

République française



DÉPARTEMENT  
**BOUCHES  
DU RHÔNE**

**Direction des Routes**  
**Arrondissement**  
**de l'ETANG DE BERRE**

**- RD 7n -**

**Requalification entre Cazan et accès à Pont-Royal**  
**Communes de MALLEMORT et VERNEGUES**

**DEMANDE D'EXAMEN AU CAS PAR CAS**  
**PREALABLE A LA REALISATION D'UNE ETUDE**  
**D'IMPACT**

**ANNEXES COMPLEMENTAIRES**

**A9 – Avis ARS / Hydrogéologue agréé (station captage)**



**Maîtrise d'œuvre conception**

**VERDI Ingénierie Méditerranée**

31 Ter, chemin de Brunet  
13090 AIX-EN-PROVENCE  
Tél : 04.42.26.30.61 / E-mail : aix@verdi-ingenierie.fr

République française



**Maîtrise d'Ouvrage**

**C.D. 13 – Direction des Routes – Arrondissement de l'Etang-de-Berre**

Route de St-Pierre  
13698 MARTIGUES cedex

Suivi et vérifié par  
Le Chef du Service Etudes et Travaux

**M. OLIVERI**  
Martigues, le

Présenté par  
Le Chef de l'Arrondissement de l'Etang-de-Berre

**J.L. ROUX**  
Martigues, le

Approuvé par la Présidente du Conseil Départemental  
Pour la Présidente et par délégation  
Le Directeur des Routes

**D. WIRTH**  
Marseille, le

Etude réalisée par l'équipe : **C. MOREAU / A. BARBAROUX**

Date : **Janvier 2017**

Modifications :





Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



Agence Régionale de Santé  
Délégation départementale des Bouches-du-Rhône  
Service Santé Environnement

Merci de rappeler impérativement  
la référence de ce courrier

Affaire suivie par : Rémy MORLAND   
Courriel : remy.morland@ars.sante.fr

Téléphone : 04 13 55 82 35 / 40  
Télécopie : 04 13 55 82 63

Réf : DT13/SE/RM/PONTDESTAIADES-HG-2016-06-23

Date : 28 JUIN 2016

PJ: 1 rapport

Conseil départemental des Bouches du Rhône  
Direction des Routes  
Arrondissement de l'Etang de Berre  
BP 60249  
Route de Saint Pierre  
13698 MARTIGUES CEDEX

A l'attention de madame Céline MOREAU

Objet : Réfection du pont des Taïades-Forage de Cazan à VERNEGUES

Madame,

Par courrier du 25 janvier dernier, vous avez sollicité mes services en vue désigner un hydrogéologue agréé en ce qui concerne votre projet de réfection du pont des Taïades sur la RD7n en entrée de Cazan.

En effet, ce projet se situant à proximité du captage en eau potable de Cazan qui alimente la commune de Vernègues en eau potable, l'avis d'un hydrogéologue agréé était indispensable.

Monsieur Silvestre, hydrogéologue agréé a ainsi été désigné par mes services le 12 février 2016, s'est rendu sur place le 7 mars 2016 et a remis un rapport le 7 mai dernier (copie ci-jointe).

Dans ce rapport, cet expert rappelle la forte vulnérabilité du forage de Cazan qui est la seule ressource en eau potable de la commune de Vernègues.

Il précise également que vous proposez deux solutions concernant la remise à niveau du pont des Taïades, à savoir :

- Maintien du pont actuel sans modification du ruisseau des Taïades (solution n°1),
- Reconstruction du pont en aval hydraulique avec modification du tracé du ruisseau des Taïades (solution n°2).

Selon les conclusions du rapport de monsieur Silvestre, la première solution est fortement déconseillée car elle pourrait mettre en péril l'intégrité du forage de Cazan ce qui pourrait entraîner une rupture de l'alimentation en eau potable de la commune de Vernègues.

Par contre, il est favorable à la mise en place de la solution n°2 qui, en déviant le tracé du ruisseau permettra d'améliorer la protection du captage de Cazan.

En conséquence, et sous réserve que les recommandations énoncées en page 18 du rapport de l'hydrogéologue agréé soient strictement respectées, j'émet un avis favorable à la solution n°2 qui prévoit la reconstruction du pont et la déviation du ruisseau des Taïades.

Dans la mesure du possible, les travaux devront être réalisés dans une période où le captage sera le moins sollicité afin de réduire au maximum le débit de prélèvement.

Je reste à votre disposition pour tout renseignement complémentaire et vous prie d'agréer, madame, l'expression de mes salutations distinguées.

Copie à : Métropole Aix-Marseille-Provence

  
Délégation départementale des Bouches-du-Rhône - 132, boulevard de Paris - 13003 Marseille  
Adresse postale : CS 50039 - 13331 Marseille cedex 03  
Standard : 0 820 580 820 / Fax : 04 13 55 82 61  
www.ars.paca.sante.fr

Pour le préfet des Bouches du Rhône  
La Représentante du Département de l'Environnement  
Sécurité et Santé  
des Bouches-du-Rhône

Cécile MORCIANO

DEPARTEMENT DES BOUCHES DU RHONE  
DIRECTION DES ROUTES  
ARRONDISSEMENT DE L'ETANG DE BERRE  
SERVICE ETUDES ET TRAVAUX  
B.P. 60249  
13698 MARTIGUES CEDEX

## ETUDE DE LA REQUALIFICATION DE LA RD7N ENTRE CAZAN ET PONT ROYAL

Reconstruction du pont des Taïades  
à proximité de la station de captage eau potable de Cazan  
(Commune de Vernègues)

EXPERTISE OFFICIELLE

Avis hydrogéologique de faisabilité

par Jean - Paul SILVESTRE  
Docteur en Géologie Appliquée, Diplômé d'Etudes Approfondies en Hydrogéologie  
Hydrogéologue Agréé en matière d'eau, d'hygiène et de salubrité publique,  
Coordonnateur départemental adjoint des Hydrogéologues Agréés

### 1. INTRODUCTION

Le Département des Bouches du Rhône, poursuivant sa politique de remise à niveau du réseau routier départemental, envisage de réhabiliter le tronçon de la RD7n entre le rond-point de Pont Royal et la sortie Nord de Cazan sur environ 2 km de manière à assurer une continuité d'aménagement avec le reste du réseau routier qu'il soit régional ou national (fig. 1).

Cette réhabilitation concerne en particulier l'aménagement d'accotements revêtus, la protection des obstacles latéraux, le passage de convois exceptionnels, ainsi que la réfection des ouvrages hydrauliques avec reprise de leur assainissement de plate-forme (ponts des Taïades et du Lavoir, eaux de ruissellement).

En effet, la RD7n est identifiée au niveau du Schéma Directeur Routier (SDR) du département des Bouches du Rhône comme :

- itinéraire alternatif aux autoroutes A7 et A8 entre Aix en Provence et Avignon,
- route à grande circulation et itinéraire de convois exceptionnels.

En sortie Nord de Cazan, la RD7n franchit le ruisseau des Taïades au moyen d'un ouvrage en maçonnerie dont la construction remonte probablement à la seconde moitié du XIX ième siècle voire au delà.

Cet ouvrage comporte 4 arches maçonnées d'environ 4 m d'ouverture chacune dont les axes sont obliques par rapport à la direction Nord - Sud du tablier du pont. Ces arches sont régulièrement

obstruées par les sédiments sablo-marneux transportés lors des crues du ruisseau ce qui provoque une perte d'environ 50% de leur section utile voire davantage (arche Sud entièrement colmatée) et une mise en charge des eaux de ruissellement avec débordement en amont du pont.

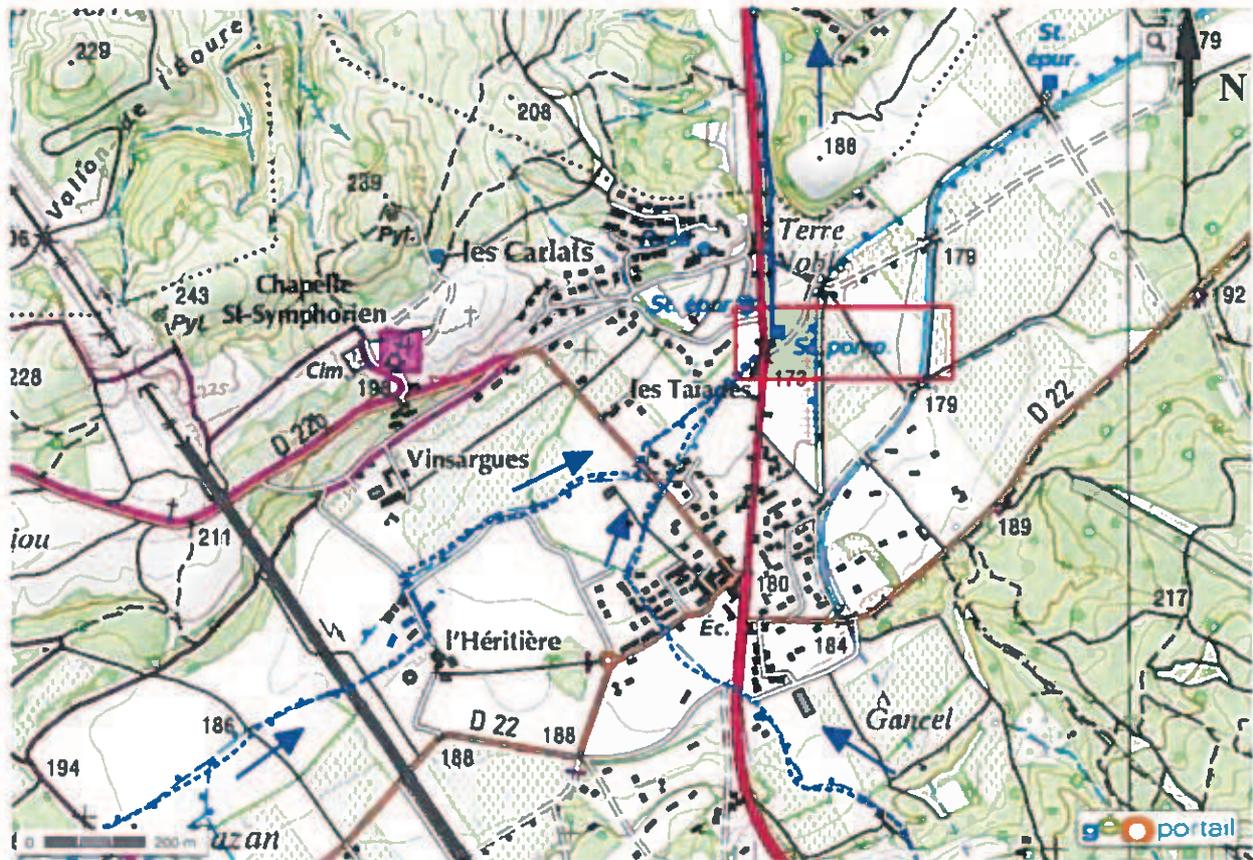


Fig. 1. Localisation du captage AEP de Cazan et du pont des Taïades.

Face aux 2 premières arches et à leur appui sur la berge de rive droite, se localise, à environ 3 m de distance, le captage AEP qui alimente en eau potable le village de Vernègues et le hameau de Cazan. Ce captage comporte 2 forages, dont un exploité en permanence, et n'a aucune protection de berge contre les crues du ruisseau (mur de soutènement ou enrochement) : il est donc très vulnérable, ainsi que sa canalisation de transport des eaux au départ de la distribution, vis à vis des eaux de surface (canalisation sur-élevée au dessus du lit et posée au centre sur un poteau en maçonnerie).

Face à cette problématique, le pont des Taïades présente depuis de nombreuses années des dégradations structurelles importantes (notamment tassement et déformation du tablier côté Est entre la troisième et dernière arche, probablement dus à l'augmentation de la circulation routière voire à une fragilisation de l'ouvrage lors du tremblement de terre de Rognes -Lambesc au début du XX ième siècle).

Ces dégradations ont conduit la Direction des Routes (DDR) à « déclasser » l'ouvrage puis à lui appliquer une limitation de charges qui constitue un point noir routier restreignant de fait la circulation des poids lourds sur cet itinéraire référencé « convoi exceptionnel » et axe routier majeur.

Pour résorber cet « étranglement » et faciliter la traversée future du ruisseau des Taïades, la DDR 13 envisage 2 solutions techniques différentes :

- la reprise en sous-œuvre de l'actuel pont sans modification du tracé du ruisseau des Taïades,
- la condamnation du pont avec détournement du ruisseau vers l'aval hydraulique en direction du petit pont du Lavoisier situé 200 m au Nord.

L'extrême proximité du captage AEP de Cazan avec l'ouvrage routier à réhabiliter nécessite impérativement de prendre un certain nombre de précautions tant au niveau du choix technique à opérer qu'au niveau du déroulement des travaux car il existe un risque indéniable qui consiste à priver d'alimentation en eau potable l'ensemble des populations habitant le hameau de Cazan et le village de Vernègues suite à une possible contamination du captage lors des travaux.

**Ce risque est d'autant plus grand qu'il n'existe aucune autre source d'alimentation en eau potable (sécurisation) susceptible de se substituer en secours à la ressource actuelle.**

Fort de ce constat, la Direction de l'Eau de la Métropole Aix-Marseille-Provence a souhaité avoir l'avis d'un hydrogéologue Agréé sur les solutions techniques de franchissement envisagées en regard de la vulnérabilité du captage AEP menacé.

En date du 12 février 2016 (lettre de mission ARS n° DT13/SE/RM/PONTDESTAIADES2-HG-2016-02-11), j'ai été désigné pour fournir un avis hydrogéologique circonstancié prenant en compte la nécessité de maintenir l'alimentation en eau potable des populations concernées.

Fort de ce mandat, une visite des lieux a été organisée le mercredi 16 mars 2016 en présence de :

- MOREAU Céline (Direction des Routes, Service Etudes et travaux, Arrondissement de l'Etang de Berre); MICHEL Olivier (Chef du Service Etudes et travaux);
- BELLONI Monique (Métropole Aix-Marseille Provence, Division Eau et Assainissement, propriétaire de l'ouvrage),
- LEBRETON Nicolas, FANELLI Vincent, BOYER Paul (APE ex SEM, exploitant fermier),
- SILVESTRE Jean-Paul, Hydrogéologue Agréé.

A la suite de quoi, le présent avis a été établi à partir de la documentation fournie par l'ARS/Conseil départemental/Métropole ainsi qu'à partir de ma propre documentation.

## 2. RAPPEL DU CONTEXTE GEOLOGIQUE ET STRUCTURAL

Le captage AEP de Cazan et le pont des Taïades se localisent au droit d'un affleurement quaternaire noté Fz sur la carte géologique au 1/50.000 de Salon de Provence (fig. 2). Cet affleurement est cartographié avec une couleur bleu clair « transparente » et correspond à des dépôts fluviaux laissés par le ruisseau des Taïades à une époque où son hydraulicité était plus importante qu'aujourd'hui (probablement à la fin de la dernière glaciation, au moment de la fonte des derniers glaciers due au dernier grand réchauffement climatique).

Ces dépôts correspondent à des alluvions récentes transportées par le ruisseau et ne sont qu'une reprise d'érosion des éboulis de versant situés en pieds des massifs calcaires avoisinants : il s'agit pour l'essentiel de cailloutis calcaires emballés dans une matrice argileuse plus ou moins sableuse

et graveleuse.

Latéralement, ces alluvions se connectent aux éboulis de versant mais ils peuvent aussi localement se superposer à ces mêmes éboulis.

Une indication de leur épaisseur au niveau du pont des Taïades est donnée par les coupes géologiques succinctes des 2 forages proches qui constituent le captage AEP de Cazan :

- sur F1, le mur des terrains superficiels se trouverait à 8,5 m de profondeur,
- sur F2, soit 6 m à côté, il se situerait vers 7,5 m (cf. fig.4 et 5).

Sous ces terrains de couverture, la carte géologique indique en rives droite et gauche du ruisseau la présence du Burdigalien (noté m1 et cartographié avec une couleur orangée) représenté par une mollasse graveleuse, dure, de couleur blanche, autrefois exploitée comme pierre à bâtir ou ornementale. Cette roche aurait été traversée sur environ 38 m sur F1 et 39 m sur F2; c'est dans celle-ci que devraient être ancrés les pieux nécessaires au renforcement des fondations du pont des Taïades en cas de mise en œuvre de la solution technique n°1. Le Burdigalien présente un pendage des couches vers le Sud-Est.

Au dessus du Burdigalien, on note la présence de mollasses rouges graveleuses et de grès calcaires associés à des marnes sableuses micacées attribués à l'étage Helvétien (m2). Dans la plaine de Cazan, elles sont en grande partie masquées par le Quaternaire et apparaissent sous forme de pointements sous les alluvions (fig. 2). Le village de Vernègues est construit sur ce type de roches.

On notera que la mollasse rousse m2 n'a pas été retrouvée ni sur F1 ni sur F2 mais dans le forage d'eau privé de la propriété ARNA toute proche (fig.2).

Sous la mollasse burdigalienne, l'interprétation de la carte géologique indique la présence possible de terrains appartenant à l'Oligocène (noté g2 et cartographié en rose) qui affleurent dans la montée de Gancel sur l'ex RN7, 1200 m plus au Sud. Cet Oligocène est représenté par des marnes et des argiles rouges sableuses à cailloutis et éléments calcaires anguleux indiquant un faible transport. A priori, il aurait été retrouvé :

- sur le forage F2, sous forme de « marnes rouges et grises, niveaux de conglomérat et de calcaire » entre les côtes 46 et 77 m, soit 37 m d'épaisseur apparente en fonction du pendage des couches;
- sur le forage F1, où je considère qu'il est absent car la description des terrains qui est faite (cf. fig. 4 et 5, coupes géologiques) correspond davantage à celle des faciès présents dans l'Hauterivien n3c ou le faciès de transition n4. Ce constat implique le passage d'une faille SW-NE avec rejet vertical entre les 2 forages.

Burdigalien et Oligocène sont transgressifs (biseautage des couches sur les bordures des reliefs et dépôts sur une paléo-topographie) sur un substratum calcaire qui constitue l'ossature des reliefs avoisinants (massif d'Aurons - Vernègues soit l'extrémité occidentale de la chaîne des Costes et de la Trévaresse).

Sous le Burdigalien (F1) ou sous l'Oligocène (F2), on trouve au niveau du pont et des forages les calcaires de l'Hauterivien supérieur (n3c) qui dans sa partie haute correspond à des calcaires compacts, microcristallins, bicolores, caractéristiques (gris et beiges), surmontant un niveau de calcaires noduleux en petits bancs d'apparence marneuse, eux-même superposés à des calcaires gris et roux en gros bancs et joints argileux. La partie inférieure de l'Hauterivien supérieur est assez

semblable à cette description et l'ensemble hauterivien atteint une puissance de 400 à 500 m.

Le pendage des couches hauteriviennes se fait vers le Nord et le Nord-Ouest en direction de la Durance soit dans le sens opposé à celles des couches burdigaliennes (discordance angulaire des couches due à la transgression de la mer miocène).

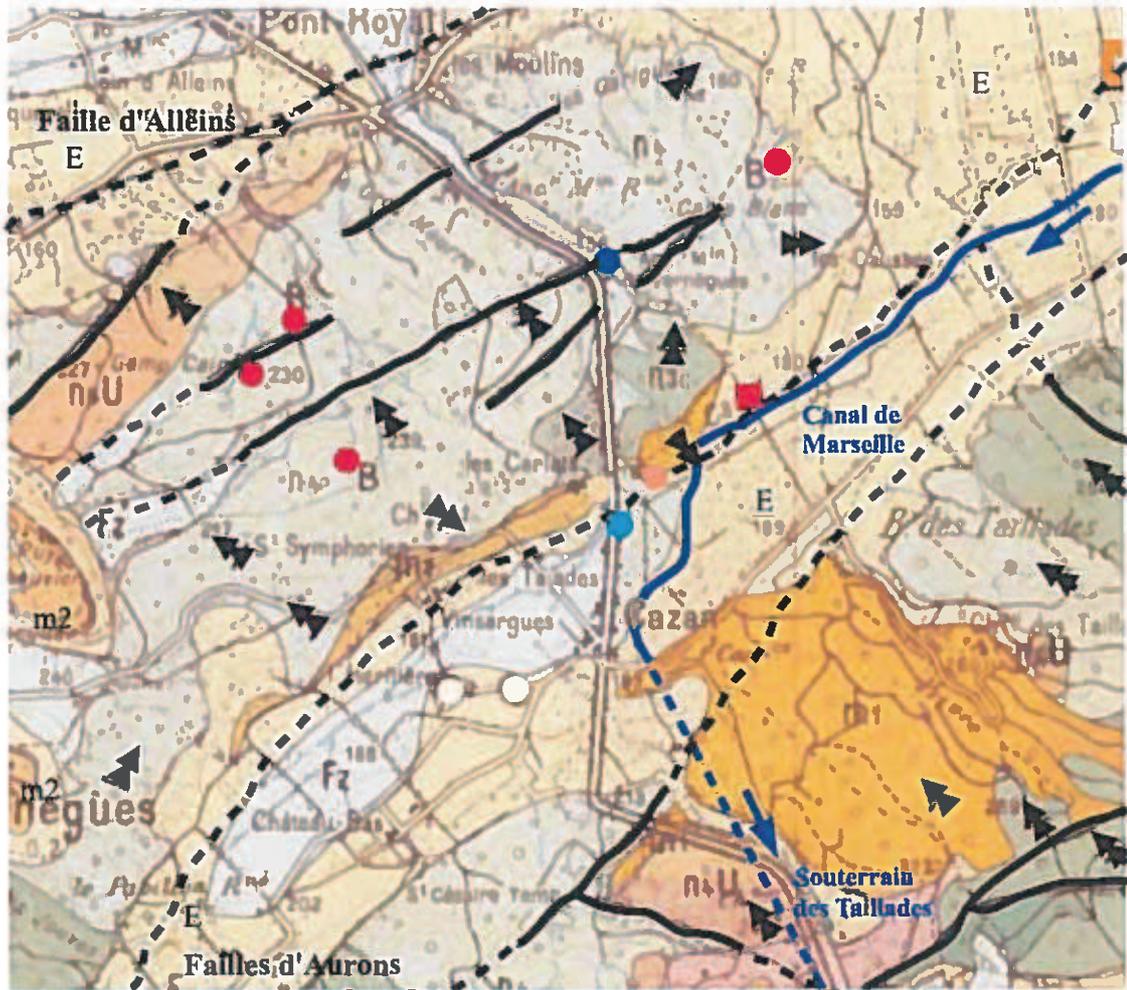


Fig. 2. Contexte géologique et structural du captage AEP de Cazan et du pont des Taïades.

Légende figure 2 :

- |   |  |    |                                 |
|---|--|----|---------------------------------|
| ● | Captage AEP de Cazan et pont des Taïades | Fz | Alluvions récentes              |
| ● | Source karstique du Moulin de Vernègues  | E  | Eboulis de versant              |
| ● | Source du Lavoir                         | ●  | Pointements helvétiques (m2)    |
| — | Faille connue à l'affleurement           | ●  | Burdigalien                     |
| ⋯ | Faille masquée                           | ●  | Oligocène (Stampien)            |
| ■ | Nouvelle station d'épuration de Cazan    | ●  | Bauxite (B)                     |
| ▶ | Pendage des couches                      | ●  | n4U Barrémien à faciès urgonien |
|   |  | ●  | n4 Hauterivien - Barrémien      |
|   |  | ●  | n3c Hauterivien supérieur       |

Dans ces 2 directions (N et NW), en position structurale supérieure, apparaissent des couches calcaires et marneuses notées n4 qui forment un passage progressif (transition) entre l'Hauterivien

supérieur et l'étage Barrémien avec en particulier son faciès urgonien (noté n4U) représenté par des couches calcaires massives blanches (calcaires à gros silex et calcarénites fines à grossières).

Sur les affleurements de transition n4, on note des pointements localisés de bauxite épargnés par les érosions successives subies lors des différentes périodes d'émersion depuis la fin du Barrémien.

Structuralement, la dépression de Cazan, au niveau du substratum calcaires crétacés, coïncide avec un compartiment effondré limité par 2 failles parallèles de direction SW - NE dont la faille Sud, dédoublée, rejoint le village d'Aurons en se déversant vers le Sud - Est. Globalement, elles sont parallèles aux autres failles qui affectent le massif de Vernègues et en particulier à la faille régionale d'Alleins qui borde ce massif au Nord.

En surface, le Burdigalien transgressif prend la forme d'un synclinal dissymétrique dont l'axe, probablement faillé (rejeu tardif de la faille sous-jacente affectant le substratum calcaire crétacé) se superpose pratiquement à la faille qui limite le compartiment effondré au Nord. L'axe de ce synclinal s'abaisse ensuite vers le Nord-Est c'est à dire en direction de la Durance.

### 3. RAPPEL DU CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

L'Hydrogéologie du secteur est marquée principalement par la présence de deux réservoirs aquifères fissurés, de type discontinu et/ou poreux, liés aux couches de calcaires crétacés et à celles de la mollasse burdigalienne.

Ces 2 réservoirs sont superposés et localement séparés par des terrains oligocènes eux-mêmes aquifères (cas du forage n°2 de Cazan) et, lorsque ces derniers sont absents, les 2 premiers sont en contact direct (cas du forage n°1).

L'écoulement des eaux souterraines dans l'aquifère mollassique doit s'effectuer normalement dans le sens du pendage des couches c'est à dire vers le centre de la cuvette de Cazan avec mise en charge des eaux puis vers la Durance puisque l'axe de ce petit synclinal miocène s'abaisse vers le Nord-Est : un forage au cœur de la plaine devrait donc donner un ouvrage artésien ou proche de cet état (arrivées d'eaux captives avec remontée des niveaux près du sol). La source du Lavoir intercepte une faible partie de ces écoulements issus des affleurements de la mollasse burdigalienne constituant la colline des Carlats.

L'écoulement dans les couches calcaires crétacées fissurées, et probablement en partie karstifiées, s'effectue vers leur exutoire naturel représenté par la source karstique du Moulin de Vernègues qui se positionne au droit d'une faille parallèle à celles d'Alleins et d'Aurons (fig.3). L'aire d'alimentation de cet exutoire est limitée à quelques km<sup>2</sup> car le massif calcaire est aussi drainé vers l'Ouest par la source des Aubes captée pour l'AEP de Salon (fig.3).

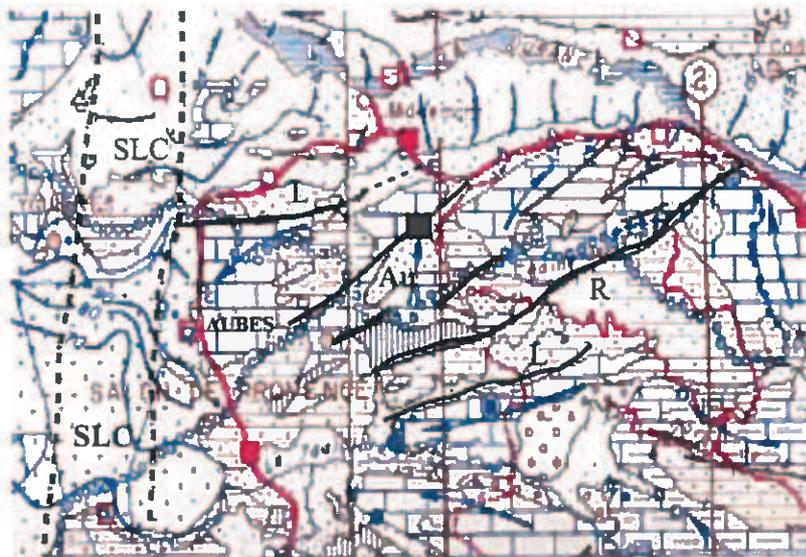
Le forage AEP F1 de Cazan, profond de 144 m, a traversé l'aquifère burdigalien dans sa totalité soit environ 40 m d'épaisseur et pour partie l'aquifère karstique Hauterivien supérieur sur 97 m qui donne naissance à la source du Moulin de Vernègues : ce forage est donc un re-captage de la source du Moulin de Vernègues à son amont hydraulique.

La foration de ce forage F1 et de son voisin F2 plus récent ont permis de mettre à jour plusieurs arrivées d'eau d'importance inégale et de localisation similaire ou voisine :

- à la base des alluvions quaternaires, au contact avec la mollasse burdigalienne, présence d'une petite arrivée d'eau non mesurée sur le forage 1 (débit probablement insignifiant) et non signalée sur le forage 2,
- dans la mollasse burdigalienne, arrivée d'eau importante sur fracture à 30,5 m avec un débit de 15 m<sup>3</sup>/h sur F1 contre 8 m<sup>3</sup>/h sur F2 entre 20 et 26 m (la différence de côte est normale compte-tenu du sens du pendage de la couche; le débit est mesuré au soufflage à l'air-lift),
- à 51 m sur F1, au niveau d'une alternance de couches calcaires dures et de passages marneux (que j'attribue à l'Hauterivien n3c ou au faciès de transition n4 et non à l'Oligocène car il n'est pas signalé de marnes rouges contrairement à F1), le débit en foration passe de 15 à 27 m<sup>3</sup>/h soit un gain de 12 m<sup>3</sup>/h alors que sur F2 dans l'Oligocène authentifié (marnes rouges et grises intercalées de niveaux calcaires et conglomératiques entre 46 et 77 m), le débit en foration passe de 8 à 13 m<sup>3</sup>/h soit un gain de 5 m<sup>3</sup>/h (2 à 3 fois moins que sur F1),
- à 91 m sur F1, dans des calcaires durs fracturés, le débit passe de 27 à 40 m<sup>3</sup>/h et se maintient à ce niveau jusqu'à la fin de la foration à 144 m alors que sur F2, entre 88 et 94 m, dans les mêmes calcaires, le débit croît de 13 à 16,5 m<sup>3</sup>/h soit un gain de 3,5 m<sup>3</sup>/h (contre 13 précédemment) et reste similaire jusqu'à l'arrêt de la foration à 100 m.

On retiendra de cette comparaison que le forage F2 est moins productif que son aîné F1. Sans doute aurait-il fallu procéder sur F2 à une acidification sur la venue 1 miocène puis sur la venue 3 haute-rivienne pour augmenter les performances de ce second ouvrage voire éventuellement l'approfondir.

Fig.3. Contexte hydrogéologique régional et local (extrait de la carte hydrogéologique des Bouches du Rhône au 1/200.000, BRGM 1972).



Commentaires carte hydrogéologique :

- carré noir : pont des Taïades et source karstique du Moulin de Vernègues (masquée),
- ligne rouge continu : canal EDF, canal de Marseille et canal de la Trévaresse,
- carré rouge : captage AEP,
- point bleu : source karstique pérenne et temporaire,
- carroyage bleu : aquifère fissuré et karstifié,
- trame marron clair : aquifères semi-perméables
- petit point bleu : nappe alluviale de Durance et de Crau

- flèche bleue : sens de circulation des eaux souterraines vers les exutoires karstiques,
- ligne bleue continue : courbe piézométrique et sa côte altimétrique en m NGF,
- trait noir continu et tiretés : principales failles dont les failles régionales de Salon-Lamanon-Cavaillon (SLC), d'Alleins (A), Aurons (Au), Rognes (R) et Lambesc (L).

#### 4. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DES OUVRAGES AEP A PROTEGER

##### 4.1. Forage F1

Le forage F1 ne possède aucune mesure de protection intrinsèque efficace telle que des cimentations mises en place à l'extrados de certains tubages pleins (fig.4).

En effet, même si cet ouvrage est tubé en tête sur 8,5 m (tubage de travail mis en place au début de la foration face aux alluvions boulanges pour éviter les effondrements du trou), sans cimentation, son étanchéité ne peut être totalement garantie. Dans ces conditions, la venue d'eau rencontrée à la base des alluvions peut communiquer avec les suivantes et se mélanger avec elles.

En dessous de 8,5 m, le forage est équipé d'un tubage acier plein jusqu'à 47 m posé face à la première venue d'eau découverte à la foration à 30,5 m dans la mollasse : sans cimentation, cette disposition n'élimine pas la venue miocène comme indiquée dans l'AHA de 2007 car elle est toujours sollicitée en pompage mais avec, de fait, une augmentation des pertes de charges dues à l'équipement en place (en fait, il aurait fallu cimenter le tubage jusqu'à environ 45 m).

De 47 à 108 ou 109 m (précision de la coupe technique), la colonne acier est crépinée et aucun massif de graviers filtrant n'a été mis en place à l'extrados. Ce dispositif est courant en milieu fissuré lorsque les arrivées d'eau sont franches (ponctuelles) et propres (sans turbidité).

De 109 à 113 m, le tubage est plein et repose sur un épaulement de roche résultant de la réduction de diamètre au moment de la foration (passage du 9"5/8 au 8 pouces et demi).

De 113 à 144 m, le forage a été laissé en trou nu du fait de l'absence d'arrivée d'eau et de la volonté de faire quelques économies de tubage sur l'équipement. du forage.

En résumé, on retiendra que ce forage F1 est vulnérable du fait de la mise en communication de toutes les arrivées d'eau avec la surface du sol (absence de cimentation).

##### 4.2. Forage F2

Le forage F2 ne possède qu'une seule mesure de protection propre à sa conception à savoir cimentation du tubage de tête sur toute sa hauteur soit 9,6 m : on est donc en droit de penser que la petite nappe d'accompagnement du ruisseau des Taïades située dans les alluvions quaternaires déposées par ce cours d'eau est ici totalement isolée (étanchéité parfaite) et qu'il n'existe aucun mélange avec les autres arrivées d'eau.

La suite de l'équipement est assez semblable au forage F1 à savoir mise en place d'une colonne acier monolithique avec chambres de pompage et de captage comportant 3 niveaux de crépines superposés qui captent le Burdigalien, l'Oligocène et l'Hauterivien, en lieu et place d'une seule crépine captant l'Hauterivien seul sur F1 (fig.5)

Derrière les crepines, F2 ne possède aucun massif de graviers filtrants ce qui est une des raisons à la présence d'une eau turbide rouge en pompage. Autre raison, l'absence d'un développement suffisant de l'ouvrage (pompage, acidification, traitement aux polyphosphates).

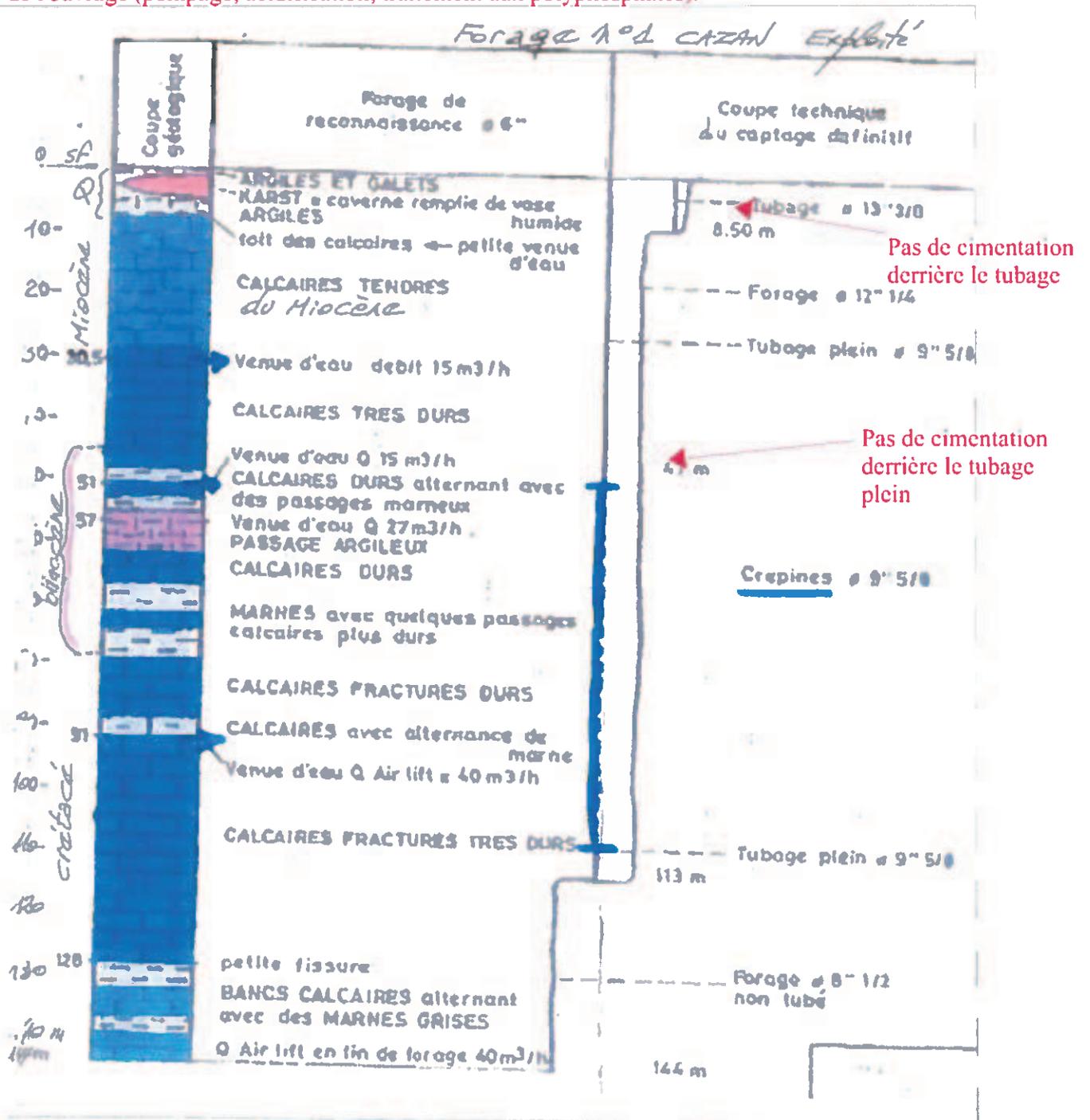


Fig. 4. Coupe géologique et technique du forage AEP F1 de Cazan (in AHA GC du 09.07.2007 complétée 2016/JPS)

Le seul moyen de valoriser cet investissement jusqu'ici non productif (F2) serait de retirer le tubage acier (c'est possible), de nettoyer l'ouvrage et de prévoir un équipement avec tubage et cimentation face au terrain oligocène (c'est encore possible). Il va de soi que ce travail devra être confié à une entreprise performante et expérimentée assistée d'un bureau d'études compétent en forage d'eau

sinon s'abstenir. Dans l'AHA de 2007, il est au contraire préconisé de le reboucher et l'abandonner.

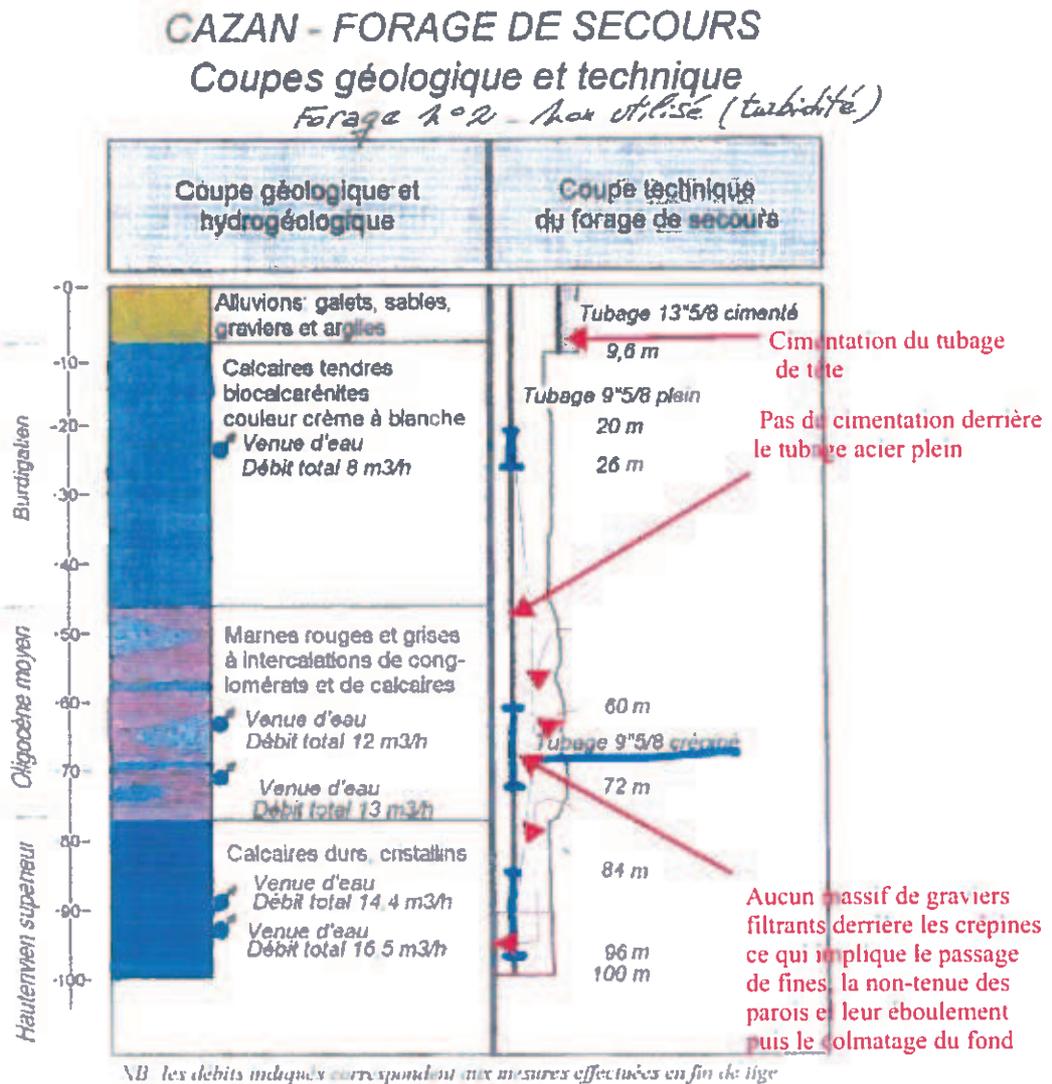


Fig. 5. Coupe géologique et technique du forage AEP F2 de Cazan (in AHA GC du 09.07.2007, complétée 2016/JPS).

On retiendra de ce second forage que sa vulnérabilité est moindre comparée à celle de F1 du seul fait de la présence d'un tubage acier de tête cimenté sur environ 10 m de hauteur

### 5. QUALITE DES EAUX CAPTEES PAR LES FORAGES AEP DE CAZAN

Selon le maître d'ouvrage propriétaire du captage et l'ARS, la qualité des eaux de ce captage a toujours été irréprochable tant du point de vue physico-chimique que bactériologique malgré la vulnérabilité du forage F1 (aucune cimentation en tête) vis à vis des eaux superficielles (ruisseau des Taïades et sa petite nappe d'accompagnement, ruissellement des eaux sur chaussées de la RD7n et dans le champ en amont du captage).

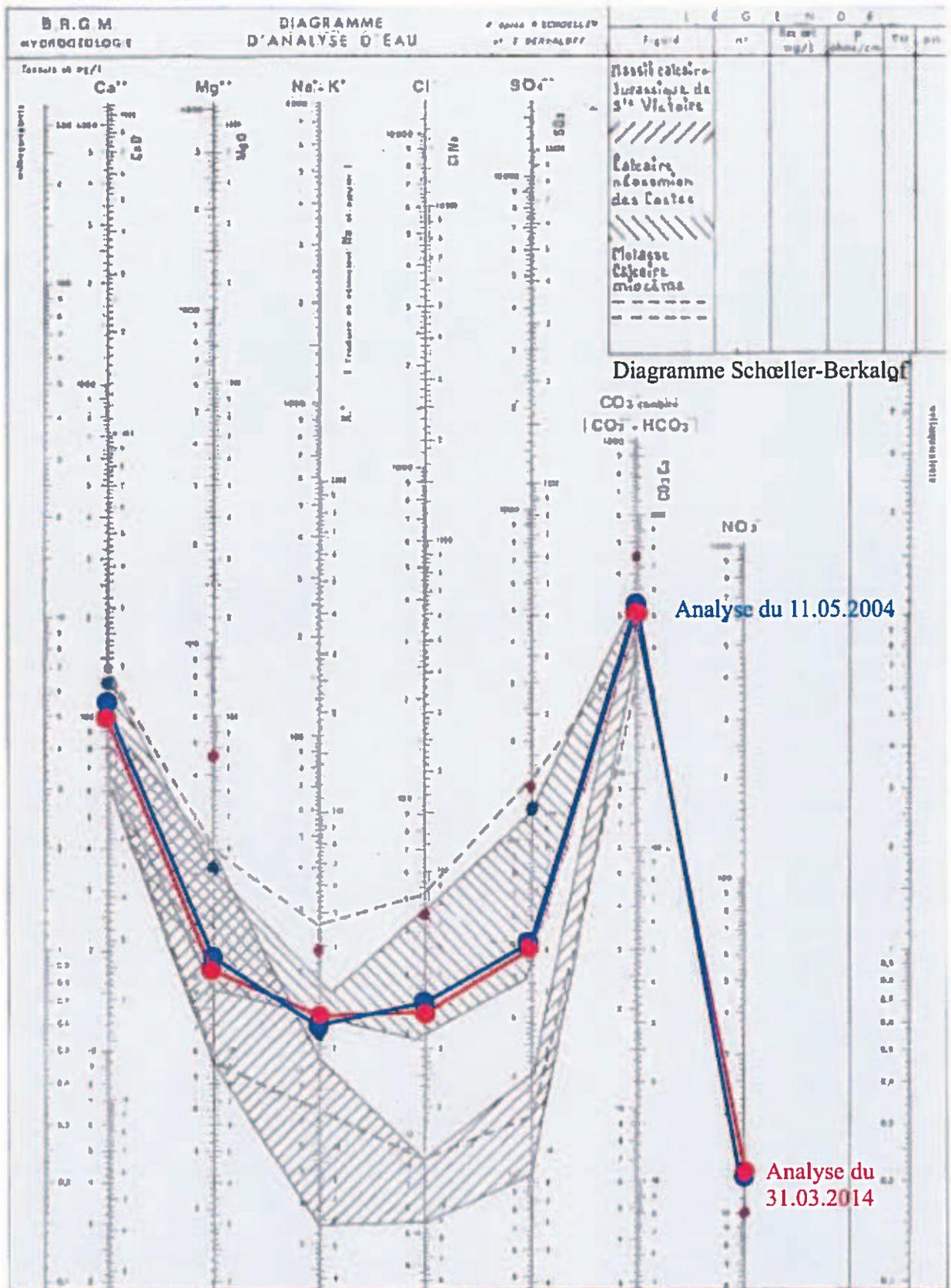


Fig. 6. Faciès chimique des eaux du forage F1 de Cazan (analyse du 31.03.2014).

Le mélange des eaux des différentes venues issues d'horizons géologiques divers (Quaternaire, Burdigalien, Oligocène et Hauterivien), du fait de la communication entre les différents terrains résultant de l'absence de cimentation et d'étanchéité efficace, appartient à la famille des eaux bicarbonatées calciques et faiblement sulfatées comme le montrent les résultats des analyses complètes des eaux brutes à la sortie du forage F1 ( figure 6 ).

Ces résultats sont tout à fait cohérents avec ceux des eaux issues des aquifères Crétacé inférieur (Néocomien) de la chaîne des Costes ou des aquifères mollassiques miocènes (fig.6) tels qu'on les connaissait au début des années 1970 (BRGM).

Les résultats de 2014 sont également cohérents avec ceux de l'analyse du 11 mai 2004 citée par Georges CONRAD dans son expertise officielle de juillet 2007 et indiquent la constance de la minéralisation globale de l'eau.

**Ces résultats devront servir de référence de la qualité des eaux du forage F1 et devront être vérifiés avant l'installation du chantier et le démarrage des travaux pour confirmer un point « zéro » incontestable avant travaux.**

L'eau du forage F1 est moyennement minéralisée avec une conductivité de 588  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et un titre hydrotimétrique de 30,9 °F qui en font une des eaux certainement les moins calcaires de la région, indiquant ainsi probablement des vitesses de transfert relativement « rapides » type eau karstique.

On note par ailleurs l'absence, ou à des valeurs inférieures aux seuils de détection actuels :

- de fer et de manganèse,
- d'oligo-éléments et de micro-polluants métalliques hormis le bore et le fluor à des teneurs très faibles,
- de paramètres azotés ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ) ou de phosphore
- d'hydrocarbures dissous ou émulsionnés, de chlorobenzènes, de composés organiques volatils ou semi-volatils et de composés organohalogènes volatils,
- de métabolites des triazines, de pesticides triazines et triazoles,
- de pesticides amides et acétamides,
- de pesticides aryloxyacides et carbamates,
- de pesticides nitrophénols et alcools, organo-chlorés et organo-phosphorés,
- de pesticides pyréthrinoides, strobilurines, sulfonilurées et urées substituées
- de pesticides divers et de plastifiants PCB.

Enfin, d'un point de vue bactériologique, on remarque l'absence de streptocoques fécaux et de coliformes fécaux (*Escherichia coli*) y compris dans l'analyse du 11 mai 2004.

**En résumé, l'eau du forage F1 pourrait être distribuée telle qu'elle car elle est naturellement potable malgré une vulnérabilité non négligeable.**

## 6. VULNERABILITE ET PROTECTION DE L'OUVRAGE AEP

La vulnérabilité intrinsèque du forage F1 est plus importante sur le forage F1 que sur le forage F2 du fait de l'absence totale de cimentation y compris en tête d'ouvrage, au niveau du tubage de travail en acier.

Le manque d'équipement de protection (cimentation) rend l'ouvrage actuellement exploité vulnérable vis à vis des eaux superficielles que se soit celle du ruisseau des Taïades ou de sa nappe d'accompagnement puissante d'environ 10 m (fig.4).

Entre le forage F1 et le pont des Taïades, le ruisseau reçoit par ailleurs l'évacuation des eaux de ruissellement en provenance des fossés de drainage en bordure de la RD7n mais aussi celles du champ des parcelles voisines n° 124, 125, 126 qui trouvent à cet endroit leur exutoire naturel sous peine d'inondation de la chaussée du chemin vicinal conduisant à la ferme ARNA et du périmètre immédiat de protection (fig.7).



Fig. 7. Protection du captage AEP de Cazan : périmètres de protections immédiate et rapprochée (PPI et PPR d'après AHA / GC du 9 juillet 2007 )

- Forage F1 exploité avec caisson de protection
- Forage F2 de secours
- Local technique
- PPI
- PPR
- - - - - ruissellement
- 629 = ancien tracé du canal de Marseille

Les 2 têtes de forage et leur sortie d'exhaure sont protégées par des caissons en béton étanches

fermés par des couvercles en tole cadénassés. Seul le caisson F1 est adossé au local technique.

Local technique et caissons de protection des 2 têtes de forage sont situés a priori dans le domaine public et intégrés sous forme d'appendice à la parcelle limitrophe n° 107 pour constituer le PPI (périmètre de protection immédiate) défini par Geoges CONRAD le 9 juillet 2007 (fig.7).

A l'intérieur de ce périmètre ne sont autorisés que les activités propres à l'entretien du captage ou liées au service des eaux ou exceptionnellement autorisées par arrêté préfectoral spécifique.

Le PPI est complété par un Périmètre de Protection Rapprochée (PPR) qui se développe en amont hydraulique du captage et concerne les parcelles agricoles n° 108, 124, 125 et 126 dont l'emprise est limitée par l'ancien tracé du canal de Marseille (parcelle n° 629) et celui de la RD7n.

A l'intérieur du PPR sont autorisées, règlementées ou interdites les activités telles que : constructions, forages, épandage, stockage, carrières et gravières, camping-caravaning, traversées de réseaux d'eaux usées, d'oléoducs et gazoducs (pour le détail, se reporter aux articles de l'arrêté préfectoral).

Les périmètres de protections immédiate et rapprochée ont fait l'objet d'une Déclaration d'Utilité Publique (DUP) en date du 11 mai 2009 (arrêté préfectoral ). A ce jour, le PPI n'est pas clôturé car la parcelle n°107 n'a toujours pas fait l'objet d'une convention avec le propriétaire ni pu être acquise en toute propriété.

## 7. DESCRIPTION DES SOLUTIONS DE RECONSTRUCTION DU PONT DES TAÏADES

### 7.1. Maintien du pont actuel sans modification du tracé du ruisseau des Taïades

Cette solution permet de maintenir en place les maçonneries de l'ouvrage existant et consiste à les libérer de toute fonction porteuse.

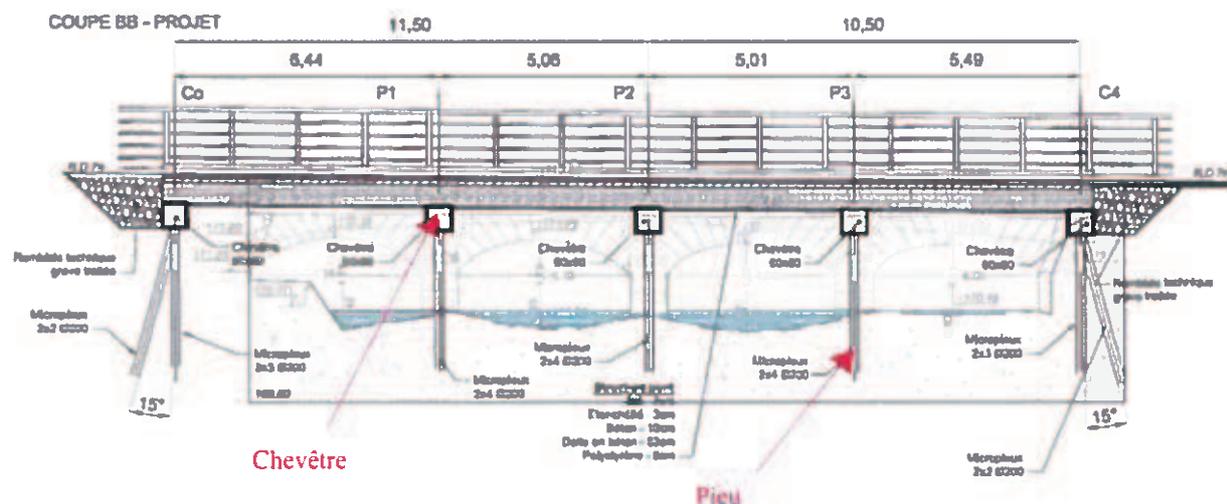


Fig.8. Reconstruction du pont des Taïades : solution n° 1 (maintien du pont existant).

L'intervention doit se faire par demi-chaussée de manière à maintenir une voie de circulation.

Outre les travaux préparatoires de terrassement au niveau des remblais latéraux (décaissement), le

projet comporte la réalisation d'appuis de fondation de type micro-pieux avec injection de béton, forés à l'intérieur des piles maçonnées et allant s'ancrer dans les couches de calcarénites et mollasses du Burdigalien vers 10 m de profondeur après avoir traversé les dépôts alluvionnaires laissés par le ruisseau des Taïades sur 8 à 10 m (fig. 8).

Sur les nouveaux appuis, il est ensuite procédé à la mise en place de chevêtres en béton les reliant les uns aux autres puis à la pose du nouveau tablier formé de poutres béton pré-fabriquées fixées sur les chevêtres, avec mise en tension par une dalle béton de compression coulée sur place (fig. 8).

## 7.2. Reconstruction du pont en aval hydraulique avec modification du tracé du ruisseau des Taïades

Cette solution consiste à construire dans un premier temps un ouvrage neuf, à dévier le ruisseau vers son aval hydraulique de quelques dizaines de mètres puis à neutraliser ensuite le pont actuel.

L'ouvrage neuf consiste à réaliser une structure courante formée en façade par 3 cadres en béton pré-fabriqués qui permettent d'offrir une ouverture hydraulique acceptant une crue centennale. Ces cadres, au nombre de 44, sont posés sur une sous couche de base en ballast épaisse de 0,5 m et, une fois assemblés et solidaires, recouvert d'une couche de roulement (fig. 9).

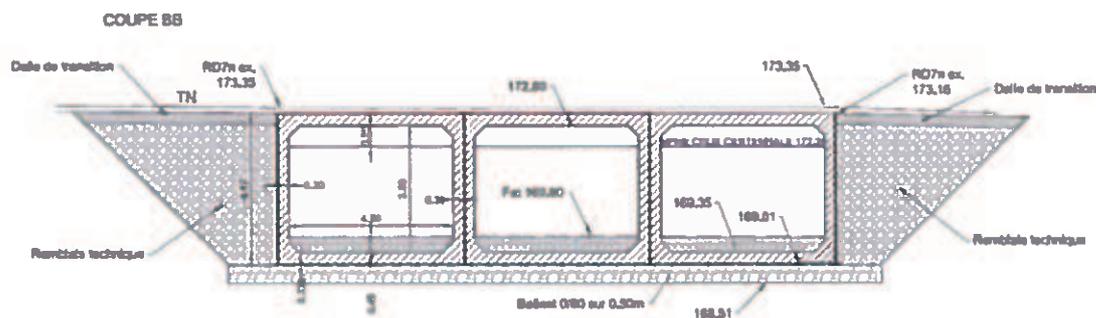


Fig.9. Reconstruction du pont des Taïades : solution n°2 (nouveau pont).

**Cette solution n'implique aucun pieux de fondation ni injection de béton ou autres produits de confortement en profondeur (10 m) susceptibles de contaminer le réservoir aquifère miocène.**

Le risque « liquéfaction » ayant été confirmé par une étude complémentaire, cette solution technique nécessitera malgré tout un renforcement des sols sur quelques mètres de hauteur par des techniques de type injections superficielles sur environ 3 m de hauteur, c'est à dire très au dessus (7 m) de la base des alluvions, siège de la petite arrivée d'eau mise en évidence sur F1.

**La neutralisation du pont existant est « tout aussi inoffensive » puisqu'il s'agit seulement de réparer les maçonneries dégradées, de reprendre les joints entre blocs puis de fermer chacune des voûtes avec comblement des arches par une grave traitée, associée à une injection finale de mortier pour assurer le contact avec les différentes voûtes (aucune injection dans le sous-sol).**

Ces travaux s'accompagnent de travaux préparatoires : ouverture de la chaussée à l'emplacement du futur ouvrage, déviation de la voie de circulation ou mise en place d'une déviation par la RD 22, déplacement définitif du lit du cours d'eau en mettant à profit le bassin d'orage inutilisé qui jouxte le projet.

## 8. RECOMMANDATIONS RELATIVES A LA PROTECTION DE L'OUVRAGE AEP PENDANT ET APRES LA PHASE TRAVAUX

Au titre du principe de précaution, un certain nombre de dispositions doivent être prises pour garantir au mieux la continuité d'approvisionnement en eau potable de Cazan et Vernègues qui, rappelons-le, ne disposent d'aucune alimentation de secours ou de substitution.

Au cas où ces dispositions s'avèreraient à l'usage inopérantes (contamination des captages), il y aura lieu, pour maintenir cet approvisionnement, de mettre en œuvre, à titre provisoire, une unité mobile de traitement des eaux de surface à partir des eaux du Canal de Marseille tout proche (cette ressource superficielle pourrait d'ailleurs constituer une des ressources de secours dont la commune de Vernègues a besoin).

La « base chantier » où sera entreposé le matériel nécessaire aux travaux dont bureaux, sanitaires, et vestiaires devra être localisée le plus en aval hydraulique possible des forages F1 et F2, c'est à dire en direction de Pont Royal et si possible au delà de la source du Lavoir.

Le stockage d'hydrocarbures y sera autorisé sous réserve de réservoirs et cuves sous double enveloppe ou avec bacs de rétention, à moins d'utiliser les services de la station essence toute proche.

Le plein de carburant des engins de chantier et camions intervenant sur site s'effectuera obligatoirement sur la base technique ou à la station essence mais **jamais au niveau du chantier lui-même**.

Avant l'installation du chantier et le démarrage des travaux, on procédera à une analyse d'eau brute « point zéro » qui servira de référence en cas de pollution des captages et de litiges éventuels.

A la fin du chantier, après la remise en état des lieux (zone des travaux et base technique), on procédera à la même analyse. Les résultats obtenus devront faire partie intégrante des documents de réception des travaux et avoir été validés par le propriétaire du captage.

Cette analyse comprendra le contrôle des paramètres physico-chimiques suivants :

- pH, température et conductivités des eaux à 25°C,
- ions majeurs (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>, NO<sub>3</sub>)
- fer, manganèse et oligo-éléments,
- micro-polluants métalliques dont Pb, Ni, Zn, Al, Cd, Sn, Cu, etc...
- hydrocarbures dissous et émulsionnés.

Pendant la phase travaux, en concertation avec le propriétaire du captage et l'exploitant (fermier), on procédera à heure fixe (le matin, à midi ou le soir à l'arrêt du chantier) à un simple contrôle journalier de l'eau brute à partir de la mesure du pH, de la conductivité et de la température (la mesure de la température d'une eau doit nécessairement s'accompagner de celle de l'air).

Enfin, dans la mesure du possible, en jouant sur le stockage de l'eau au niveau des réservoirs, l'exploitant diminuera le débit prélevé à son strict minimum de manière à réduire la zone d'appel du pompage autour de l'ouvrage y compris à son aval hydraulique même si dans cette direction, elle est en théorie très limitée.

Cette dernière remarque suggère un déroulement des travaux hors périodes estivales qui sont en

général grosses consommatrices d'eau.

La mise en œuvre de l'une ou l'autre des 2 solutions doit s'accompagner de mesures pratiques pour diminuer la vulnérabilité du captage vis à vis des eaux superficielles avec notamment :

- la reprise des eaux de ruissellement de la plate-forme routière transitant par les fossés de drainage existant sur le bas côté de la route (busage jusqu'en aval hydraulique des forages),
- la prise en compte des eaux de ruissellement et de ravinement issues des parcelles agricoles et leur connection avec l'aménagement précédent.

## 9. CONCLUSION

**D'un point de vue strictement hydrogéologique**, la solution présentant le moins de risques pour garantir la qualité des eaux brutes du captage AEP de Cazan, et donc la pérennité de l'approvisionnement en eau potable de la commune, concerne la solution n°2 qui consiste à créer un nouvel ouvrage de franchissement décalé du précédent en modifiant légèrement le tracé actuel du ruisseau des Taïades.

Quelque soit la solution retenue, ces travaux vont s'effectuer en dehors de l'emprise des périmètres de protections immédiate et rapprochée du captage AEP de Cazan qui sont opposables aux tiers en raison de l'arrêté de DUP du 11 mai 2009 mais à quelques mètres seulement du forage F1 actuellement en exploitation.

L'équipement sommaire du forage F1 (aucune protection intrinsèque, absence de cimentation derrière les tubages pleins, forte vulnérabilité de l'ouvrage) implique la mise en communication de toutes les arrivées d'eau captées y compris la plus superficielle, celle située à la base des alluvions au contact avec l'aquifère mollassique capté.

**L'aquifère mollassique correspond au substratum rocheux des alluvions déposées par le petit ruisseau des Taïades et doit servir d'ancrage aux nombreux pieux nécessaires à la consolidation du pont en cas de choix de la solution n°1 (injection de ciment et autres produits dérivés vers 10 m de profondeur dans la mollasse).**

**Sachant que la distance entre pieux les plus proches et le captage F1 est seulement de 3 à 4 m : le risque est donc probable sinon certain d'assister éventuellement à une interruption de l'approvisionnement en eau potable de la commune en cas de contamination des ouvrages or, la commune ne dispose d'aucunes ressources de secours ou de substitution .**

Dans le cas du choix de la solution n°2, le pont existant pourra être réhabilité sans avoir accès au substratum rocheux burdigalien aquifère capté.

**D'un point de vue de la vulnérabilité du captage AEP de Cazan**, il est clair que le choix de la solution n°2 améliorera grandement celle-ci car le captage ne sera plus exposé aux caprices des crues du ruisseau du fait de la condamnation de l'ancien pont. Une protection de berge en enrochement ou mur de soutènement devient dans ce cas superflue d'autant que le projet prévoit une reprise des écoulements superficiels adjacents (fossé de la RD7n et exutoire du champ) assainissant du même coup cette zone où subsistait le jour de la visite un trou d'eau insalubre sans écoulement.

Enfin, la condamnation du pont existant permet éventuellement de laisser en l'état le départ de la

distribution eau potable (canalisation hors sol franchissant le ruisseau sur un pilier en béton) bien que ce dispositif présente une « certaine fragilité » de conception.

Quelque soit le choix final de la solution, un certain nombre de précautions doivent être prises pour garantir au mieux l'intégrité des 2 forages et la qualité des eaux pendant la durée du chantier. Des recommandations ont été établies dans ce sens et parmi elles :

- l'établissement d'un point zéro de la qualité de l'eau brute captée et distribuée,
- l'entreposage des matériels, matériaux et consommables nécessaires aux travaux dans une zone éloignée des captages, à leur aval hydraulique,
- l'interdiction d'effectuer des pleins de carburant sur le chantier,
- le suivi de la qualité des eaux brutes à partir de mesures journalières in situ de paramètres simples peu coûteux à mettre en œuvre (conductivités, pH, température),
- dans la mesure du possible, la diminution du débit de prélèvement de manière à réduire la zone d'appel en pompage et de réduire la possibilité d'attirer une pollution potentielle plus ou moins proche.

**Compte-tenu de ce qui précède, je donne un avis favorable à la solution n°2 qui donne au propriétaire, à l'exploitant et à la commune, un maximum de garanties quant à la qualité des eaux prélevées et à la sécurité d'approvisionnement.**

Je déconseille de mettre en œuvre la solution n°1 qui met potentiellement en péril l'intégrité du forage exploité et n'améliore pas la vulnérabilité de l'ouvrage ni la distribution d'eau potable sans effectuer en parallèle un investissement conséquent (enrochement de la berge concernée, passage en siphon de la canalisation AEP ou renforcement du franchissement actuel par des jambages supplémentaires supportant une crue centennale).

Fait à Caseneuve le 7 mai 2016

Jean-Paul SILVESTRE  
Docteur en Géologie Appliquée  
Hydrogéologue Agréé 13  
Coordonnateur départemental-adjoint des Hydrogéologues

Copie : ARS 13 (R.MORLAND), Coordonnateur départemental (R.CAMPREDON)