fracturation. Toutefois, l'exploitation de ce forage va nécessiter la réalisation d'une nouvelle procédure de DUP.

La réalisation d'un forage de reconnaissance doit impérativement se faire sur la parcelle communale, c'est pourquoi nous recommandons, la réalisation d'une expertise d'un géomètre, pour identifier avec précision l'emplacement de la parcelle.

5.4 Descriptions techniques des ouvrages

Bien que le site de Pierroubaud soit déjà reconnu par la réalisation d'un forage, nous préconisons la réalisation des nouveaux forages en deux phases :

- La réalisation d'un forage de reconnaissance, pour déterminer avec précision la cote des arrivées, la cote des formations marneuses et avoir une première approche du débit de production du futur. Cette phase est rapide et n'augmente pas le budget total de l'opération.

- La transformation du forage de reconnaissance en forage d'exploitation, par l'alésage du forage et la mise en place du tubage.

5.4.1 Forage de reconnaissance

Les forages de reconnaissance seront implantés comme indiqué sur la figure 14. L'implantation des forages va nécessiter la mise en œuvre d'une piste d'accès et d'une plateforme de forage. Cette opération pourra être soit en interne par la régie soit incluse dans le marché de travaux.

Le programme des travaux de forage de reconnaissance est le suivant et sera identique pour les deux ouvrages :

- Mise en place d'un prétubage de soutènement de 0 à 6 mètres de profondeur en acier 273 mm. Ce tubage provisoire va avoir pour objectif de maintenir les formations superficielles instables
- Foration au marteau fond de trou (MFT) en diamètre 165 mm. Un échantillon de cutting sera collecté tous les mètres pour dresser la coupe géologique de l'ouvrage. Le débit en cours de foration sera déterminé à chaque ajout de tige.
- Toutes les mesures nécessaires seront mises en place pour assurer une décantation des eaux de forage avant leur rejet dans le milieu naturel

La coupe géologique et technique des forages reconnaissances est la suivante :

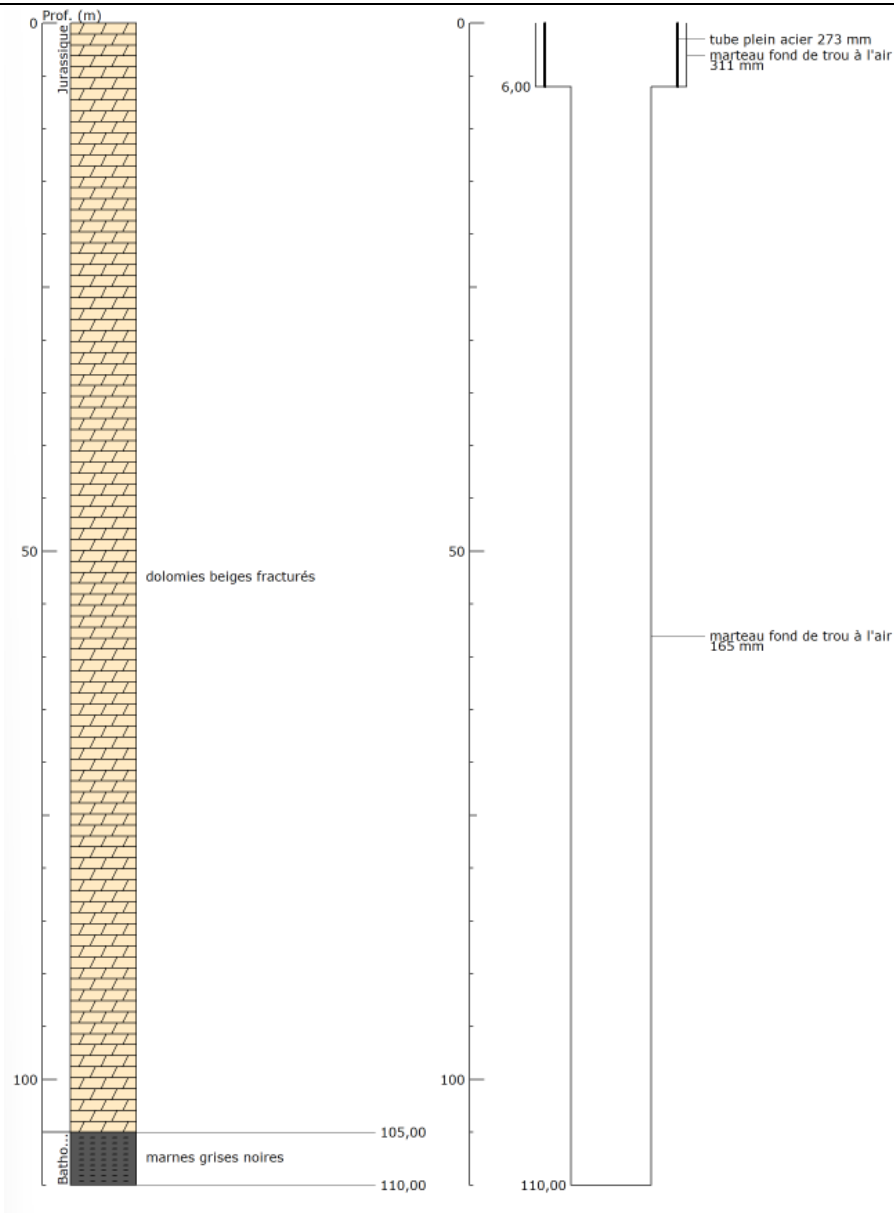


Figure 15 : coupe géologique et technique des forages de reconnaissance

5.4.2 Forage d'exploitation

Le dimensionnement du forage d'exploitation passe par la définition de la pompe nécessaire pour extraire le débit recherché avec la HMT correspondante à la hauteur d'eau à remonter, deux options sont alors possibles :

- Un débit de 15 m³/h sous 90 m de HMT
- Un débit de 25 m³/h sous 90 m de HMT

Option 1 : débit de 15 m³/h sous 90 m de HMT

Pour cette option la pompe disposera d'une puissance électrique de 7,5 KW et d'un diamètre de 142 mm.

Option 2 : débit de 25 m³/h sous 90 m de HMT

Pour cette option, la pompe disposera d'une puissance électrique de 9,2 KW et d'un diamètre 142 mm.

Quelle que soit l'option, le diamètre de la pompe est le même, nous allons donc partir de ce diamètre pour le dimensionnement de l'ouvrage.

Pour assurer une mise en place aisée de la pompe d'exploitation, un espace de 30 mm entre le tubage et la pompe est nécessaire. Le tubage devra donc faire à minima 202 mm de diamètre intérieur. **Le tubage à mettre en place sera donc un tubage 219 mm.**

Etant donné que le site a montré une bonne pérennité depuis la réalisation du premier forage, nous préconisons la mise en place d'un tubage inox qui offre une durée de vie supérieure pour un surcoût acceptable.

Le programme des travaux de transformation de l'ouvrage de reconnaissance est les suivants :

- Arrachage du tubage provisoire en diamètre 273 mm
- Foration en diamètre 406 mm de 0 à 12 mètres de profondeur
- Mise en place d'un pretubage en acier 323 mm
- Réalisation d'une cimentation de l'espace annulaire du tubage 323 mm
- Alésage en diamètre 311 mm de 12 à 110 m de profondeur
- Mise en place d'un tubage inox en diamètre 219 mm, la côte des zones crépinées sera définie en fonction des observations lors de la phase de reconnaissance.

La coupe technique et géologique du forage d'exploitation sera la suivante :

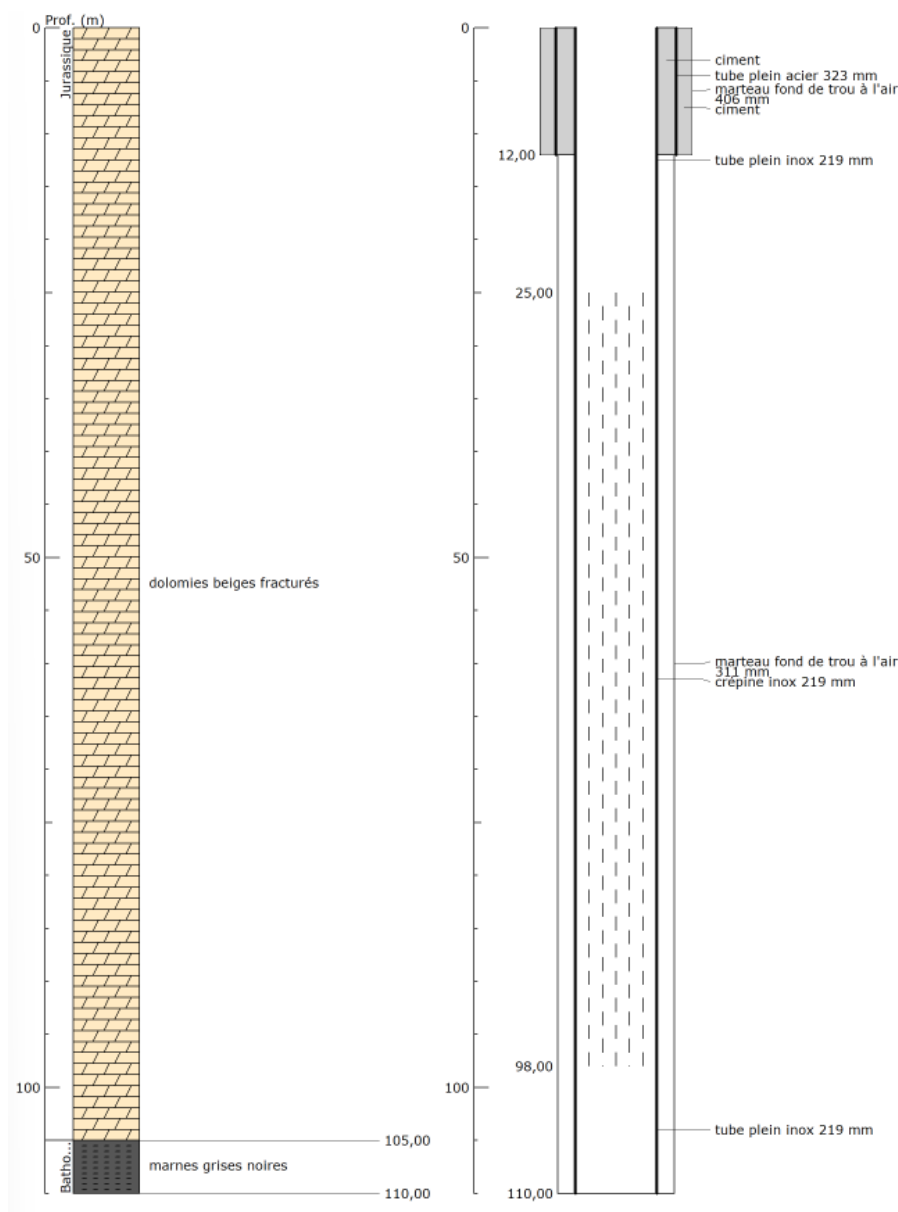


Figure 16 : coupe géologique et technique du forage d'exploitation F2 de Pierroubaud

5.5 Coût des travaux

La reconnaissance sur ce secteur prévoit la réalisation d'un forage de 110 mètres de profondeur, réalisée au marteau fond de trou, avec passage possible de terrain fracturé nécessitant soit une cimentation, soit un tubage de soutènement.

Cette profondeur est estimative et pourra varier lors des travaux de reconnaissance.

Secteur	Altitude	Cote nappe	Cote réservoir	HMT
Pierroubaud	+ 266 NGF	+ 231 NGF	+ 231 NGF	90 m

En première approche, les coûts de recherche sont les suivants (Euros HT) :

FORAGE n°1 à 110 mètres				
Désignation	U	Q	PU (€)	PT HT (€)
Aménagement préalable de la plateforme de forage (défrichage, terrassement)	forfait	1	8 000,00 €	8 000,00 €
Amené repli de l'atelier de forage ; mise en place des bacs de décantation ; remise en état du site de forage	forfait	1	8 000,00 €	8 000,00 €
Réalisation de l'avant trou sur 6 mètres ; foration 350 mm et mise en place d'un tubage acier 273 mm	ml	6	350,00 €	2 100,00 €
Foration de reconnaissance au MFT 165 mm de 0 à 200 m	ml	104	52,00 €	5 408,00 €
Test de l'ouvrage à l'air lift	h	8	250,00 €	2 000,00 €
Sous-total : reconnaissance				25 508,00 €
Aléas / imprévus : 10 %				2 550,80 €
TOTAL HT				28 058,80 €
TVA (20 %)				5 611,76€
TOTAL TTC				33 670,56 €

FORAGE n°2 à 110 mètres				
Désignation	U	Q	PU (€)	PT HT (€)
Aménagement préalable de la plateforme de forage (défrichage, terrassement)	forfait	1	8 000,00 €	8 000,00 €
Déplacement de l'atelier de forage	forfait	1	2 000,00 €	2 000,00 €
Réalisation de l'avant trou sur 6 mètres ; foration 350 mm et mise en place d'un tubage acier 273 mm	ml	6	350,00 €	2 100,00 €
Foration de reconnaissance au MFT 165 mm de 0 à 200 m	ml	104	52,00 €	5 408,00 €
Test de l'ouvrage à l'air lift	h	8	250,00 €	2 000,00 €
Sous-total : reconnaissance				19 508,00 €
Aléas / imprévus : 10 %				1 950,80 €
TOTAL HT				21 458,80 €
TVA (20 %)				4 291,76€
TOTAL TTC				25 750,56 €

Pour produire 25 m³/h pour une HMT de 90 mètres, il faudra une pompe de 9,2 KW et de 142 mm de diamètre.

A partir de ces données de base, on peut dimensionner et chiffrer le forage :

FORAGE n°1 à 110 mètres				
Désignation	U	Q	PU (€)	PT HT (€)
Arrachage du tube 273 mm	Forfait	1	500,00 €	500,00 €
Réalésage au MFT en 444 mm	ml	12	500,00 €	6 000,00 €
Mise en place d'un tubage acier 323 mm	ml	12	200,00 €	2 400,00 €
Cimentation de l'espace annulaire de 0 à 12 m	ml	12	90,00 €	1 080,00 €
Réalésage au MFT en 311 mm	ml	98	120,00 €	11 760,00 €
Mise en place d'un tubage inox 219 mm de 0 à 110 m	ml	110	200,00 €	22 000,00 €
Cimentation sur collerette de 0 à 12 m	ml	12	80,00 €	960,00 €
Installation double colonne (air lift) à 90 m de profondeur	Forfait	1	1 500,00 €	1 500,00 €
Soufflage air lift	h	16	250,00 €	4 000,00 €
Installation d'un groupe de pompage à 100 mètres de profondeur pompe de 25 m ³ /h à 100 m de HMT	Forfait	1	3 500,00 €	3 500,00 €
Essai de pompage par paliers	h	8	100,00 €	800,00 €
Essai de pompage longue durée	h	72	100,00 €	7 200,00 €
Réalisation de l'analyse de première adduction	forfait	1	3 000,00 €	3 000,00 €
TOTAL HT				64 700,00 €
TVA (20 %)				12 940,00 €
TOTAL TTC				77 640,00 €

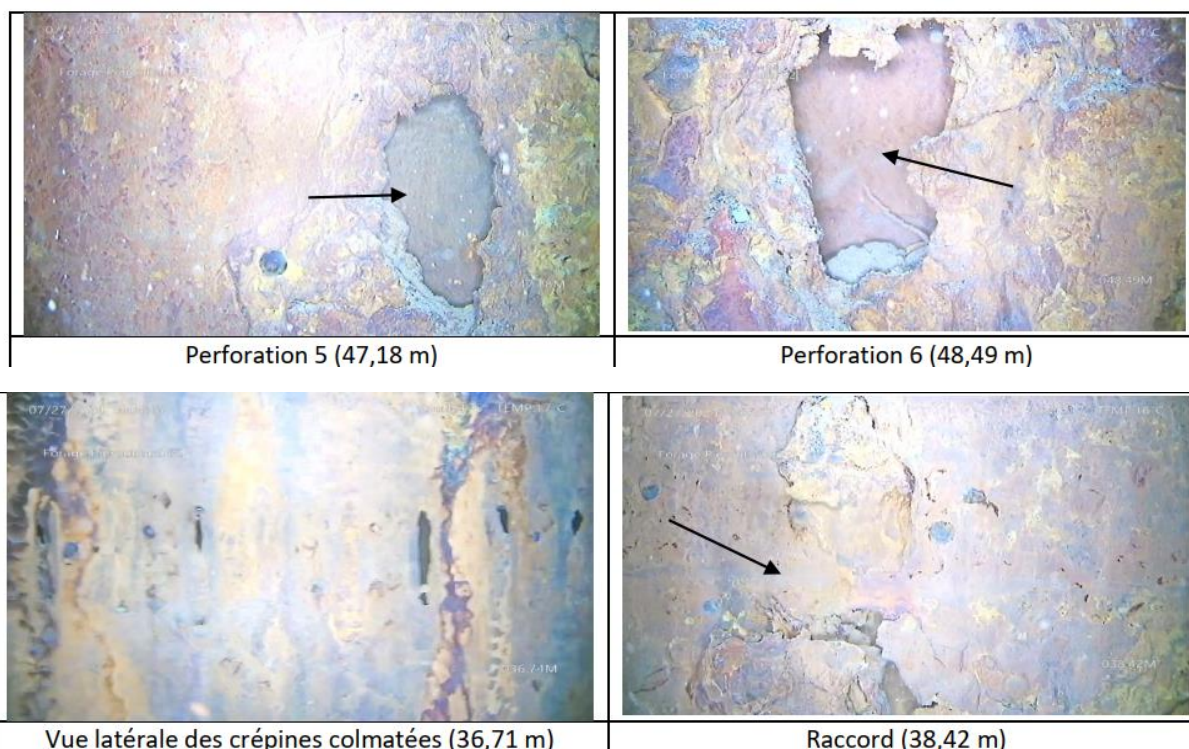
Le coût total pour la réalisation de deux nouveaux forages de reconnaissance et la transformation du meilleur en forage test est de de 28 058,80 + 21 458,80 + 64 700,00 = **114 217,60 €**. Ce prix ne comprend pas les frais de maîtrise d'œuvre, d'équipement et de raccordement du forage d'exploitation et les éventuels frais administratifs pour la réalisation d'une nouvelle procédure de DUP.

6 Etude de projet pour la réalisation de la réhabilitation du forage F1 de Pierroubaud

6.1 Etat de l'ouvrage

L'inspection télévisuelle de l'ouvrage réalisée en 2024 a permis de mettre en évidence de nombreuses détériorations qui porte atteinte à la pérennité de l'ouvrage :

- Degré de colmatage important des crépines de 80 à 100 %
- De nombreuses perforations, dont les plus grosses atteignent plus de 30 cm



L'apparition des perforations est probablement liée au colmatage des crépines, lorsqu'elles sont colmatées, cela augmente la vitesse du passage de l'eau au travers des crépines et provoque une accélération du vieillissement de l'ouvrage et donc l'apparition de perforation.

Aujourd'hui l'eau doit plus passer par les perforations que par les crépines, accentuant ainsi le colmatage des crépines. Le principal risque de la présence de perforation est l'entrée possible d'un bloc de calcaire dans le forage et qui irait se coincer entre la pompe et le tubage rendant impossible le retrait du groupe de pompage.

La réhabilitation de l'ouvrage est donc nécessaire et indispensable pour assurer la pérennité de l'alimentation en eau potable de la commune.

6.2 Disponibilité de la ressource

Comme vu dans les chapitres précédents, l'aquifère capté par les forages des Combes et de Pierroubaud est pérenne et souffre que très peu des variations saisonnières. Toutefois, ces ouvrages n'interceptent pas suffisamment pour fracture pour obtenir un plus fort débit et un rabattement moindre.

La ressource est donc en adéquation avec les besoins et la réhabilitation est rentable par rapport à la réalisation d'un nouveau forage (démarche administrative réduite et moindre coût)

6.3 Modalité de réhabilitation

Le chemisage de l'ouvrage est la seule opération réalisable comme réhabilitation des perforations observées. Comme vu auparavant, le diamètre de la pompe nécessaire pour extraire 25 m³/h sous 90 m de HMT est de 142 mm, il est donc possible de mettre en place un tubage de diamètre 168 mm dans un tubage initial de 219 mm. La marge pour descendre la pompe sera très étroite, mais tout de même possible.

Pour un débit de 25 m³/h le diamètre minimum de la conduite d'exhaure doit être de minimum 66 mm. L'équivalent avec un raccord de type ZSM est un DN 65, qui dispose au niveau des raccords d'une largeur de 76,1 mm. Cela permet donc de mettre en place la pompe avec un tube guide sonde et le câble électrique.

Il n'est pas possible de mettre en place un tubage en 193 mm dans le forage, étant donné la trop grande présence de perforations et de concrétions. Cela risquerait de provoquer un effondrement de l'ouvrage lors de la descente du tube.

L'étude hydrogéologique a permis de mettre en évidence le fonctionnement de l'ouvrage :

- Le forage capte des dolomitiques. Contrairement aux calcaires les dolomies réagissent que très faiblement à l'injection d'acide chlorhydrique à froid. Le développement de l'ouvrage n'est possible que par méthode d'air choc
- Les formations aquifères sont situées entre 0 et 105 mètres de profondeur, il n'est donc pas nécessaire de procéder à un chemisage sur toute la hauteur de l'ouvrage.

Compte tenu, du fort degré de colmatage des crépines, une régénération est indispensable. L'injection d'acide chlorhydrique n'aura que très peu d'action étant donné le caractère dolomitique, la seule régénération possible passe donc par l'utilisation d'une méthode d'air choc.

Le programme des travaux de réhabilitation est donc le suivant :

- Mise en place d'un tubage inox 304L de 0 à 120 mètres de profondeur ; zone crépinée située entre 14 et 105 mètres de profondeur ; crépines de type trous oblongs de slot 4 mm
- Cimentation sur collerette de 0 à 10 m
- Décolmatage des crépines par Air pulse, action ciblée sur la cote des arrivées d'eau 18 m, entre 35 et 40 et à 100 m
- Nettoyage de l'ouvrage à l'air lift sur une durée minimale de 16 heures
- Remise en place des équipements de pompage
- Requalification de l'ouvrage par la réalisation d'un nouvel essai de pompage par paliers

La coupe technique et géologique de l'ouvrage réhabilité est la suivante :

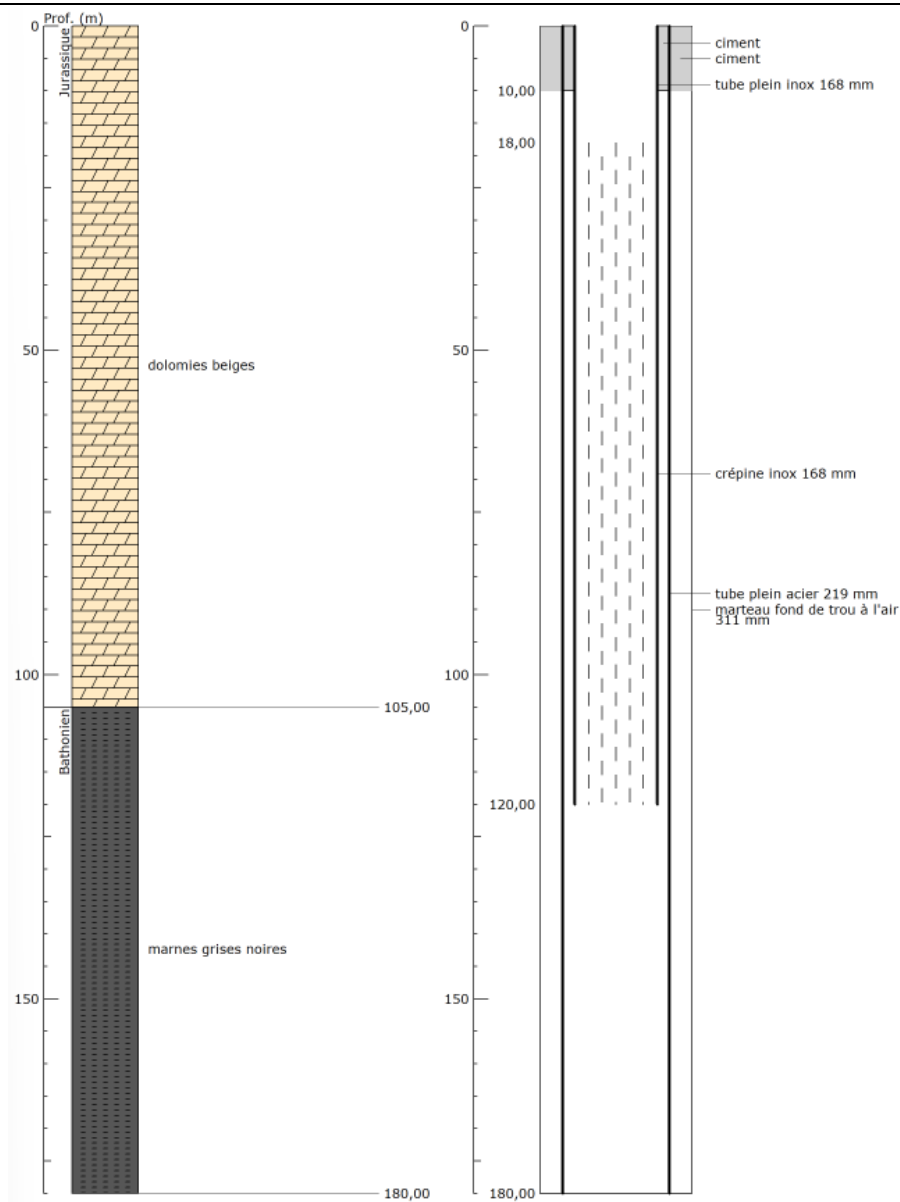


Figure 17 : coupe de l'ouvrage F1 après réhabilitation

6.4 Coût de l'opération

Le coût de l'opération de réhabilitation est le suivant :

FORAGE n°1 à 110				
Désignation	U	Q	PU (€)	PT HT (€)
Amenée et repli de l'atelier de réhabilitation du forage F1	Forfait	1	2 000,00 €	2 000,00 €
Retrait des équipements de pompage du forage F1	Forfait	1	3 500,00 €	3 500,00 €
Fourniture et mise en place d'un tubage plein inox 304L 168 mm ; épaisseur 4 mm	ml	18	170,00 €	3 060,00 €
Fourniture et mise en place d'un tubage crépinée inox 304 L 168 mm ; épaisseur 4 mm ; crépine trous oblongs 4 mm	ml	102	210,00 €	21 420,00 €
Cimentation sur collerette de 0 à 10 m	ml	10	80,00 €	800,00 €
Fourniture et traitement à l'air choc par l'ajout de 2 bouteilles d'azote	Forfait	1	7 000,00 €	7 000,00 €

REPV – Alimentation en eau potable de la commune de CORRENS
Phase 1 : Etude hydrogéologique et technico-économique

Installation double colonne (air lift) à 110 m de profondeur	Forfait	1	1 500,00 €	1 500,00 €
Soufflage air lift	h	16	250,00 €	4 000,00 €
Remise en place des équipements de pompage dans le forage F1	Forfait	1	3 500,00 €	3 500,00 €
TOTAL HT				46 780,00 €
TVA (20 %)				9 356,00 €
TOTAL TTC				56 136,00 €

