

MAITRE DE L'OUVRAGE :
SIAE de la SAINTE BAUME

Hôtel de Ville
Avenue Julien Jourdan
83860 NANS LES PINS

- 1. REALISATION DE 3 FORAGES DE RECONNAISSANCE**
- 2. TRANSFORMATION DE L'UN D'ENTRE EUX EN FORAGE D'EXPLOITATION**

RAPPORT DE FIN DE TRAVAUX



2015018/BH/juillet 2016



Ingénierie du
développement des territoires
Eau - Energies renouvelables

4 rue de Gérin Ricard - Résidence Marseille Clary - Apt A53 - 13003 MARSEILLE

Siret : 752 183 988 00019 - Tél : 06 19 50 36 22
Mel : Contact@ingeneria.fr www.ingeneria.fr

1 SOMMAIRE

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | SOMMAIRE | 1 |
| 2 | RESUME | 3 |
| 3 | COMPTE RENDU DES TRAVAUX REALISES | 5 |
| 3.1 | CHRONOLOGIE D'INTERVENTION | 5 |
| 3.2 | COUPES GEOLOGIQUES | 7 |
| 3.2.1 | Coupe géologique du sondage S1 | 7 |
| 3.2.2 | Coupe géologique du sondage S2 | 8 |
| 3.2.3 | Coupe géologique du sondage S3 | 8 |
| 3.2.4 | Conclusion | 9 |
| 3.3 | HYDROGEOLOGIE..... | 9 |
| 3.3.1 | Pompage par paliers..... | 9 |
| 3.3.2 | Pompage de longue durée | 11 |
| 3.3.3 | Piézométrie | 12 |
| 3.4 | VIDEO D'INSPECTION DES FORAGES RONDOLINE ANCIEN ET NOUVEAU | 13 |
| 3.4.1 | Inspection du forage Rondoline ancien..... | 13 |
| 3.4.2 | RECEPTION VIDEO du forage Rondoline nouveau (F3) | 13 |
| 3.5 | BILAN ANALYTIQUE..... | 14 |
| 3.5.1 | Analyse | 14 |
| 3.5.2 | Comparaison avec les eaux de la Foux et desla source de l'Alaman Pieservins..... | 15 |
| 4 | BILAN PROVISIOIRE ET PROGRAMME DE POURSUITE DES TRAVAUX | 16 |
| 5 | ANNEXES..... | 17 |

TABLE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1 : courbe de suivi piézométrique des pompages par paliers..... | 9 |
| Figure 2 : courbe caractéristique du forage durant le pompage par paliers | 10 |
| Figure 3 : courbe de suivi piézométrique du pompage de longue durée | 11 |
| Figure 4 : Courbe de rabattement du pompage de longue durée en échelle logarithmique | 12 |

TABLE DES ANNEXES

| | |
|---|----|
| ANNEXE 1 : PLAN DE SITUATION GENERALE | 18 |
| ANNEXE 2 : PLAN DE SITUATION DETAILLE | 19 |
| ANNEXE 3 : LOCALISATION PAR RAPPORT AU PERIMETRE DE PROTECTION DES FORAGES DE LA FOUX F1 et F2 20 | |
| ANNEXE 4 : COUPE DU FORAGE RONDOLINE F3..... | 0 |
| ANNEXE 5 : PHOTOGRAPHIES EXTRAITES DE LA VIDEO DE RECEPTION DU FORAGE RONDOLINE F3 (NOUVEAU) 1 | |
| ANNEXE 6 : PHOTOGRAPHIES EXTRAITES DE LA VIDEO D'INSPECTION DU FORAGE RONDOLINE ANCIEN | 4 |
| ANNEXE 7 : RESULTATS D'ANALYSE DE PREMIERE ADDUCTION..... | 5 |
| ANNEXE 8 : REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE DES TRAVAUX DE FORAGE S1, S2, S3 ET RONDOLINE | 6 |

2 RESUME

Le SIAE de la Sainte Baume regroupe la commune de Nans les Pins et de Plan d' Aups pour leur alimentation en eau potable.

Le SIAE dispose de trois ressources potentielles les forages de la Foux, équipés respectivement de pompes de 87 et 97 m³/h et dont le débit autorisé en prélèvement est de 79 m³/h maximum au total sur le site et la source d'Alaman. Une alimentation de secours est assurée par la station de la Mouchouane (SCP) avec un débit souscrit de 20 l/s en période estivale. La production d'eau du syndicat n'est cependant pas entièrement sécurisée car la source d'Alaman tarit en été, les forages de la Foux peuvent être interrompus suite aux épisodes orageux en raison d'une turbidité des eaux supérieures aux limites réglementaires de qualité des eaux. Enfin l'eau du Canal de Provence ne peut suffire seule en cas d'arrêt total des deux autres sites de production.

Le Syndicat a donc confié en 2015 à INGENERIA la maîtrise d'œuvre de recherche d'un nouveau point de production d'eau par forage, comprenant une étude préalable à l'implantation de trois forages de reconnaissance, la conception et le suivi de forages de reconnaissance maximum et la transformation de l'un d'eux en forage test. L'objectif était de produire un débit équivalent à celui des forages de la Foux, soit environ 80 m³/h.

L'étude géologique préalable a été réalisée en septembre 2015. Elle s'est concentrée sur la commune de nans les Pins et principalement sur les calcaires et dolomies du Portlandien ainsi que sur les calcaires du Crétacé des formations autochtones au pied du versant Nord du massif de la Sainte Baume. Les autres secteurs d'études ont été écartés, soit en raison de leur faible potentiel hydrogéologique (secteur Nord de la commune de Nans, près de la source d'Alaman), soit en raison de la trop grande profondeur d'investigation (secteur du plan d'Aups).

En définitive, deux sites ont été retenus :

- Secteur du réservoir de la Foux avec une profondeur d'investigation estimée à 250 m
- Secteur de Rondoline avec une profondeur d'investigation estimée à 150 m

Le secteur du réservoir de la Foux a été privilégié car, bien que les indices géologiques ne permettent pas de garantir un résultat, il présentait l'avantage non négligeable d'un cout de réalisation et de raccordement bien plus faible que pour le site de Rondoline.

Après avoir obtenus les autorisations administratives de travaux et avoir lancé la consultation des entreprises de forage, la société FORASUD a été retenue et a réalisé les deux ouvrages de reconnaissance de la Foux du 2 au 15 février 2016.

Les deux premiers sondage de reconnaissance de la Foux se sont révélés infructueux et ont été abandonnés. Le troisième sondage (Rondoline) a donc été engagé dès le 15 février et la décision de le transformer en ouvrage d'exploitation a été prise après les excellents résultats obtenus aux tests.

La transformation de l'ouvrage a été rendu difficile par la grande quantité d'eau et ce n'est que le 11 avril 2016 que l'ouvrage a été terminé. Les tests de pompage ont révélé une ressource importante supérieure ou égale à 100 m³/h, mais avec une qualité d'eau incompatible avec son usage.

Des travaux de développement très poussés (Air lift + injection de 6 tonnes d'Acide Chlorhydrique) ne sont pas venus à bout de la turbidité.

A ce jour l'ouvrage est donc en attente de travaux de nettoyage qui seront effectués en régie par le syndicat, par pompage de très longue durée.

Cette opération conduite sous maîtrise d'ouvrage du SIAE de la Sainte Baume, a été suivie par le comité de pilotage suivant :

- Présidente du SIAE : Mme LOPEZ,
- Cellule « eau » du département du Var : Mme BILLET,
- Secrétaire générale du SIAE : Mme SCONAMIGLIO
- Adjoint aux Travaux : M PIU

Les diverses opérations techniques ont été menées par les entreprises suivantes :

- Maîtrise d'œuvre et réception des forages : INGENERIA (13003 Marseille), représenté par Bertrand HEURFIN, Hydrogéologue,
- Réalisation des sondages de reconnaissance et du forage d'exploitation : entreprise FORASUD (13 Vitrolles), représentée par M DEFFILIPPI.

3 COMPTE RENDU DES TRAVAUX REALISES

3.1 CHRONOLOGIE D'INTERVENTION

Les opérations sur le forage se sont déroulées du 1 Février 2016 au 30 Mai 2016.

| Date | Événement |
|---|--|
| Phase un : Sondage de reconnaissance S1 – réservoir de la Foux | |
| 1 ^{er} février 2016 | Installation de l'entreprise FORASUD sur le site « Réservoir de La Foux S1 » (cote sol : +500 NGF), pose d'un tubage de tête en diamètre 219 mm à 6 m |
| 4 février 2016 | Foration jusqu'à 250 m en diamètre 165 mm : terrain calcaire massif, zones broyées vers 21m, 34m, 75m, 80 à 91 m, 110 m, 112m, mais aucune venue d'eau significative (débit estimé après 4 h de soufflage < 9 m ³ /h), pas de perte d'air en forage. Décision d'abandonner le forage et de ne pas le tester par air lift. |
| Phase deux : Sondage de reconnaissance S2 – réservoir de la Foux | |
| 5 février 2016 | Retrait du train de tige, déplacement de l'atelier de forage sur le site S2 ; démarrage du sondage au marteau fond de trou DN 219 mm ; effondrement entre 20 et 22 m ; décision de tuber l'avant trou sur 24 m |
| 8 février 2016 | Pose d'un tubage de soutènement de 0 à 24m en DN 219 mm après alésage en DN 311 mm ; terrains bouillants en dessous ; adjonction de mousse pour favoriser la remontée des cuttings ; Arrêt foration vers 55 m |
| 9 février | Poursuite foration ; arrivée à 150 m en fin de journée Inspection vidéo de S1 (trou nu) jusqu'à 200 m de profondeur à l'aide d'une caméra axiale PASI. Les terrains apparaissent bien fracturés à plusieurs endroits au dessus du niveau piézométrique : des fractures ouvertes apparaissent à 80, 104, 109 mètres : il s'agit de failles verticales suivies sur plus de 2 à 3 mètres. Le niveau statique est rencontré à 134 m/sol (cote NGF = 366) ; visibilité nulle en dessous |
| 10 février 2016 | Fin sondage S2 à 250 m. La coupe géologique montre la présence de terrains dolomitiques fracturés en tête et jusqu'à 55 m de profondeur. Au-delà on observe des calcaires fins de couleur allant du beige jaune au beige gris, puis au gris clair, pour finir en gris foncé. L'ensemble est massif, peu ou pas fracturé, avec de nombreux filons de recristallisation de calcite. L'ouvrage semble peu productif, mais le test à l'air lift a néanmoins été programmé |
| 11 février 2016 | Mise en place d'une double colonne acier pour le test air lift |
| 12 février 2016 | Le test à l'air lift est infructueux ; débit < 10 m ³ /h ; décision d'abandonner le secteur du réservoir de la Foux (pose d'un capot provisoire) et de se déplacer vers le site de Rondoline. |
| Phase trois : Sondage de reconnaissance S3 – Rondoline | |
| 15 Février 2016 | Installation sur site Rondoline ; panne d'hydraulique, arrêt provisoire pour réparation de la foreuse |
| 18 Février 2016 | Reprise des travaux : sondage de reconnaissance S3 réalisé jusqu'à 42m en DN 165 mm ; Utilisation de savon biodégradable pour faciliter la remontée des cuttings |
| 19 Février 2016 | Poursuite du forage jusqu'à 120m de profondeur ; foration en perte totale (pas de remontée de cuttings) à partir de 69 m ; Rajout d'un compresseur supplémentaire pour faciliter la frappe du marteau |

| Date | Événement |
|---|--|
| 22 Février 2016 | Fin d'exploration à 150m en perte totale. Fracturation rencontrée vers 140 m. Coincement de l'outil à la remontée à 50 m. Mise en place de la double colonne pour réaliser le test à l'air lift. Forage rebouché vers 17 m, passé au soufflage |
| 23 Février 2016 | Fin d'installation de la colonne d'eau DN à 114mm ; colonne d'air à 83 m Niveau statique à 45m/sol. Débit d'exhaure : 15 à 18 m ³ /h ; eau très chargée (argile rouge) ; décision de prolonger le nettoyage de 8 heures supplémentaires |
| 24 Février 2016 | Poursuite du nettoyage à l'air lift. L'eau s'éclaircit mais reste légèrement turbide (jaune pâle). Prélèvement d'un échantillon : le dépôt décante rapidement mais se remet en suspension dès qu'on remue la bouteille. Décision de transformer S3 en forage d'exploitation, nécessitant un pré tubage sur les 24 premiers mètres. |
| Phase quatre : transformation du sondage S3 en forage d'exploitation | |
| 29 février 2016 | Approvisionnement matériel et transformation S3 en forage d'exploitation ; Foration en DN 445 de 0 à 27m et pose d'un tubage en acier DN 406mm, 5 mm d'épaisseur. Cimentation annulaire et attente pour prise |
| 1 ^{er} au 14 mars 2016 | Poursuite de la foration au marteau fond de trou en DN 380 mm, avec trois compresseurs et un surpresseur. Problème de fonctionnement du surpresseur. Avancée de seulement 65 m en deux semaines (jusqu'à -92m/sol). |
| 21 mars 2016 | Le forage est à 100 m (avancée de 8 m en une semaine) : les grandes quantités d'eau venant du fond de l'ouvrage gênent la foration, malgré l'adjonction de mousse. Un réalésage en plus petit diamètre (219 mm) et tenté pour permettre d'atteindre la profondeur d'objectif (150 m) |
| 23 mars 2016 | La cote -125 m est atteinte |
| 24 au 31 mars 2016 | Le premier réalésage atteint 150 m. la reprise du trou en 380 mm reprend à partir de 92 m mais reste lente. Décision est prise de stopper ce réalésage à la cote 112 m, car la foration n'avance pas malgré les moyens mis en œuvre |
| 1 - 10 Avril 2016 | Le niveau statique est mesuré à 23 m/sol. Les arrivées d'eau principales semblent se situer vers 140 m/sol. Il est donc décidé de modifier le programme d'équipement : tubage en acier DN 273mm jusqu'à 112 m (dont crépine de 34,5 à 112 m) tubage en acier DN 168 mm 112 à 150 m, posé en crépine « perdue » avec raccord baïonnette. Le tubage en 273 mm est cimenté sur ombrelle de 30 m jusqu'à la surface |
| 11 - 12 Avril 2016 | Nettoyage à l'air lift double colonne ; après 16 heures de nettoyage l'eau reste très chargée |
| Phase cinq : pompage d'essai | |
| 19 Avril 2016 | Réalisation du pompage par paliers d'une heure à 60, 80, 100 et 120m ³ /h avec attente de remontée d'une heure entre chaque palier. |
| 20 - 22 Avril 2016 | Lancement du pompage longue durée à 120m ³ /h – durée : 51 heures ; l'eau reste rougeâtre, extrêmement chargée en argile ; prélèvement d'eau effectué par le LDA 83 pour analyse physico-chimique Décision est prise de procéder au développement du forage à l'acide chlorhydrique en deux passes de 3 tonnes et soufflage (sans injection de polyphosphates) |

| Date | Événement |
|--|---|
| Phase six : travaux de nettoyage du forage | |
| 29 avril 2016 | Injection de l'acide (6 tonnes) – attente pour réaction |
| 2 et 3 mai 2016 | Nettoyage à l'air lift : l'eau ne s'éclaircit pas au pompage |
| 4 au 6 mai 2016 | Repli du chantier ; pose d'un capot acier soudé sur la tête du forage |
| Phase sept : Abandon des sondages S1 et S2 | |
| 2 et 3 mai 2016 | Les deux ouvrages S1 et S2 sont rebouchés par extraction des tubages provisoires de tête, remplissage du trou nu par des matériaux issus du forage (cuttings), puis cimentation de la tête de forage sur 6 m de hauteur |
| Phase huit : Réception provisoire du forage | |
| 22 avril 2016 | Tentative de mesure de flux par micromoulinet : l'outil se coince sous la pompe et ne descend pas. Mesure de conductivité et de température sur toute la hauteur de l'ouvrage |
| 30 Mai 2016 | Inspection vidéo de réception de l'ouvrage (INGENERIA) : eau très turbide, présence importante d'argile sur les parois |

3.2 COUPES GEOLOGIQUES

3.2.1 COUPE GEOLOGIQUE DU SONDAGE S1

| coordonnées | X | Y | Z |
|-------------|-----------|------------|-----|
| Lambert 93 | 926 155.7 | 6254 534.0 | 500 |

00 à 1,00 m : terre végétale argileuse brune, cailloutis calcaire
 1,00 à 6,00 m : calcaire massif, blanc
 6,00 à 8,00 m : calcaire blanc, petite circulation d'eau superficielle
 8,00 à 21,00 m : Calcaire sublithographique, beige à patine jaune et rousse
 21,00 à 23,00 m : zone fracturée
 23,00 à 67,00 m : calcaire fin, gris beige, compact, fracturé de 33 à 35m
 67,00 à 91,00 m : calcaire beige clair passant à une teinte plus rousse, nombreuses fractures fermées, entièrement recristallisée en calcite (75 m, 80 à 91m)
 91,00 à 100,00 m : calcaire fin gris à blanc, dur, massif
 100,00 à 101,00 : niveau de calcaire noir
 101,00 à 127,00 : calcaire beige, zone rubéfiées plus broyées à 110 m et 118m
 127, 00 à 165,00 m : calcaire massif, fin, beige à gris
 165,00 à 201,00 m : alternance décimétrique de calcaires massifs gris sombre et de niveau de calcaires beige – une seule zone fracturée, vers 191 m
 201,00 à 250,00 m : mêmes calcaires, mais alternance plus resserrée (env. 5m) ; une zone très broyée, à remplissage d'argile vers 228 m.

NIVEAU STATIQUE (8 février 2016) : 134 m /sol (cote : 366 NGF)

3.2.2 COUPE GEOLOGIQUE DU SONDAGE S2

| coordonnées | X | Y | Z |
|-------------|-----------|------------|-----|
| Lambert 93 | 926 155.7 | 6254 517.1 | 500 |

00 à 2,00 m : terre végétale argileuse brune, cailloutis calcaire

2,00 à 6,00 m : Dolomie massive, beige jaune

6,00 à 12,00 m : Dolomie beige, remplissage argileux entre 6 et 9 m

12,00 à 18,00 m : Dolomie jaune microcristalline, avec nombreux filons de calcite

18,00 à 20,00 m : Argile sableuse (altération de dolomie)

20,00 à 31,00 m : Dolomie gris beige, massive

31,00 à 37,00 m : zone fracturée dans les calcaires beiges, rubéfiée, recristallisation de calcite

37,00 à 104,00 m calcaire sublithographique, massif, beige ; zone de fracture vers 42 m, puis vers 92 m

104,00 à 165,00 m : calcaire massif, fin, beige à passées de calcite gris beige

165,00 à 224,00 m : calcaire massif gris, s'assombrit à partir de 200 m

224,00 à 250,00 m : calcaire fin, gris noir

Pas de niveau statique mesuré

3.2.3 COUPE GEOLOGIQUE DU SONDAGE S3

| coordonnées | X | Y | Z |
|-------------|-----------|------------|-----|
| Lambert 93 | 926 769.4 | 6254 444.0 | 382 |

00 à 4.00 m : argile de décalcification

4,00 à 16,00 m : calcaire blanc, très fracturé

16,00 à 65 m : calcaire blanc, massif

65,00 à 69,00 : calcaire, fracturation intense

A partir de 69 m : perte totale, pas de remontée de cuttings, les données suivantes sont obtenues d'après les informations du foreur

69,00 à 150,00 : calcaire massif plus ou moins karstifié, fracturations importantes notées à 88 et 147 m

Niveau statique (30 mai 2016) : 23m/sol (cote 359 NGF)

3.2.4 CONCLUSION

Les coupes présentées ci dessus ont été établie par le géologue. Elles proviennent de l'observation des cuttings sur S1 et S2 grâce et des vidéos réalisées dans les trous nus.

La coupe géologique de S3 est malheureusement plus succincte puisque la foration s'est déroulée en perte à partir de 69 m et la turbidité de l'eau n'a pas permis d'effectuer une vidéo de contrôle avant l'équipement du forage.

Des variations d'interprétation peuvent apparaître avec les coupes établies par le foreur, notamment dans la couleur des roches extraites et dans leur nature (confusion possible entre les calcaires et les dolomies).

On retiendra que d'une façon générale, S1 et S2 présentent des faciès très proches (dolomies et calcaires fins, massifs, faiblement fracturés avec recristallisation de calcite), tandis que S3, situé dans un autre compartiment géologique présente des calcaires plus clairs et beaucoup plus fracturés, voire karstifiés.

3.3 HYDROGEOLOGIE

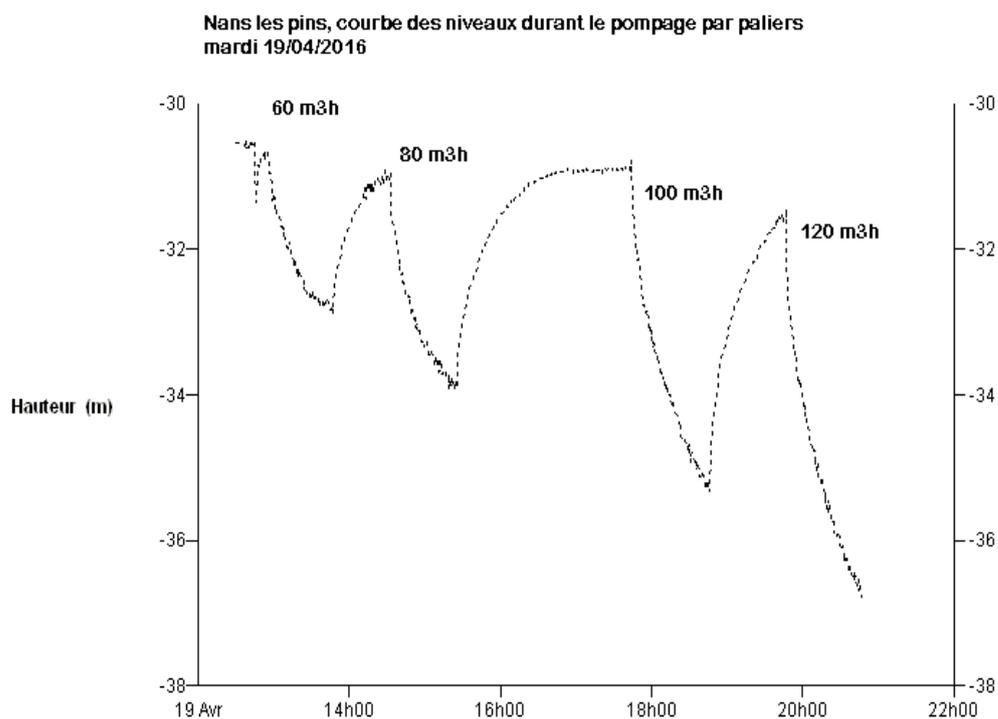
3.3.1 POMPAGE PAR PALIERS

Le test a été réalisé le 19 avril 2016

Le niveau piézométrique, nappe au repos était de 30,5 m/sol.

La pompe d'essai a été placée à 100 m/sol. Le niveau dynamique d'eau et le débit ont été mesurés et enregistré au moyen de sondes Hydreka au pas de temps de 1 minute, et contrôlés manuellement. Quatre paliers de débit croissant (60, 80, 100 et 120 m³/h), d'une durée unitaire de 1 heure et entrecoupés d'une remontée ont été effectués. La courbe de suivi du niveau est la suivante :

Figure 1 : courbe de suivi piézométrique des pompages par paliers



Les résultats sont les suivants :

| Palier 2016 | Débit (en m ³ /h) | Rabattement (en m) |
|-------------|------------------------------|--------------------|
| 1 | 60 | 1.50 |
| 2 | 80 | 2.98 |
| 3 | 100 | 4.30 |
| 4 | 120 | 5.00 |

Le report de ces résultats sur une courbe est représenté sur la figure 1 ci dessous :

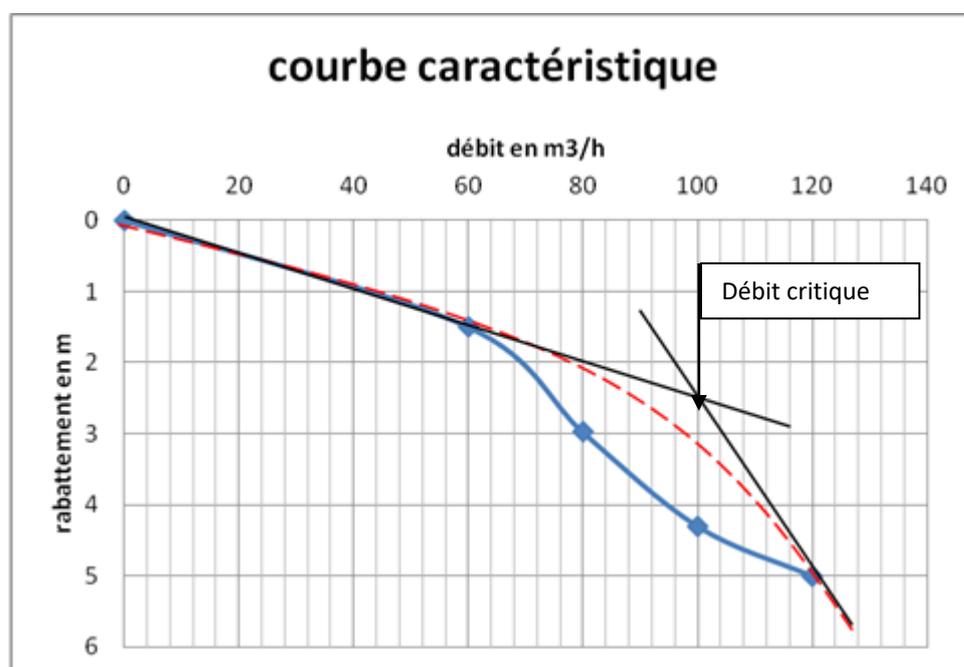


Figure 2 : courbe caractéristique du forage durant le pompage par paliers

- ✓ La courbe bleue correspond aux mesures effectuées
- ✓ La courbe rouge est telle qu'elle devrait se présenter

Commentaire et interprétation : Lors d'un pompage par paliers de débit croissant, la courbe caractéristique doit suivre une courbe semblable à la courbe tracée en rouge. Lors de notre essai (courbe bleue) on observe un « fléchissement » à 80 m³/h, puis un « rattrapage » à 100 puis 120 m³/h. cela signifie que le forage s'est « développé » en cours de pompage, probablement par nettoyage des fissures et débouillage des argiles. L'ouverture des conduits karstiques a pour conséquence de diminuer les pertes de charges durant le pompage, ce qui se traduit par un rabattement proportionnellement moins important à 120 m³/h qu'à 100 m³/h.

Il est donc légitime d'effectuer l'interprétation du pompage sur la courbe « théorique » et non la courbe réelle.

La courbe caractéristique permet de définir le débit critique de l'ouvrage (débit au delà duquel les pertes de charges quadratiques prennent le pas sur les pertes de charges linéaire, autrement dit, c'est le débit au delà duquel on ne peut stabiliser le rabattement lors d'un pompage en continu.

Le débit critique est donc celui que l'on recommande de ne pas dépasser en exploitation.

Ici, le débit critique est estimé à 100 m³/h.

L'objectif d'exploitation du forage de 80 m³/h est donc atteint quantitativement.

3.3.2 POMPAGE DE LONGUE DUREE

Le pompage de longue durée (51 heures) a été démarré le 20 Avril 2016, le lendemain du pompage par paliers. Le choix a été de pomper au débit maximal de la pompe pour vérifier les capacités de l'ouvrage.

Le rejet des eaux extraites a été canalisé vers le réseau pluvial en aval du site après le décanteur.

Comme pour les paliers, le débit et le niveau dynamique ont été suivis en continu.

Nans les pins, pompage longue durée à 120 m³/h

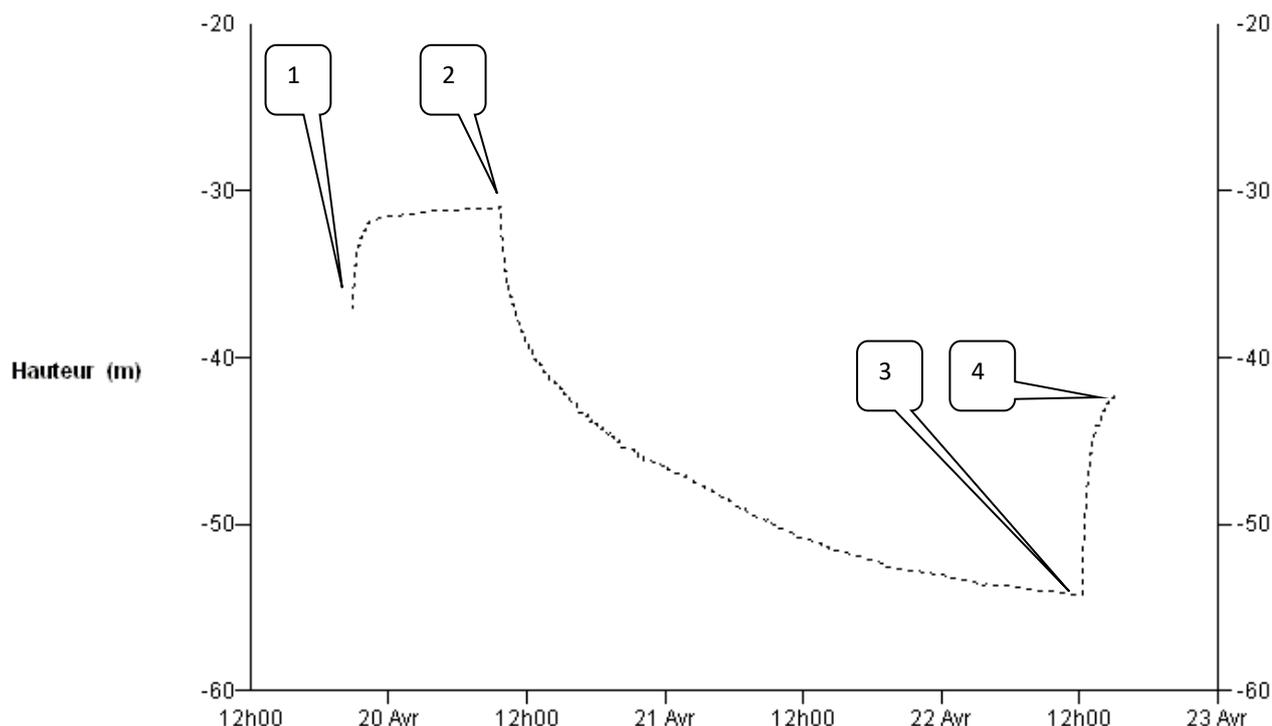


Figure 3 : courbe de suivi piézométrique du pompage de longue durée

Durée du pompage : Prévus initialement pour une durée de 72 heures le pompage a été interrompu après la visite du laboratoire pour le prélèvement d'eau. En effet, l'eau restait toujours extrêmement turbide et ne montrait aucun signe d'éclaircissement. Il a donc été décidé de stopper le pompage afin de réfléchir à une stratégie de nettoyage de l'ouvrage, par débouillage des conduits karstiques à l'acide.

Commentaire sur la courbe : Cette courbe montre la fin de la remontée du dernier palier (1) avec un retour rapide mais pas instantané au niveau statique à 30.53 m/sol (2), puis lors du pompage un rabattement régulier et relativement important de l'ordre de 25 mètres, non stabilisé (3). A l'arrêt du pompage la remontée a été suivie durant quelques heures, elle ne montre pas un retour rapide à l'équilibre (4).

La courbe de rabattement en échelle logarithmique permet de calculer la transmissivité de l'aquifère.

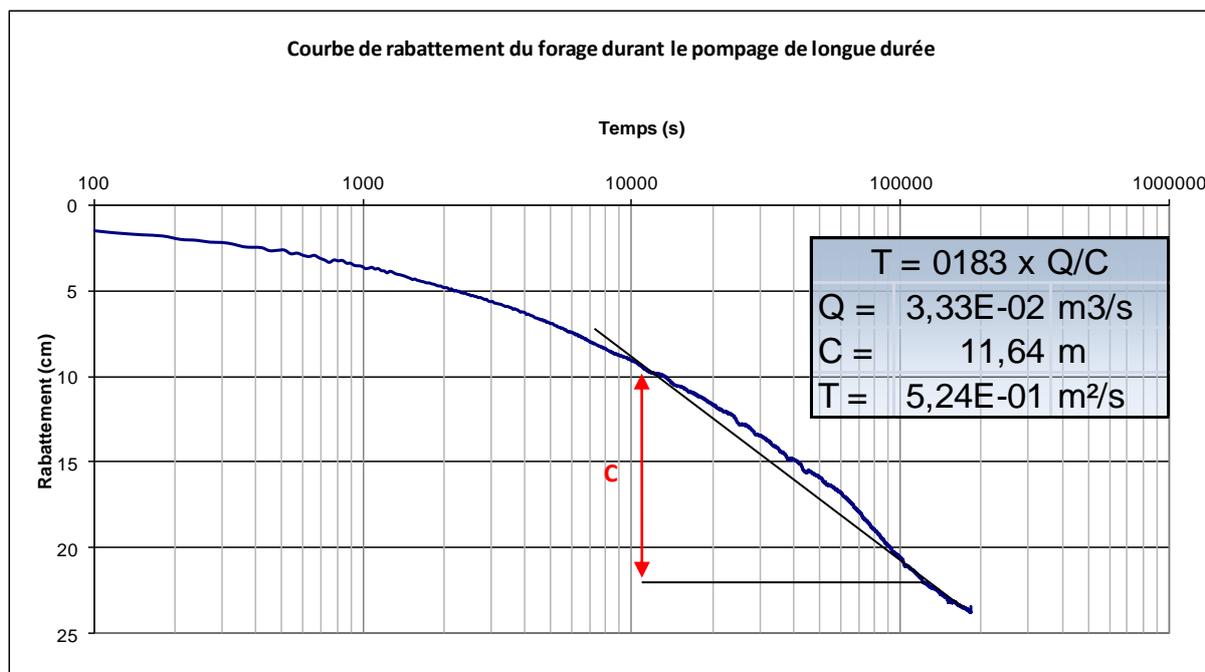


Figure 4 : Courbe de rabattement du pompage de longue durée en échelle logarithmique

La transmissivité calculée, montre une très bonne caractéristique de l'aquifère à $T = 5,2 \cdot 10^{-1} \text{m}^2/\text{s}$.

3.3.3 PIEZOMETRIE

Il n'a pas été possible d'effectuer un suivi piézométrique comparé entre le forage Rondoline et les forages F1 et F2 car ces derniers étaient en exploitation.

Nous pouvons indiquer cependant les quelques mesures réalisées :

| Point de mesure | Date de mesure | Niveau piézo mesuré (m/sol) | Cote sol (NGF) | Cote piézo (NGF) |
|------------------------|----------------|-----------------------------|----------------|------------------|
| S1 | 8/02/2016 | 134 m | 500 | 366 m |
| Rondoline ancien | 13/05/2016 | 22 m | 382 | 360 m |
| Rondoline F3 (nouveau) | 30/05/2016 | 35 m | 382 | 350 m |
| Grande Foux F2 | 11/02/2016 | 83m | 440 | 357 m |

On constate une bonne cohérence des niveaux piézométriques entre S1, F2 et F3, avec une pente piézométrique vers el Nord. On observe une grande différence d'altitude piézométrique entre les deux ouvrages Rondoline. Les mesures ont été effectuées à quelques jours d'intervalle et une influence du pompage des forages d'exploitation n'est pas à exclure. Un lever topographique fin permettrait de dresser une carte piézométrique.

3.4 VIDEO D'INSPECTION DES FORAGES RONDOLINE ANCIEN ET NOUVEAU

3.4.1 INSPECTION DU FORAGE RONDOLINE ANCIEN

Voir photographies extraites de la vidéo en annexe 6

Effectuée le 13 mai 2016, elle avait pour but d'examiner l'état de l'ouvrage. Ce dernier avait en effet fortement réagi lors des travaux de forage et de développement : de la mousse de forage sortait par cet ouvrage pourtant situé à plusieurs mètres du nouveau forage.

La vidéo a été réalisée au moyen d'une caméra immergeable R CAM 1000 à tête orientable, permettant l'inspection verticale mais aussi latérale du forage.

Les principales informations recueillies sont les suivantes :

- Tubage acier en bon état général (tube et soudures).
- Perforation probable du tube à 14.7 m / sol
- Perforation visible du tube à 27,5m /sol, au droit d'une soudure
- Niveau statique à 29.6m / sol
- Eau très trouble, visibilité quasi nulle
- Des branchages jetés au fond du forage l'obstruent à 30.9 m

Compte tenu de sa proximité au forage F3, cet ouvrage devrait être rebouché.

3.4.2 RECEPTION VIDEO DU FORAGE RONDOLINE NOUVEAU (F3)

Voir photographies extraites de la vidéo en annexe 5

Effectuée le 30 mai 2016, après les travaux de développement et de nettoyage par acidification et soufflage, elle avait pour but de réceptionner l'ouvrage.

La vidéo a été réalisée au moyen de la même caméra immergeable R CAM 1000 à tête orientable, permettant l'inspection verticale mais aussi latérale du forage.

Les principales informations recueillies sont les suivantes :

- Tubage acier plein, DN 273 en bon état général (tube et soudures),
- Top crépine à 34.5 m/sol – crépines acier à trous oblongs jusqu'à 115 m de profondeur,
- Niveau statique à 35.2 m/sol,
- L'eau est assez claire, mais la caméra décroche de nombreux flocons d'argile qui se mettent en suspension et gênent la vision,
- Pied de tubage 273 mm à 115 m/sol,
- Top tube crépiné acier DN 168 mm : 115,8 m : ce tube se trouve en dessous de la crépine 273 mm,
- Crépines acier à trous oblongs jusqu'à 151 m de profondeur,
- Fond de forage bouché par de l'argile.

Le forage est conforme à la coupe du foreur. On notera de légers écarts de profondeur, dû à l'erreur de mesure de l'appareil vidéo (3% d'après le constructeur.)

3.5 BILAN ANALYTIQUE

3.5.1 ANALYSE

3.5.1.1 CONDITIONS DE PRELEVEMENTS ET D'ANALYSE

L'analyse a été réalisée par le laboratoire départemental d'analyses et d'ingénierie du Var (accrédité COFRAC). Le prélèvement d'eau a été réalisé par leurs soins le vendredi matin 22 avril 2016 et a été expédié le jour même ; le laboratoire a enregistré l'arrivée le 22 avril et a donc démarré les analyses immédiatement. Les résultats sont parvenus le 1er Juin.

A noter que, compte tenu de la qualité apparente de l'eau, seule une analyse simplifiée a été réalisée.

3.5.1.2 RESULTATS

L'analyse complète est fournie en annexe 7.

Les principaux résultats sont les suivants :

- La turbidité néphélométrique est de 730 NFU, alors que la limite de qualité est de 2 NFU
- La flore bactérienne n'a pu être dénombrée à cause de cette turbidité
- Eau moyennement minéralisée : Hydrogénocarbonates : 379 mg/l ; Magnésium : 14/l, Calcium : 107 mg/l ; Sodium : 3 mg/l ; Sulfates : 6 mg/l
- Absence de polluant ou micropolluants d'origine humaine : Nitrates < 1 mg/l, pas d'hydrocarbures ni de composés volatils...
- Présence d'Aluminium : 0.61 mg/l, pour une limite de qualité à 0.2 mg/l
- Trace de tensio-actif non ionique (savons)

Les autres paramètres sont conformes aux références de qualité exigées.

Commentaire :

La turbidité excessive due à la présence d'argile lessivée par le pompage a fortement perturbé les résultats :

- ✓ L'eau n'est actuellement pas apte à la distribution d'eau potable, sauf à envisager un lourd traitement de la turbidité par floculation et filtration,
- ✓ Cette turbidité engendre une teneur en aluminium dans l'eau qui devrait revenir à la normale après avoir résolu ce problème.

La bactériologie est également liée à la turbidité et aux nombreuses manipulations effectuées sur l'ouvrage. Ces valeurs reviendront à la normale après un pompage de très longue durée.

La présence de savon est due à la méthode de foration : l'utilisation de la « mousse » et l'injection de grandes quantités d'air dans le terrain durant le forage ont poussé ce produit loin dans les formations aquifères. Ce produit est biodégradable et disparaîtra lors d'un pompage plus prolongé.

3.5.2 COMPARAISON AVEC LES EAUX DE LA FOUX ET DES LA SOURCE DE L'ALAMAN PIESERVINS

L'ARS nous a communiqué un historique des résultats d'analyse des eaux brutes des forages de la Foux et aussi de la source de l'Alaman, de 2007 à 2015.

Le tableau simplifié suivant permet de comparer ces eaux avec celle du forage de Rondoline (tous les résultats sont exprimés en mg/l)

| Éléments chimiques | Alaman | La Foux | Rondoline |
|--------------------|--------|---------|-----------|
| HCO3 | 440 | 350 | 379 |
| Ca | 147 | 95 | 107 |
| Mg | 10 | 18 | 14 |
| Na | 10 | 3 | 3 |
| S04 | 32 | 8 | 6 |
| NO3 | 10 | 0.5 | 0.6 |

Ce tableau montre la grande similitude entre l'eau de la Foux et de Rondoline, et une légère divergence avec celle de l'Alaman, qui est légèrement plus calcique et sulfatée. La présence de Nitrates à l'Alaman montre aussi qu'elle est plus sensible aux incidences humaines.

4 BILAN PROVISOIRE ET PROGRAMME DE POURSUITE DES TRAVAUX

Les travaux réalisés pour le compte du SIAE sur la commune de Nans les Pins ont mis en évidence l'absence de ressource significative au droit du réservoir de la Foux : les terrains présentent de multiples zones broyées, mais non productives car les fractures et les diaclases sont entièrement recristallisées et donc refermées.

Le sondage S3 (Rondoline) a pour sa part confirmé la grande productivité présente sur ce site, il a donc été transformé en vue d'une possible exploitation (il s'agit du forage RONDOLINE F3, pour le différencier de l'ancien ouvrage Rondoline, abandonné car situé en terrain privé). Ses eaux sont actuellement très chargées en argile, et le forage de test n'est pas exploitable en l'état.

L'objectif est d'arriver à une eau de turbidité compatible avec son exploitation directe. Les travaux d'acidification et d'air lift n'ont pas été suffisants pour extraire la totalité des fines.

Une phase de nettoyage de l'ouvrage doit donc être entreprise :

- Une pompe sera immergée en fond de la chambre de pompage (entre 100 et 110 m de profondeur) elle sera protégée par une sonde de niveau et contre les surtensions,
- Son débit sera proche du débit d'exploitation souhaité ; une vanne permettra le réglage du débit,
- Les eaux seront rejetées au milieu naturel après décantation ; une manchette permettra de rejeter ces eaux suffisamment loin, pour éviter une réalimentation de la nappe,
- L'équipement du forage de test sera composé des moyens de mesure suivants : débitmètre, niveau piézométrique et turbidité. Tous ces appareils seront couplés à des enregistreurs pour acquérir et interpréter les données,
- Le pompage pourra être démarré par à coups, de façon à décoller les fines qui adhèrent aux parois du tube (voir vidéo de réception de l'ouvrage),
- Le pompage se poursuivra ensuite en continu, à débit constant, de façon à noter l'évolution de turbidité. En fonction des résultats, il pourra être procédé à des arrêts et reprise du pompage, de façon à vérifier l'amélioration qualitative des eaux,

Durant le pompage, le matériel sera protégé du vandalisme par la mise en place d'un conteneur qui abritera la tête de forage et tous les équipements de mesure.

La durée du test est établie à un mois, avec possibilité de prolongation en fonction des résultats. Le test sera supervisé par l'hydrogéologue et les décisions de poursuite seront prises en concertation avec le comité de pilotage.

L'équipement du forage en ouvrage d'exploitation sera examiné et mis en œuvre en fonction des résultats qualitatifs.

5 ANNEXES

ANNEXE 1 : PLAN DE SITUATION GENERALE

ANNEXE 2 : PLAN DE SITUATION DETAILLE

ANNEXE 3 : LOCALISATION PAR RAPPORT AU PERIMETRE DE PROTECTION DES FORAGES DE LA FOUX F1 et F2

ANNEXE 4 : COUPE DU FORAGE RONDOLINE F3

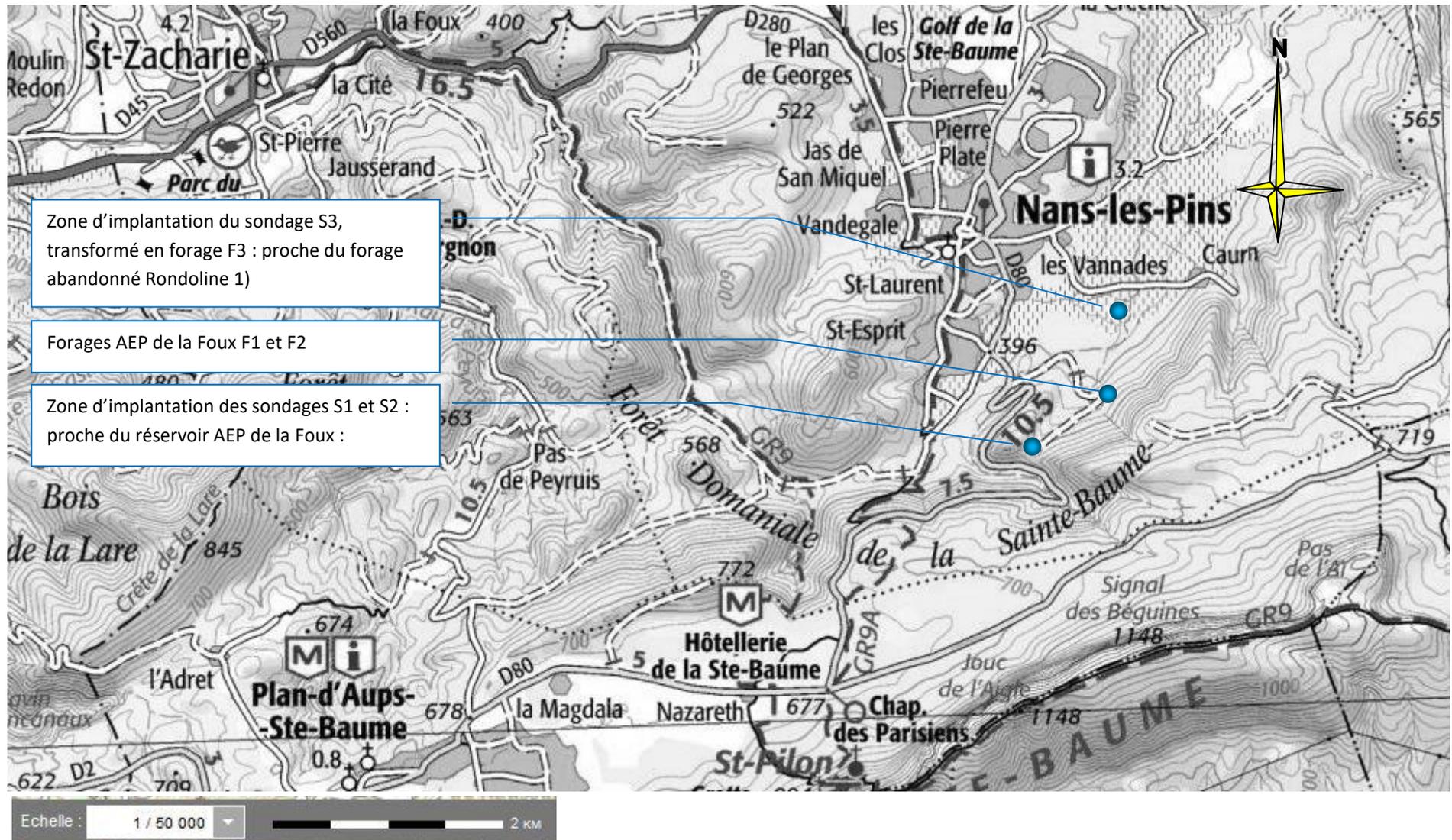
ANNEXE 5 : PHOTOGRAPHIES EXTRAITES DE LA VIDEO DE RECEPTION DU FORAGE RONDOLINE F3 (NOUVEAU)

ANNEXE 6 : PHOTOGRAPHIES EXTRAITES DE LA VIDEO D'INSPECTION DU FORAGE RONDOLINE ANCIEN

ANNEXE 7 : RESULTATS D'ANALYSE DE PREMIERE ADDUCTION

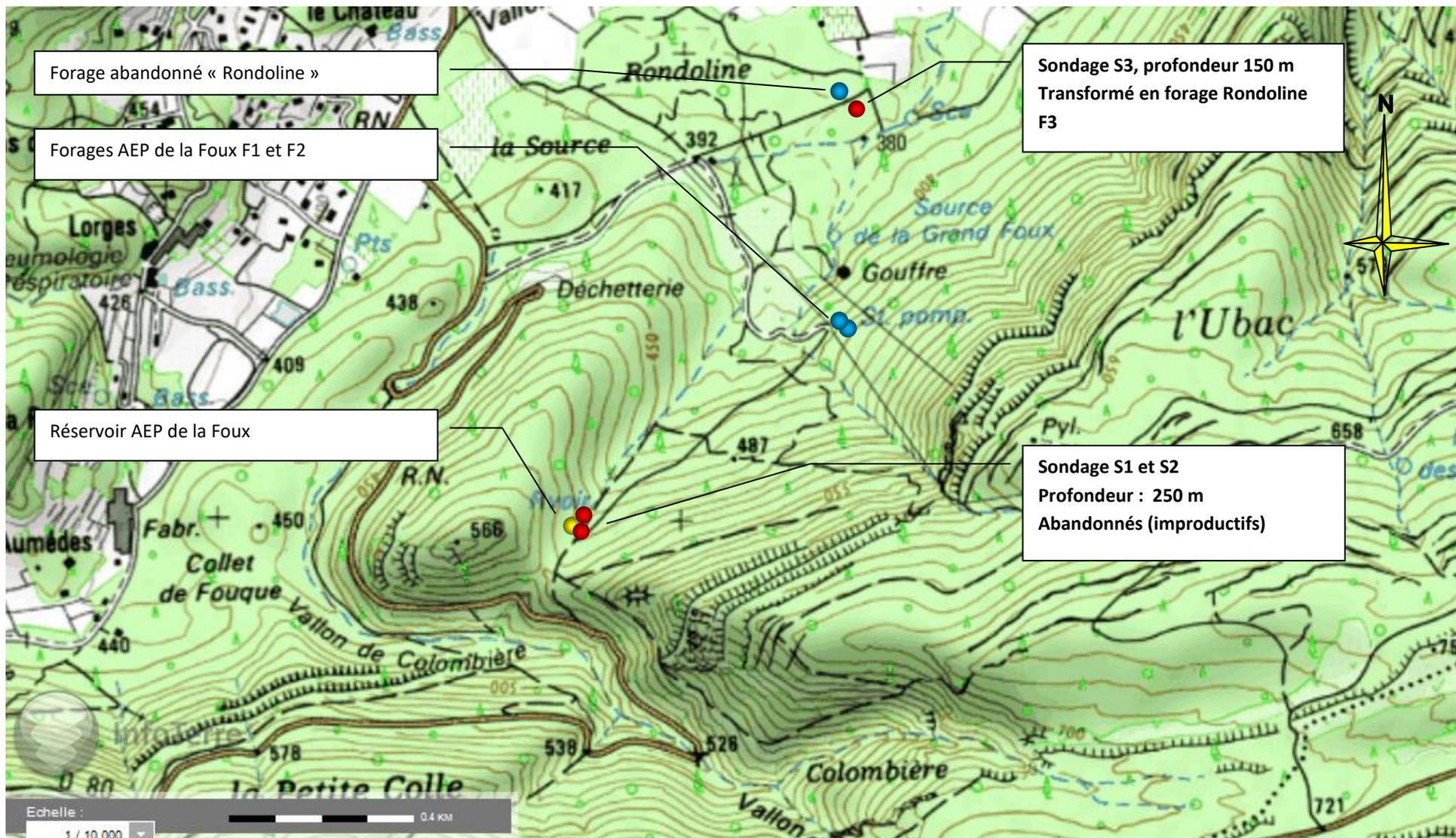
ANNEXE 8 : REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE DES TRAVAUX DE FORAGE S1, S2, S3 ET RONDOLINE

ANNEXE 1 : PLAN DE SITUATION GENERALE

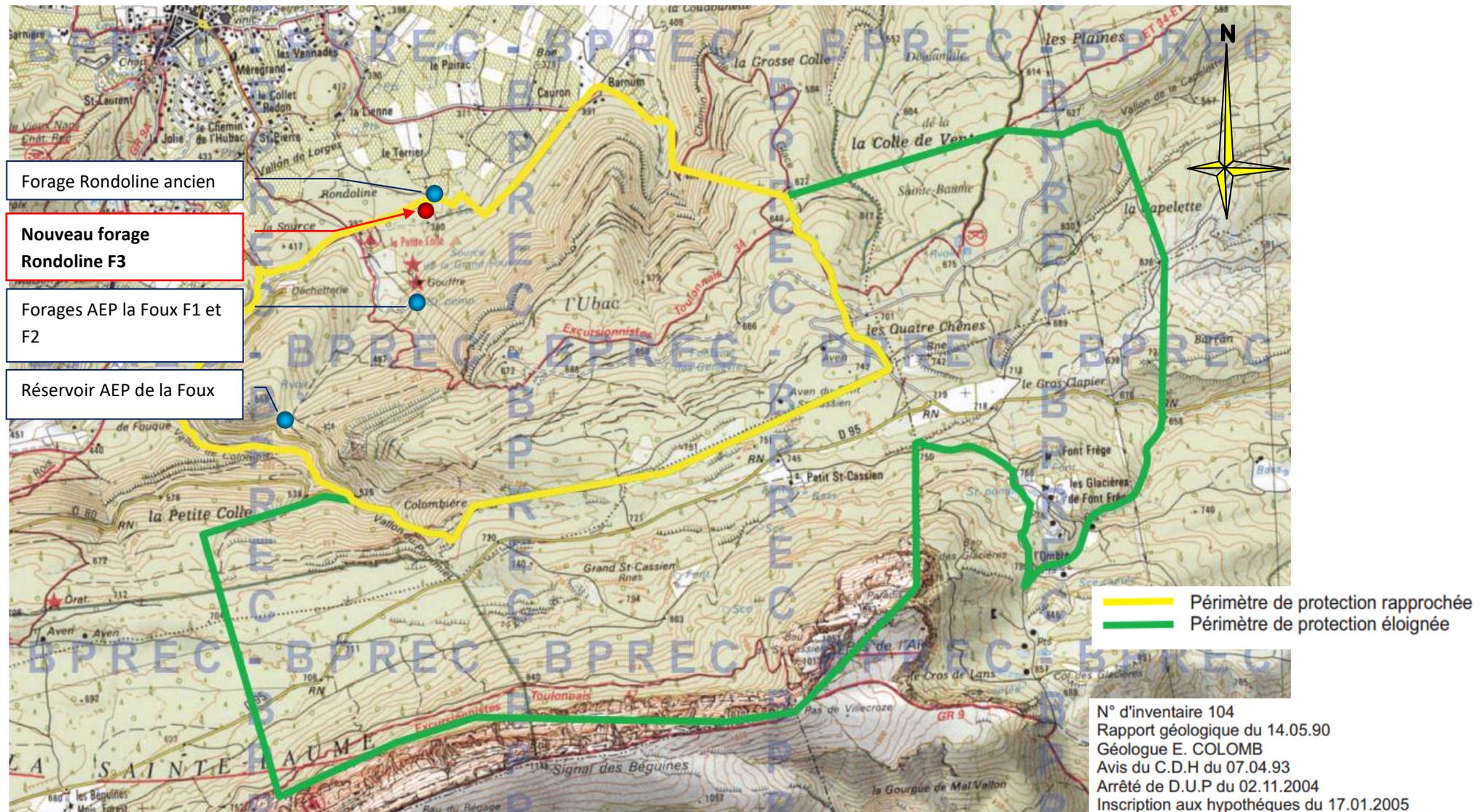


Source : carte IGN, sur site www.infoterre.fr

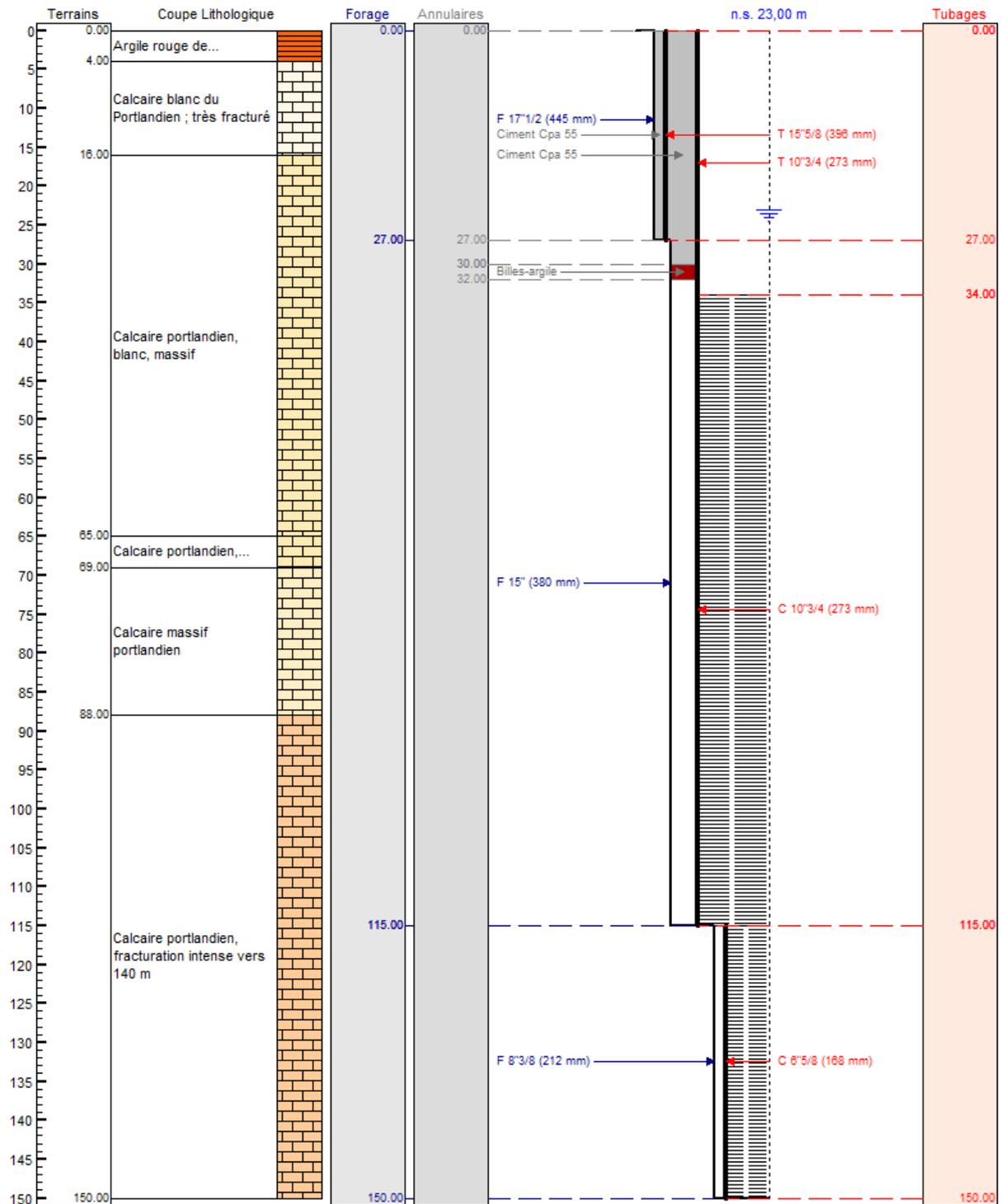
ANNEXE 2 : PLAN DE SITUATION DETAILLE



ANNEXE 3 : LOCALISATION PAR RAPPORT AU PERIMETRE DE PROTECTION DES FORAGES DE LA FOUX F1 et F2



ANNEXE 4 : COUPE DU FORAGE RONDOLINE F3



ANNEXE 5 : PHOTOGRAPHIES EXTRAITES DE LA VIDEO DE RECEPTION DU FORAGE RONDOLINE F3 (NOUVEAU)

| | |
|--|--|
|  <p>2016-05-30 14:31:41 B123456</p> <p>vidéo : cote 0 = bord du tubage acier</p> <p>0000 .00m CH 01</p> |  <p>2016-05-30 14:33:52 B123456</p> <p>0003 .26m CH 01</p> |
| <p>Démarrage vidéo – visée axiale</p> | <p>Examen systématique de toutes les soudures en visée latérale</p> |
|  <p>2016-05-30 14:41:52 B123456</p> <p>0034 .10m CH 01</p> |  <p>2016-05-30 14:43:46 B123456</p> <p>0034 .99m CH 01</p> |
| <p>Arrivée sur tube crépiné, à 34.50 m/sol</p> | <p>Vue latérale : crépine oblongue à fentes verticale</p> |
|  <p>2016-05-30 14:43:25 B123456</p> <p>0035 .20m CH 01</p> |  <p>2016-05-30 14:48:52 B123456</p> <p>0041 .08m CH 01</p> |
| <p>Niveau piézométrique le 30 mai 2016</p> | <p>L'eau trouble rend difficile l'examen du forage en visée axiale</p> |

| | |
|--|--|
|  |  |
| <p>On observe d'important dépôts d'argile sur l'ensemble de la colonne crépinée</p> | <p>A 70 m : zone de fracture, visible derrièrè la crépinè</p> |
|  |  |
| <p>Tube acier diamètre 168 mm posé en fond de forage (de 115 à 150) ; à l'extérieur : paroi calcaire du forage</p> | <p>Les crépinès du tube 168 mm présentent d'importantès dépôts argileux</p> |
|  |  |
| <p>Visée axiale : nombreuses particules décollées par le passage de la caméra</p> | <p>A la même cote, visée latérale : crépinès à fentes verticales, trous oblongs</p> |



Fond du forage (visée axiale et latérale) : fond boueux, eau assez trouble ;
la différence de cote entre l'information portée à l'écran (151.9m) et la cote donnée par le foreur (150 m)
correspond à la précision de l'appareil de mesure de profondeur (donnée constructeur : 3%)

ANNEXE 6 : PHOTOGRAPHIES EXTRAITES DE LA VIDEO D'INSPECTION DU FORAGE RONDOLINE ANCIEN

| | |
|---|--|
|  <p>2016-05-03 14:42:21 B123456 0005.15m CH 01</p> |  <p>2016-05-03 14:47:09 B123456 0014.47m CH 01</p> |
| Vue axiale du tubage acier | Petite perforation dans la zone émergée |
|  <p>2016-05-03 14:46:29 B123456 0014.78m CH 01</p> |  <p>2016-05-03 14:55:59 B123456 0027.15m CH 01</p> |
| Les traces de coulures calcaire indiquent que de l'eau peut pénétrer dans le forage par cette perforation | Seconde perforation à 24.15 m (vue latérale) |
|  <p>2016-05-03 14:58:19 B123456 0029.26m CH 01</p> |  <p>2016-05-03 15:01:09 B123456 0030.90m CH 01</p> |
| Arrivée sur niveau piézométrique (29.60 le 03 mai) | Vue latérale : une branche d'arbre obstrue le forage et empêche le poursuite de l'inspection vidéo |

ANNEXE 7 : RESULTATS D'ANALYSE DE PREMIERE ADDUCTION

En raison de la mauvaise qualité des eaux, l'ensemble des analyses n'a pas encore été réalisée

ANNEXE 8 : REPORTAGE PHOTOGRAPHIQUE DES TRAVAUX DE FORAGE S1, S2, S3 ET RONDOLINE

SITE S1

| | |
|--|---|
|  |  |
| Sondage S1, près du réservoir de la Foux (2/02/16) | Travaux en cours sur S1 (2/02/16) |
|  |  |
| Outils de forage (marteau fond de trou) (2/02/16) | Inspection vidéo du trou nu de S1 (8/02/16) |
|  |  |
| Sondage S2 (8/02/16) en cours de réalisation, au dessus du réservoir de la Foux | Le prélèvement d'échantillons de roche tous les mètres (cuttings) permet de dresser la coupe géologique de l'ouvrage |



Installation sur site S3 (Rondoline)



19/02/16 ; le forage produit beaucoup d'eau, mais elle est chargée en argile



L'adjonction de mousse facilite la foration, cette mousse ressort par l'ancien forage Rondoline



2/03/16 :Durant les tests d'air lift sur S3, un bac de décantation permet d'abattre la turbidité

| | |
|--|--|
|  | |
| | |