

ITASCA
Consultants , s. a.

Nature du document :
Rapport d'étude

Identification :
04-003

Page : 0 /34

Date d'origine :
Mars 2004

**PROJET DE CENTRE D'ENFOUISSEMENT
TECHNIQUE - VALREAS
EXPERTISE HYDROGEOLOGIQUE**

Rapport établi à la demande de :

ADPEG
« Le séminaire »
Route de St Pierre
84600 Valréas

Référence Commande :

Index du document : **B**

Date du document :

Mai 2004

Nom et visa Rédacteur :

B. PARIS

Nom et visa Vérificateur :

D. BILLAUX

Nom et visa Approbateur :

D. BILLAUX

Archivage ITASCA : \\Srv_itasca\Commun\Rapports_et_plus\Rapports\04_003_B

SOMMAIRE

| | | |
|-------------|--|-----------|
| I. | INTRODUCTION | 3 |
| II. | DESCRIPTION DU SITE..... | 4 |
| II.1 | CONTEXTE GEOGRAPHIQUE | 4 |
| II.2 | CONTEXTE GEOLOGIQUE..... | 4 |
| II.3 | CLIMATOLOGIE..... | 8 |
| II.4 | CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE LOCAL | 9 |
| II.4.1 | <i>Description des niveaux aquifères.....</i> | <i>10</i> |
| II.4.2 | <i>Piézométrie des aquifères locaux</i> | <i>10</i> |
| II.4.3 | <i>Estimation des propriétés hydrauliques des encaissants</i> | <i>13</i> |
| III. | DISCUSSION SUR L’HYDROGEOLOGIE DU SITE..... | 16 |
| III.1 | HYDROGEOLOGIE DU SITE SELON LA DDAE..... | 16 |
| III.2 | ANALYSE CRITIQUE DU VOLET HYDROGEOLOGIE DE LA DDAE..... | 19 |
| III.2.1 | <i>Perméabilité des terrains au droit du site – recharge effective</i> | <i>19</i> |
| III.2.1.1 | Description des méthodes..... | 19 |
| III.2.1.2 | Incertitude associée à la perméabilité en milieu non-saturé | 20 |
| III.2.1.3 | Incertitude associée à la perméabilité en milieu saturé | 23 |
| III.2.2 | <i>Ecoulements en profondeur</i> | <i>25</i> |
| III.2.3 | <i>Impacts potentiels d’un éventuel CET sur la ressource en eau.....</i> | <i>27</i> |
| IV. | CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS | 30 |
| IV.1 | BILAN DE L’EVALUATION DU VOLET HYDROGEOLOGIQUE DE LA DDAE | 30 |
| IV.2 | RECOMMANDATIONS | 31 |
| | BIBLIOGRAPHIE | 34 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure II-1 : cartographie du site de Barriol et localisation des captages recensés | 5 |
| Figure II-2 : cartographie du site à plus petite échelle..... | 6 |
| Figure II-3 : coupe géologique interprétative du site (DDAE, 2003a, fig. n°7) | 7 |
| Figure II-4 : carte piézométrique interprétative (hautes eaux) - DDAE, 2003a (fig. n°11) ... | 12 |
| Figure III-1 : coupe conceptuelle de la piézométrie locale (DDAE, 2003a, fig. n°10) | 17 |
| Figure III-2 : piézométrie enregistrée sur le plateau (DDAE, 2003b, p. 35)..... | 22 |
| Figure III-3 : interprétation d'essai de puits (PZ5) - résultats comparés ISAPE – nSIGHTS24 | |
| Figure III-4 : coupe 3D et piézométrie locale (DDAE, 2003a, fig. n°8)..... | 26 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|---|----|
| Tableau II-1 : données climatologiques (mm/an) | 8 |
| Tableau II-2 : caractéristiques générales et niveaux mesurés (d'après DDAE, 2003a - Tableau 3) | 11 |
| Tableau II-3 : résultats des essais de puits (méthode de Theis) d'après DDAE, 2003a..... | 13 |
| Tableau II-4 : résultats des tests de perméabilité réalisés en sondage au droit du site d'après DDAE, 2003a)..... | 14 |

I. INTRODUCTION

Ce rapport a été rédigé à la demande de l'A.D.P.E.G et du S.A.P.G à la suite de leur commande correspondant à la Phase I de la proposition commerciale d'ITASCA Consultants, S.A. n°003-04P (version B).

L'A.D.P.E.G est le sigle d'une association, de forme juridique loi 1901, signifiant : Association de Défense du Patrimoine et de la Qualité de la vie de l'Enclave des Papes et des Pays de Grignan. La S.A.P.G est le sigle du Syndicat d'Aménagement des Pays de Grignan. Ces associations réagissent à un Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter (DDAE) de centre de traitement et de stockage de déchets au lieu dit Barriol, sis sur la commune de Valréas, Vaucluse. Le projet repose sur une étude réalisée par la Société ANTEA et finalisée par la constitution d'un dossier administratif et technique (Avril 2003).

L'A.D.P.E.G et la S.A.P.G se sont étonnées de certains aspects du volet technique du dossier qui pouvaient révéler, selon elles, des imprécisions, voire des manques. En conséquence, ces associations ont souhaité une contre-expertise du volet hydrogéologique de l'étude, qui est l'objet de ce document.

Les documents de base sur lesquels s'appuie cette étude nous ont été transmis par l'A.D.P.E.G, suite à la visite sur site du 17/02/04 de M. B. Paris (ITASCA Consultants, S.A.) et de M. P. Gonze. Ils rassemblent un rapport sur les volets géologique, hydrogéologique et géotechnique du projet (DDAE, 2003a), ainsi que certaines pièces de la demande d'autorisation administrative : analyse de l'état initial (DDAE, 2003b) et projet d'aménagement du site incluant les barrières passives et actives aménagées. Les indications sur la présence de captages supplémentaires nous ont été communiquées par courrier électronique par M. Christian BRUN, président de l'Association de l'Eau de Valréas.

Le présent rapport forme un ensemble indissociable dont les résultats n'engagent ITASCA Consultants, S.A. que dans la mesure de l'exactitude et de l'exhaustivité des documents fournis. ITASCA Consultants, S.A. décline également toute responsabilité résultant d'une utilisation partielle du document sans autorisation écrite préalable.

Outre cette introduction, le document est composé de trois parties :

- Description des contextes géographique, géologique, climatologique et hydrogéologique du site (chapitre II).
- Discussion sur l'hydrogéologie du site (chapitre III) : rappel des conclusions de la DDAE suivi de son analyse critique objective).
- Conclusion finale et recommandations.

Nous nous attachons tout particulièrement à distinguer les preuves tangibles, c'est-à-dire des déductions supportées par l'observation et/ou le calcul, de ce qui nous paraît être de simples hypothèses de travail.

Note : les numéros de page inclus dans nos références à la DDAE sont basés sur les documents qui nous ont été transmis. Ces numéros sont donc potentiellement différents de ceux des documents originaux.

II. DESCRIPTION DU SITE

II.1 Contexte géographique

Le site de Barriol se situe administrativement dans la commune de Valréas.

Il se caractérise par un plateau de faible pente d'une superficie d'environ 23 ha. L'altitude du sommet du plateau est globalement comprise entre 270 et 280 m NGF.

Le site (Figure II-1 et Figure II-2) est bordé sur toute sa partie Nord par un cours d'eau (le Lez) présentant un débit de l'ordre de 1 à 2 m³/s et, dans sa partie Sud, par une petite vallée drainée par un canal (canal du Moulin).

Il nous paraît important, dès ce stade du rapport, de mentionner qu'il a été recensé de très nombreux captages d'eau, privés ou publics, dans un rayon de quelques kilomètres autour du plateau. La grande majorité de ces ouvrages est exploitée, et ce à des fins d'approvisionnement en eau potable (AEP) ou agricole. Notons que seuls les plus récents de ces pompages sont mentionnés dans DDAE (2003a). Ils sont figurés en jaune sur les cartes représentées sur la Figure II-1 et sur la Figure II-2. Les autres captages, c'est-à-dire ceux indiqués par le Société des Eaux de Valréas, sont localisés par des points de couleur rouge.

II.2 Contexte géologique

Le site de Barriol est situé dans la partie Nord du bassin sédimentaire de Valréas. Le remplissage est essentiellement d'âge miocène avec localement des recouvrements quaternaires. En se limitant aux formations concernées par l'hydrogéologie de la zone d'étude, il ressort schématiquement (DDAE, 2003a, cf. Figure II-3) que la structure géologique est la suivante (en remontant vers la surface topographique) :

- La molasse de St-Paul les Trois Châteaux (*m1c*) : composée de calcaires sableux, cette formation est aquifère et exploitée par le captage « le Béal ».
- Un horizon marneux (marnes bleues), d'extension régionale et épais de plusieurs dizaines de mètres, isole la molasse *m1c* des formations sus-jacentes.

La molasse de St-Paul les Trois Châteaux est donc théoriquement captive au niveau de la zone d'étude.

- La molasse de Grignan, qui se compose de deux unités alternant sable gréseux et marnes (*m2a* au-dessous et *m2b* au-dessus) difficiles à différencier à l'affleurement. Ces deux unités sont communément appelées safre. Les niveaux marneux sont plus fréquents dans le niveau *m2b* (Serravalien) que dans le niveau *m2a* (Langhien). Les sables et grès sont, pour l'essentiel, composés de quartz et de grains de carbonates.
- Un recouvrement quaternaire formant le sommet du plateau, composé d'éléments détritiques grossiers à matrice sableuse d'épaisseur comprise entre 5 et 10 m.
- Sur la bordure Ouest et Sud-Ouest du site, au pied du plateau, une terrasse d'alluvions du Lez composée de graves et de cailloutis s'étale sur le Miocène.

Figure II-1 : cartographie du site de Barriol et localisation des captages recensés

Points jaunes : captages mentionnés dans la DDAE (2003a)

Points rouges : captages indiqués par l'Association de l'Eau de Valréas

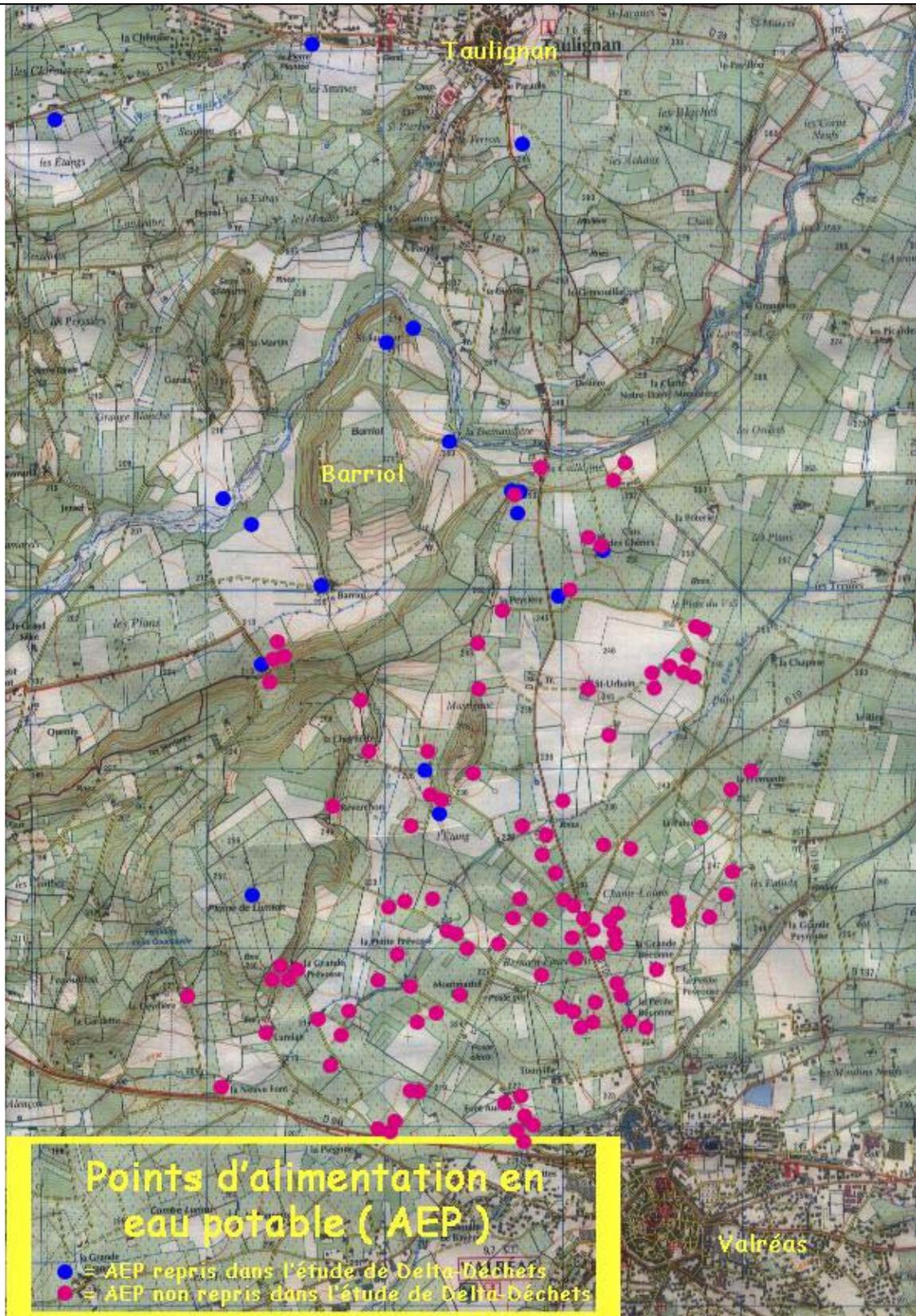


Figure II-2 : cartographie du site à plus petite échelle

Points jaunes : captages mentionnés dans la DDAE (2003a)

Points rouges : captages indiqués par l'Association de l'Eau de Valréas

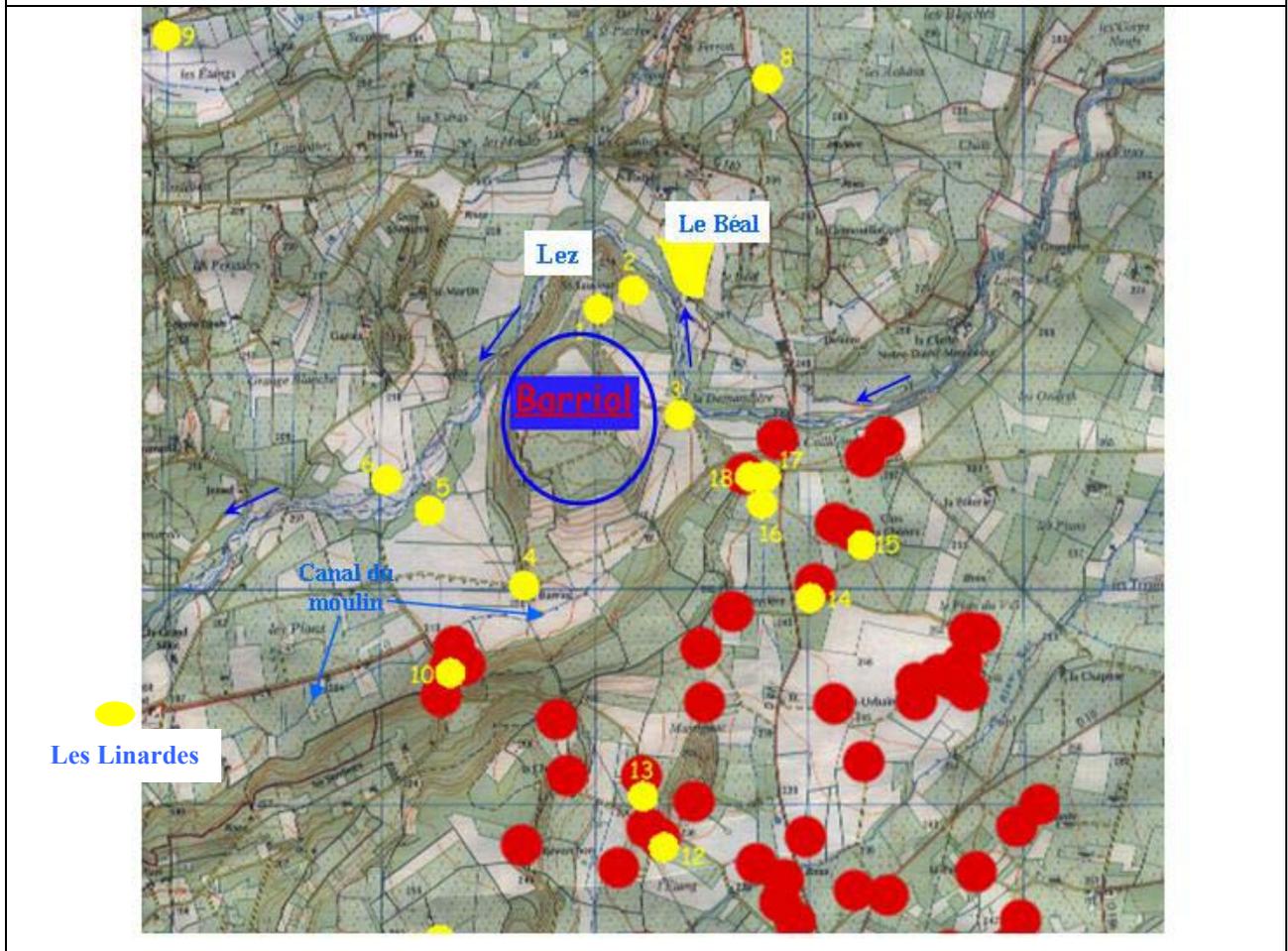
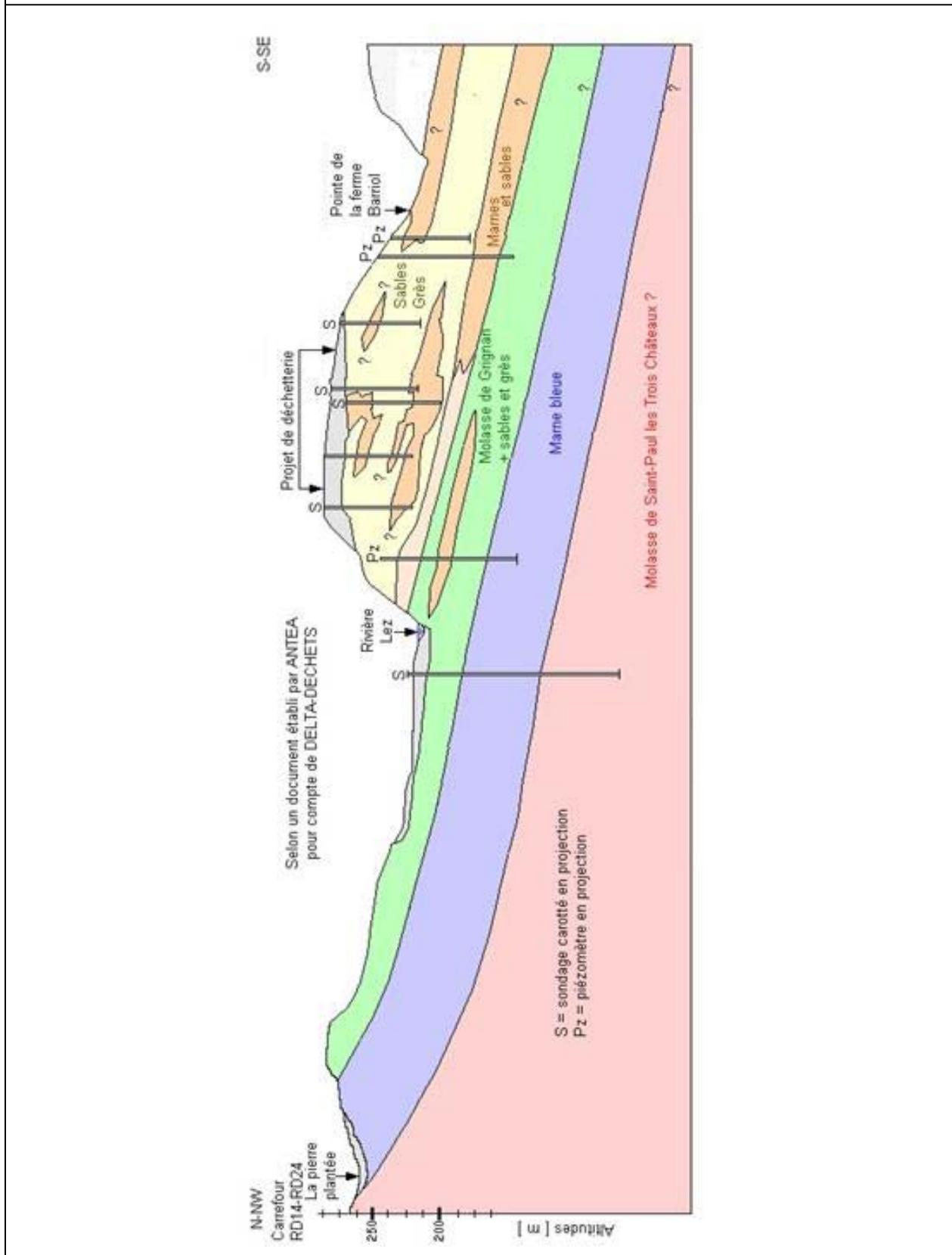


Figure II-3 : coupe géologique interprétative du site (DDAE, 2003a, fig. n°7)



II.3 Climatologie

Le Tableau II-1 rassemble les données météorologiques fournies dans la DDAE (2003a et 2003b). Elles correspondent aux précipitations observées à la station de Valréas et à l'évapotranspiration potentielle (ETP) estimée à Visan.

| | Janv. | Fév. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juillet | Août | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | TOTAL |
|-------------------------|-------|------|------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|------|------|---------------|
| Pluviométrie (P) | 61,3 | 50,5 | 59,5 | 75,4 | 77 | 55,9 | 41,7 | 60 | 93,5 | 111,6 | 66,4 | 59,2 | 812 |
| ETP | 22,5 | 36,7 | 74,7 | 100,2 | 131,9 | 157,3 | 187,5 | 159,7 | 101,4 | 53,2 | 28,7 | 24,7 | 1078,5 |

Notons que, par définition, l'ETP est (de Marsily, 1986) : « le pouvoir évaporant de l'atmosphère, qui serait celle que l'on observerait sur un sol avec couvert végétal, où l'eau serait disponible en abondance » (il existe différentes formules pour le calcul). Si ces conditions ne sont pas remplies, par exemple si l'eau vient à manquer, l'évapotranspiration réelle (ETR) devient inférieure à l'ETP. C'est évidemment le cas à la belle saison (ETP maximale coïncidant avec des sols secs).

A cet égard, notons que la Demande d'Autorisation Administrative (chapitre « dimensionnement du bassin principal »), DDAE, 2003c, ainsi que l'Analyse du Milieu Initial (chapitre Bilan Hydrique), DDAE, 2003b, mentionnent que le bilan hydrique du site est déficitaire à l'année (ETP totale supérieure aux précipitations).

Cette analyse, basée sur un bilan annuel brut, est donc très discutable puisque les conditions nécessaires à une ETP maximale ne sont, d'une manière générale, que rarement réunies au cours de l'année. De plus, intensité des précipitations et ETP sont généralement inversement corrélées puisque l'humidité de l'air plus élevée en conjonction avec un rayonnement et des températures plus faibles limitent l'ETP les jours de pluie. En règle générale, ce type de bilan est donc plutôt réalisé avec un pas de temps de mensuel, décadaire, voire journalier.

A titre d'exemple, ITASCA Consultants a récemment participé à une étude (Pagotto *et al.*, 2003), en collaboration avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), le BRGM et Vivendi Environnement, dans laquelle la quantité disponible pour l'infiltration, soit le terme : $P - ETR$ (ou $P - ETR$) a été calculé sur un pas de temps journalier à partir des relevés météorologiques de la station de Marseille. Si on recalcule ce terme à plusieurs pas de temps, on obtient :

- $P - ETR = +410,1$ mm au pas de temps journalier ;
- $P - ETR = +205,9$ mm au pas de temps mensuel ;
- $P - ETR = -939,1$ mm au pas de temps annuel ;

On constate donc l'importance du choix du pas de temps. On peut considérer un pas de temps mensuel temps comme une borne inférieure et un pas de temps journalier comme une borne supérieure du terme $P - ETR$, le pas de temps annuel étant, lui, à proscrire.

L'application d'un pas de temps mensuel aux données du Tableau II-1 donne une estimation sans doute basse du terme $P - ETR = 183$ mm/an.

De surcroît, analysons le contexte hydrique du site :

- Exposé aux précipitations de par sa situation de plateau ;
- Faible pente limitant le ruissellement ;
- Faible couvert végétal (vignes coupées d'allées non gazonnées), ce qui limite les pertes hydriques par transpiration ;
- Et surtout : épaisses couvertures de graves perméables qui facilitent une infiltration rapide et abondante, ce qui limite fortement à la fois le ruissellement et l'évaporation directe (pas ou peu de surfaces libres exposées au soleil et au vent).

Le rapport mentionne la sécheresse du plateau (DDAE, 2003a p. 49), ainsi que l'existence de ruissellements superficiels très modérés (DDAE, 2003b p. 22), essentiellement par un thalweg au Sud-Ouest du plateau.

Par ailleurs, la rapidité et l'intensité de la réaction des niveaux superficiels (situés entre 20 et 25 m de profondeur, cf. Figure III-2) aux précipitations d'automne et d'hiver attestent de cette recharge importante. Sachant que la reprise évaporatoire de la nappe est négligeable à plus de dix mètres de profondeur (de Marsily, 1986), on peut par conséquent conclure que le bilan hydrique du site est largement positif.

Cela étant, il faut regretter :

1. L'absence de données météorologiques correspondant à la période de suivi des piézomètres, ce qui limite la portée de l'interprétation des niveaux relevés.
2. La limitation de ces relevés à la seule saison humide, ce qui limite notre connaissance de l'évolution de la recharge dans le temps, et en particulier de la mise en place des conditions d'étiage.
3. L'absence de tentative de quantification des débits hydriques infiltrés, considérant que l'on ne peut se satisfaire d'une simple supposition d'un bilan hydrique déficitaire.

Nous considérons l'évaluation de l'infiltration nette dans les sols comme un point particulièrement important car elle conditionne, d'une part, l'interprétation qui est faite du fonctionnement hydraulique du site à l'état initial (bouclage du bilan hydrique) et d'autre part la prévision de l'impact des aménagements futurs.

A cet égard, nous pouvons donc supposer une infiltration importante, d'une moyenne annuelle sans doute comprise entre 150 et 400 mm/an, ce qui correspondrait à des valeurs relativement classiques pour des zones à forte perméabilité de surface. A titre d'exemple, la moyenne nationale est supposée de l'ordre de 200 mm/m²/an (<http://www.brgm.fr/divers/nappes.htm>).

La recharge totale transitant par le site (23 ha) serait donc comprise entre 34 500 et 92 000 m³/an.

II.4 Contexte hydrogéologique local

Nous faisons ici une synthèse rapide de l'hydrogéologie locale telle qu'elle ressort de l'interprétation des investigations sur site écrite dans la DDAE (2003a et 2003b). Nous discutons beaucoup plus en détail ces conclusions et exposons notre compréhension de l'hydrogéologie du site dans un chapitre dédié (chapitre III).

II.4.1 Description des niveaux aquifères

Les documents techniques appuyant la DDAE (2003a et 2003b) décrivent plusieurs systèmes aquifères au droit du site ou au pied du plateau :

- Une nappe profonde captive en charge, artésienne en période de hautes-eaux, contenue dans la molasse calcaire de St-Paul les Trois Châteaux (*m1c*), qui est exploitée par le champ captant le Béal.

Notons que le relevé d'une pression élevée dans ce forage (situé à proximité immédiate du Lez) ne permet d'affirmer que la molasse est hydrauliquement déconnectée des aquifères sus-jacents qu'à cause de l'observation d'une puissante couche marneuse observée (50 m). En effet, la molasse serait aussi normalement en charge si la vallée du Lez constituait un exutoire naturel pour cet aquifère.

- La nappe contenue dans les sables et grès du Langhien (*m2a*), séparée de la molasse de St-Paul les Trois Châteaux par une couche de marnes bleues d'environ 50 m d'épaisseur.
- La nappe d'accompagnement du Lez. Les propriétés hydrauliques de cet aquifère de nappe libre d'épaisseur variable (environ 10 m au pied du plateau) n'ont pas été estimées au cours de l'étude. Néanmoins, sa composition (graviers et cailloutis) et son exploitation (captages AEP des Linardes ou des Petites Tuilières notamment) plaident pour une perméabilité globale élevée.

Cette nappe se situe au-dessus du toit du Langhien (*m2a*) autour de la majeure partie du plateau, sauf sans doute au Sud-Est où l'encaissant n'est pas clairement identifié du fait du pendage des formations.

- La nappe comprise dans le Serravalien (*m2b*) constitue l'aquifère superficiel au droit du site dans lequel on retrouve une surface libre située entre 250 et 255 m NGF, les valeurs les plus élevées étant rencontrées au centre du plateau.

Les niveaux *m2a* et *m2b* sont souvent réunis dans l'appellation « nappe miocène de Base » sur laquelle nous revenons en détail au chapitre III. D'un point de vue régional, cet aquifère s'écoule globalement du Nord-Est vers le Sud-Ouest en direction du Rhône.

Les analyses géochimiques effectuées ne montrent pas de différence de composition significative entre les aquifères, si ce n'est une influence potentielle locale d'origine agricole sur le plateau.

II.4.2 Piézométrie des aquifères locaux

La piézométrie locale est estimée sur la base de quinze piézomètres répartis sur la zone d'étude. La profondeur des forages et la cible des niveaux captés sont variables.

Le Tableau II-2 rappelle les caractéristiques des ouvrages, l'évolution des valeurs des niveaux d'eau au cours de la période hivernale ainsi que l'estimation des niveaux hydrogéologiques captés sur laquelle nous revenons au chapitre III.

La carte piézométrique interprétative correspondante est illustrée en Figure II-4 pour une période de hautes eaux.

Notons la variabilité des niveaux relevés dans les ouvrages situés sur le plateau (à l'exception du piézomètre 5) et, à l'inverse, la constance des niveaux plus profonds.

Tableau II-2 : caractéristiques générales et niveaux mesurés (d'après DDAE, 2003a - Tableau 3)

| | Cote sol (m NGF) | Profondeur équipée (m/sol) | Cote repère (haut tubage) (m NGF) | Niveaux d'eau (mNGF) | Niveaux d'eau (mNGF) | Niveaux d'eau (mNGF) | Nappe captée | Cote fond du projet (m NGF) |
|-------|---------------------|----------------------------------|---|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| | | | | Début automne 2002 | Hiver 2002- 2003 | Début printemps 2003 | | |
| 1 SAA | 278.28 | 28.68 | 278.55 | 254.01 | 257.91 | 257.96 | Niveau perché du plateau | 162 |
| 3 SAA | 276.45 | 28.57 | 276.65 | 250.68 | 256.80 | 258.65 | Niveau perché du plateau | 260 |
| 4 SAA | 275.11 | 28.85 | 275.36 | 255.02 | 252.76 | 254.63 | Niveau perché du plateau | 260 |
| PZ1 | 279.37 | 30.00 | 279.49 | 253.08 | 254.42 | 254.92 | Niveau perché du plateau | 262 |
| PZ2 | 267.35 | 30.00 | 267.73 | Sec | Sec | Sec | Niveau perché du plateau | - |
| PZ3 | 222.73 | 50.00 | 223.19 | 213.94 | 214.49 | 214.07 | Nappe miocène | - |
| PZ4 | 242.84 | 80.00 | 243.54 | 224.28 | 224.72 | 224.77 | Nappe miocène | - |
| PZ5 | 265.91 | 64.00 | 266.11 | 241.15 | 241.74 | 241.66 | Niveau perché du plateau | - |
| PZ6 | 250.54 | 54.00 | 250.58 | 238.48 | 238.95 | 238.38 | Nappe miocène | - |
| PZ7 | 257.44 | 80.00 | 257.84 | 224.18 | 224.69 | 224.54 | Nappe miocène | - |
| PZ8 | 216.30 | 10.10 | 216.81 | 209.32 | 209.95 | 208.63 | Nappe alluviale du Lez | - |
| PZ9 | 214.48 | 17.94 | 214.95 | 207.95 | 208.68 | 207.28 | Nappe alluviale du Lez | - |
| PZ10 | 240.67 | 50.00 | 241.12 | 231.40 | 232.09 | 232.51 | Nappe miocène | - |
| PZ11 | 257.51 | 10.00 | 258.29 | 249.48 | 256.29 | 254.52 | Niveau perché du plateau | - |
| PZ12 | 214.55 | 10.66 | 214.72 | 207.74 | 208.66 | 207.26 | Nappe alluviale | - |

II.4.3 Estimation des propriétés hydrauliques des encaissants

Les propriétés hydrauliques des encaissants ont été estimées sur la base de deux types de tests selon les conditions de l'intervalle d'étude. Nous donnons ici simplement les résultats repris dans la DDAE (2003a) en préalable à une discussion plus globale au chapitre III.

La première catégorie de tests correspond à des conditions de sol saturé. Les interprétations ont été effectuées par la *méthode de Theis*, intégrée dans le logiciel *ISAPE* développé par le BRGM. L'annexe M du rapport rappelle les principales conditions de validité de la méthode et commente les résultats que nous consignons dans le Tableau II-3.

Notons l'absence d'estimation des intervalles de confiance qui, de par l'importance de ces chiffres pour un projet tel que l'ouverture d'un CET, auraient logiquement dû être fournis en support des valeurs obtenues.

| Piézomètre | Transmissivité (m²/s) | Perméabilité (m/s) | Coefficient d'emménagement |
|-------------------|---|-------------------------------|---------------------------------------|
| PZ4 | 1.4 10 ⁻⁴ | 4 10 ⁻⁶ | 2×10 ⁻⁴ |
| PZ5 | 2 10 ⁻⁵ | 1 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁴ |
| PZ6 | 2 10 ⁻⁵ | 6 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁴ |
| PZ7 | 4 10 ⁻⁵ | 1.4 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁴ |
| PZ10 | 1.5 10 ⁻⁴ | 4 10 ⁻⁶ | 10 ⁻³ |

Le second type d'essais a été réalisé par la société FONDASOL dans des conditions de sol non-saturé à partir d'essais appelés *Nasberg*. A notre connaissance, seules figurent dans le rapport DDAE les courbes brutes obtenues lors des essais. Ne sont fournies ni justification théorique, ni conditions de validité de la méthode ou intervalles de confiance, ni signification des paramètres utilisés pour l'interprétation.

Les essais s'effectuent à l'avancement. Ils consistent à remplir le forage d'eau et à interpréter la récupération de pression au bout d'un temps compris entre 10 et 30 min.

Les résultats sont reproduits dans le Tableau II-4. Les perméabilités données sont globalement très faibles (parfois inférieures à 10⁻⁸ m/s) et ne correspondent pas à ce que l'on pourrait normalement attendre des formations identifiées en sondage : sables et grès plus ou moins indurés avec parfois des passées marneuses dans certains forages.

Notons aussi que, à une exception près, les valeurs de perméabilité les plus élevées sont rencontrées pour les essais portant sur les tranches de sol de 5 m d'épaisseur. Cette observation n'est pas mentionnée dans le rapport.

Tableau II-4 : résultats des tests de perméabilité réalisés en sondage au droit du site d'après DDAE, 2003a)

| N°sondage | Cote sol (m NGF) | Cote de base testée (m NGF) | Tranche de sol testée (m/sol) | Perméabilité [10^{-8} m/s] | Cote moyenne du fond de l'aménagement le plus proche (m NGF) |
|-----------|------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|
| SD1 | 277.74 | 262.74 | 10-15 | 32.0 | Alvéole 25~262.5 |
| | | 261.74 | 15-16 | 4.8 | |
| | | 260.74 | 16-17 | 4.9 | |
| | | 257.74 | 17-18 | 3.2 | |
| | | 258.74 | 18-19 | 0.8 | |
| | | 257.74 | 19-20 | 8.0 | |
| | | 256.74 | 20-21 | 5.7 | |
| SD2 | 279.11 | 263.11 | 15-16 | 11.0 | Alvéole 26~261 |
| | | 262.11 | 16-17 | 3.2 | |
| | | 261.11 | 17-18 | 1.5 | |
| | | 260.11 | 18-19 | 1.0 | |
| | | 259.11 | 19-20 | 1.9 | |
| | | 258.11 | 20-21 | 0.5 | |
| SD3 | 276.31 | 261.31 | 10-15 | 7.3 | Alvéole 14~258 |
| | | 260.31 | 15-16 | 1.5 | |
| | | 259.31 | 16-17 | .85 | |
| | | 258.31 | 17-18 | 1.8 | |
| | | 257.31 | 18-19 | 1.9 | |
| | | 256.31 | 19-20 | .8 | |
| | | 255.31 | 20-21 | 1.1 | |
| SD4 | 278.07 | 262.07 | 10-15 | 5.6 | Alvéole 23~260 |
| | | 261.07 | 15-16 | 2.5 | |
| | | 260.07 | 16-17 | 2.4 | |
| | | 259.07 | 17-18 | 2.2 | |
| | | 258.07 | 18-19 | 2.7 | |
| | | 257.07 | 19-20 | 1.8 | |
| | | 256.07 | 20-21 | 4.3 | |
| SD5 | 276.28 | 260.28 | 15-16 | 7.3 | Alvéole 17~261 |
| | | 259.28 | 16-17 | 3.6 | |
| | | 258.28 | 17-18 | 5.5 | |
| | | 257.28 | 18-19 | 2.4 | |
| | | 256.28 | 19-20 | 2.9 | |
| | | 255.28 | 20-21 | 14 | |
| SD6 | 277.90 | 261.90 | 15-16 | 1.1 | Alvéole 11~261.5 |
| | | 260.90 | 16-17 | 1.2 | |
| | | 259.90 | 17-18 | 1.3 | |
| | | 258.90 | 18-19 | 160 | |
| | | 257.90 | 19-20 | 3.5 | |

| | | | | | |
|------|--------|--------|-------|-------|---------------------|
| | | 256.90 | 20-21 | 2.9 | |
| SD7 | 273.66 | 258.66 | 10-15 | 500.0 | Alvéole 20~258.5 |
| | | 257.66 | 15-16 | 4.9 | |
| | | 256.66 | 16-17 | 40.0 | |
| | | 255.66 | 17-18 | 36.0 | |
| | | 254.66 | 18-19 | 24.0 | |
| | | 253.66 | 19-20 | 20.0 | |
| | | 252.66 | 20-21 | 21.0 | |
| SD8 | 275.38 | 260.38 | 10-15 | 100.0 | Alvéole 12~260 |
| | | 259.38 | 15-16 | 8.7 | |
| | | 258.38 | 16-17 | 7.6 | |
| | | 257.38 | 17-18 | 15.0 | |
| | | 256.38 | 18-19 | 18.0 | |
| | | 255.38 | 19-20 | 6.3 | |
| | | 254.38 | 20-21 | 11.0 | |
| SD9 | 272.43 | 256.43 | 15-16 | 1.2 | Alvéole 8~256.5 |
| | | 255.43 | 16-17 | 5.2 | |
| | | 254.43 | 17-18 | 6.4 | |
| | | 253.43 | 18-19 | 6.0 | |
| | | 252.43 | 19-20 | 4.3 | |
| | | 251.43 | 20-21 | 3.2 | |
| SD10 | 274.98 | 258.98 | 15-16 | 22 | Alvéole 1~258.5 |
| | | 257.98 | 16-17 | 6 | |
| | | 256.98 | 17-18 | 9.7 | |
| | | 255.98 | 18-19 | 4.9 | |
| | | 254.98 | 19-20 | 11.5 | |
| | | 253.98 | 20-21 | 7.1 | |
| SD11 | 271.49 | 255.49 | 15-16 | 3.0 | Alvéole 4~255 |
| | | 254.49 | 16-17 | 2.8 | |
| | | 243.49 | 17-18 | 2.6 | |
| | | 252.49 | 18-19 | 3.5 | |
| | | 251.49 | 19-20 | 1.5 | |
| | | 259.49 | 20-21 | 8.1 | |
| SD12 | 272.88 | 257.88 | 10-15 | 10.0 | Alvéole 1~258 |
| | | 256.88 | 15-16 | 4.8 | |
| | | 255.88 | 16-17 | 5.0 | |
| | | 254.88 | 17-18 | 4.1 | |
| | | 253.88 | 18-19 | 7.5 | |
| | | 252.88 | 19-20 | 5.0 | |
| | | 251.88 | 20-21 | 5.8 | |

III. DISCUSSION SUR L'HYDROGÉOLOGIE DU SITE

Nous reprenons dans ce chapitre les informations en notre possession pour tenter de dégager les aspects majeurs du fonctionnement hydrogéologique du site. De ce « modèle conceptuel », dépend la réponse à deux questions fondamentales :

1. Quelle efficacité réelle peut-on attendre des terrains situés dans les 5 à 10 premiers mètres sous les casiers qui sont sensés servir de barrière passive ?
2. Quelles sont les relations hydrauliques entre les niveaux superficiels qui ont été mis en évidence lors des investigations sur site et les nappes plus profondes exploitées comme ressource en eau potable ?

Dans une première partie nous décrivons le modèle conceptuel sur lequel s'appuie la DDAE. Nous en faisons une analyse critique dans une deuxième partie pour présenter, dans une troisième partie notre compréhension du système hydrogéologique local avec une estimation de l'impact potentiel sur la ressource en eau et sur les captages existant.

III.1 Hydrogéologie du site selon la DDAE

L'interprétation est tirée de la DDAE, 2003a (p. 4-5, 34-38 et p. 49-50) et 2003b (p. 32-37). Elle distingue essentiellement deux niveaux saturés (Figure III-1) :

1. Des niveaux perchés d'extension réduite dans le plateau dans le Serravallien à une cote moyenne approximative de 255 m NGF.
2. Un niveau profond appelé « nappe miocène de base (Serravallien-Langhien) » qui circule globalement sur un axe NE-SW entre les cotes 230 m NGF et 220 m NGF selon la carte piézométrique interprétative (Figure II-4) ;
3. En aval du site, la nappe alluviale du Lez et la nappe serravallienne de base sont à l'équilibre, les alluvions du Lez représentant en partie un exutoire local de la nappe soutenue par le Serravallien de base.

Les niveaux perchés sont alimentés par les précipitations qui s'infiltrent à travers les graves perméables et s'accumulent sur des horizons semi-perméables à imperméables (DDAE, 2003a p.34).

Par ailleurs la DDAE (2003a p. 37) situe « le sommet piézométrique au cœur du plateau (n°3SAA : 258 m NGF). Ces niveaux sommitaux sont constitués probablement à la faveur de safres un peu plus sableux, mais ne constituent pas une nappe continue ».

L'hypothèse de base est donc que les niveaux perchés sont déconnectés de la nappe miocène de base et qu'ils ne réalimentent que par une drainance modérée :

« La majeure partie des écoulements s'effectue globalement à la faveur du pendage sud, sur le toit de la couche marneuse plus ou moins continue au passage m2a-m2b ».

Les arguments relatifs à cette déconnexion sont les suivants (DDAE, 2003a p.34) :

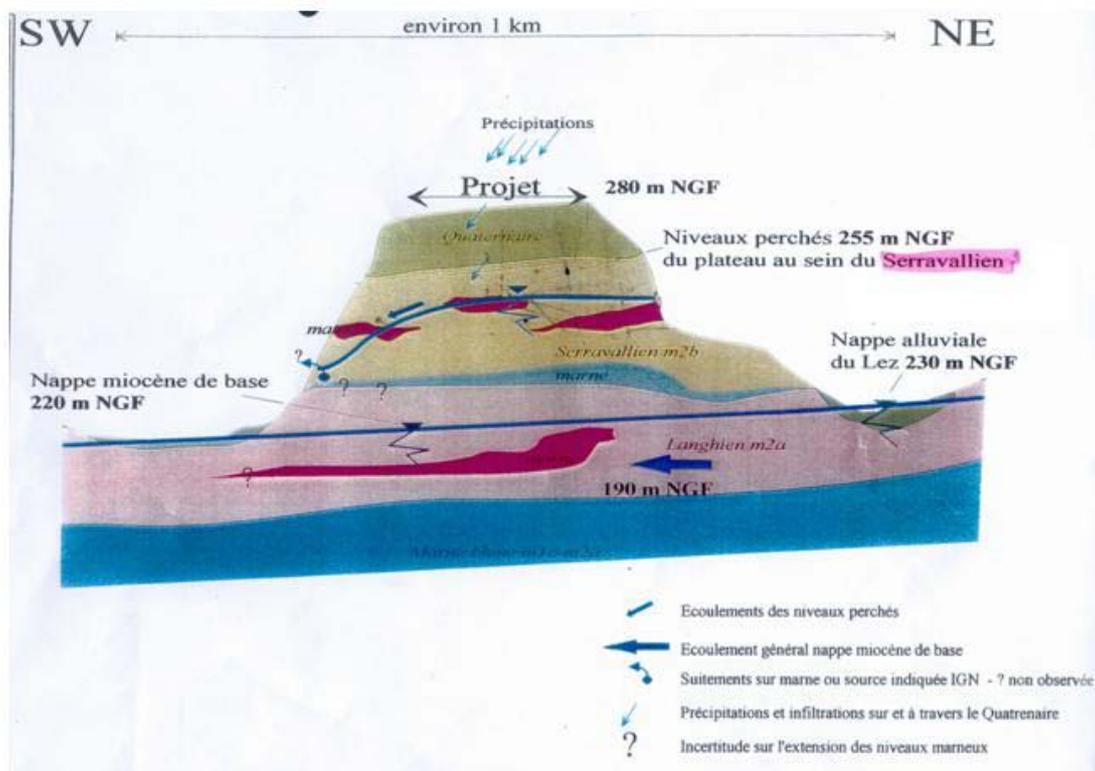
- L'absence de fractures (recherche bibliographique, photo aérienne et levé géologique) ;

- La faible perméabilité des molasses m2a - m2b liée à la forte teneur en argiles (50 à 58 %) ;
- L'existence de lentilles argileuses et marneuses de perméabilité encore plus faible.

Puis (DDAE, 2003a p.37) :

« On constate pour la chronique piézométrique début automne 2002-début printemps 2003, une différence de niveau importante (30 m) entre les niveaux perchés du plateau et la nappe basale du Miocène ».

Figure III-1 : coupe conceptuelle de la piézométrie locale (DDAE, 2003a, fig. n°10)



La conclusion de l'étude hydrogéologique est donc (DDAE, 2003a, p. 51) :

« En conclusion, la morphologie tabulaire du site étudié crée des conditions hydrogéologiques favorables pour la préservation de la qualité des eaux souterraines. En effet, l'altitude du plateau permet de garantir un isolement du soubassement des futurs aménagements par rapport à la nappe basale du Miocène d'extension régionale, et ce par une trentaine de mètres au moins de marnes-sableuses de faible perméabilité.

Les niveaux perchés qui ne sont pas exploités, ne sont pas directement connectés avec cette nappe. Les échanges par drainance verticale descendante sont limités compte tenu de la faible perméabilité des formations serravalliennes qui les séparent.

Par ailleurs, l'imperméabilisation de l'ensemble du sommet du plateau va engendrer de fait, une baisse de niveau piézométrique, voire un quasi tarissement à terme des niveaux perchés.

Les flux des niveaux perchés vers l'aquifère alluvial connexe, qui est exploité en aval hydraulique, sont faibles et dilués dans cette nappe.

La topographie offre un atout pour l'efficacité des futurs contrôles hydrogéologiques. En effet, la butte constitue un système pratiquement isolé des eaux souterraines latérales et, outre la bonne protection naturelle des terrains peu perméables, la nappe du Miocène qui circule sous le site pourra bénéficier d'un contrôle efficace en aval du site. »

III.2 Analyse critique du volet hydrogéologie de la DDAE

Le problème de fond qui nous est posé est d'évaluer l'aptitude de ce site à recevoir un Centre d'Enfouissement Technique d'ordures ménagères comme le dossier technique décrit au chapitre précédent l'affirme.

Deux conceptions du fonctionnement hydrogéologique du site sont envisageables :

1. Celle qui supporte la DDAE, à savoir une circulation profonde alimentée de manière négligeable par des niveaux perchés dans le plateau ;
2. L'existence d'une nappe libre dans le plateau en communication hydraulique notable avec la base du plateau.

La seconde approche, classique dans un système de type nappe de vallée, suppose un dôme piézométrique dans la partie centrale du plateau. Celui-ci crée un gradient hydraulique dirigé radialement et vers le bas avec, pour conséquence, un drainage des précipitations par les cours d'eau et les nappes associées.

Un système hydrogéologique de ce type poserait deux problèmes potentiels majeurs :

- Vulnérabilité de la ressource en eau vis-à-vis de toute pollution provenant du plateau (atteinte qualitative).
- Diminution des apports d'eau en provenance du plateau, du fait de son imperméabilisation partielle liée à la mise en place de géotextiles et de systèmes de drainage (atteinte quantitative).

Nous passons en revue les principaux aspects du problème pour tenter d'apporter les éléments de réponse dans la limite des données disponibles.

III.2.1 *Perméabilité des terrains au droit du site – recharge effective*

III.2.1.1 Description des méthodes

Nous décrivons les méthodes d'évaluation des principaux paramètres hydrauliques de terrains évoquées ou mises en œuvre dans le cadre de la DDAE :

- **L'essai de débit** consiste à solliciter, par pompage dans un puits crépiné, le **terrain saturé perméable** adjacent. L'interprétation des courbes de rabattement et/ou de remontée obtenues permet d'obtenir les paramètres hydrauliques de la formation. En règle générale, l'interprétation des résultats enregistrés à un ou plusieurs piézomètres d'observation est sensiblement plus fiable que celle enregistrée sur le puits de pompage. La raison de ce phénomène tient dans les corrélations entre l'emménagement de la formation et, d'une part, les incertitudes liées au forage (effet capacitif du puits et effet de pellicule/skin) et, d'autre part, la perméabilité de la formation (Paris et Roberts, 1997).
- **L'essai Lefranc** est une méthode moins coûteuse mais plus rudimentaire et moins fiable de détermination de la perméabilité de **terrains saturés** (de Marsily, 1986). Un forage de diamètre D est crépiné sur une longueur L . La profondeur de la zone à étudier étant située à une profondeur H sous la nappe, on ajoute une hauteur ΔH . Connaissant le débit Q absorbé pour maintenir ΔH constant et α , qui est un coefficient

« de poche » dépendant de D et de L , on obtient la perméabilité K de la formation (de Marsily, 1986 p. 201) :

$$K = \alpha Q / D \Delta H$$

Cet essai est donc normalement réalisé en régime pseudo-permanent à différents débits pour vérifier la linéarité de K . Il est aussi supposé que la poche se situe suffisamment loin d'une limite.

- **L'essai Nasberg** sert à déterminer la perméabilité de terrains qui sont **non-saturés** (situés au dessus de la nappe), à partir d'un forage crépiné que l'on alimente en eau à un débit Q constant jusqu'à obtenir une stabilisation du niveau à une hauteur H . C'est donc, comme l'essai Lefranc, une méthode qui suppose l'obtention d'un régime pseudo-permanent, reflétant une quasi-saturation de la zone située entre le fond du forage et la nappe. K est alors calculé par la relation de Nasberg :

$$K = Q / H^2 \times f(H / D)$$

Les techniques *Lefranc* et de *Nasberg* sont des approches surtout employées en géotechnique (de Marsily, 1986), du fait de leur relative imprécision qui les limite, de surcroît, à des terrains plutôt perméables.

III.2.1.2 Incertitude associée à la perméabilité en milieu non-saturé

Comme nous l'avons écrit au chapitre II.3, nous considérons que l'évaluation de l'infiltration nette dans les sols à partir de la surface du plateau est un point fondamental de l'étude. Il est admis que la couche superficielle de graves permet une infiltration rapide dans cette zone (sécheresse des graves constatée au cours des investigations sur site). Par contre, le dossier technique de la DDAE affirme que les terrains sous-jacents, donc situés sous le fond des alvéoles prévues, sont de perméabilité très faible causée par leur teneur en argile.

Notons tout d'abord que les teneurs en argile des sables (50 à 58%) citées dans le rapport (DDAE, 2003a, p. 20 et 37 notamment) sont des données globales moyennes et qui semblent provenir essentiellement de forages profonds. Leur extrapolation à un système local superficiel est donc délicate, d'autant que cette hypothèse ne semble pas cohérente avec les coupes des forages qui indiquent plutôt une prédominance de sables et de grès.

Pour ce qui concerne le choix de la méthodologie d'estimation des perméabilités, rappelons tout d'abord que, contrairement à ce qui est écrit dans la DDAE (DDAE, 2003a, p. 37), **l'ADEME ne préconise aucune méthode de test**. Elle ne fait que fournir des données sur les techniques pouvant être mises en œuvre (ADEME, 1999).

Ensuite, les techniques de *Lefranc* ou de *Nasberg* supposent, à notre connaissance, d'avoir atteint un régime pseudo-permanent, ce qui n'est pas le cas ici puisque les courbes données en Annexe G du rapport d'étude (DDAE, 2003a) donnent des niveaux d'eau qui varient en fonction du temps. Après examen des résultats, il semble que ces interprétations soient en fait basées **sur une variante des essais de type Lefranc** (*Lefranc-Mandel*, ADEME, 1999). Le débit n'est plus constant et il est calculé à partir de la variation de charge dans le forage. La charge mesurée est alors « calée » à partir de courbes paramétrées par la perméabilité selon la *relation de Lefranc*. Ce passage du régime permanent au régime transitoire affecte la fiabilité des résultats (notamment variation du coefficient de poche au cours du test, proximité de la nappe) mais elle reste **scientifiquement valable tant que l'on reste en milieu saturé**.

Or, il n'y a aucune chance de saturer la zone comprise entre la cavité et la nappe du fait de la faiblesse des volumes injectés (largement inférieurs au m³). Cela implique que les essais ont été **réalisés en milieu non-saturé**.

Il faut donc se poser la question : quelle précision peut-on attendre d'un test qui consiste à remplir un forage, en cours de réalisation, délimitant un intervalle situé entre 10 et 20 m au-dessus de la nappe, et à interpréter la descente de la charge observée dans l'ouvrage ?

On sait que la perméabilité « apparente » d'un terrain non-saturé est inférieure à celle qu'il aurait à saturation, la différence dépendant du terrain et de l'état de saturation du sol. Cette incertitude est prise en compte dans les essais *Nasberg* qui tentent d'atteindre une saturation satisfaisante des sols entre la cavité de test et la nappe. La relation de *Nasberg* tient compte de la forme des isopotentiels obtenues dans ces conditions. Nous considérons donc que :

1. La perméabilité va dépendre de la saturation du sol (et être théoriquement inférieure à sa valeur en terrain saturé).
2. Les hypothèses de la théorie *Lefranc* (distance de la cavité d'infiltration par rapport à la surface de la nappe, forme des lignes de courant, conditions aux limites...) ne sont plus respectées (l'écoulement ne forme plus une poche plus ou moins sphérique). Un système essentiellement gravitaire ne modifie que peu dans le temps l'aire offerte à l'écoulement. A l'inverse, une symétrie sphérique, comme celle supposée dans la théorie *Lefranc*, suppose une augmentation de cette aire dans le temps proportionnellement au carré de la distance au puits. Cette surestimation de la surface offerte à l'écoulement pour un débit donné entraîne une sous-estimation de la perméabilité.

Nous estimons donc qu'une telle application **sort complètement du domaine scientifique de validité de la méthode** car les équations utilisées ne représentent plus la physique du système.

Notons d'ailleurs que dans un guide technique relatif aux estimations de faibles perméabilités qu'elle publie, l'ADEME (1999, p 31-32) s'interroge sur les limites théoriques et pratiques de la méthode et donc sur la « grossièreté » des résultats que l'on peut ainsi obtenir.

Dans ces conditions, il n'est pas étonnant que les perméabilités trouvées au droit du site soient aussi faibles. Elles sont également **en contradiction avec les observations suivantes** :

1. La géologie en forage qui fait essentiellement référence à des sables et grès (on s'attendrait plutôt à des valeurs situées autour de 10^{-5} - 10^{-6} m/s).
2. L'absence de niveaux perchés au toit de ces couches. Les terrains testés étant situés juste sous les graves, des perméabilités de l'ordre de 10^{-7} m/s provoqueraient inévitablement une accumulation visible dans les graves. La conséquence de cette accumulation serait la présence d'un aquifère perché à ce niveau associée à des sources importantes sur les coteaux.

Les rapports (DDAE, 2003a et 2003b) soulignent au contraire la sécheresse des graves et l'absence de source notable.

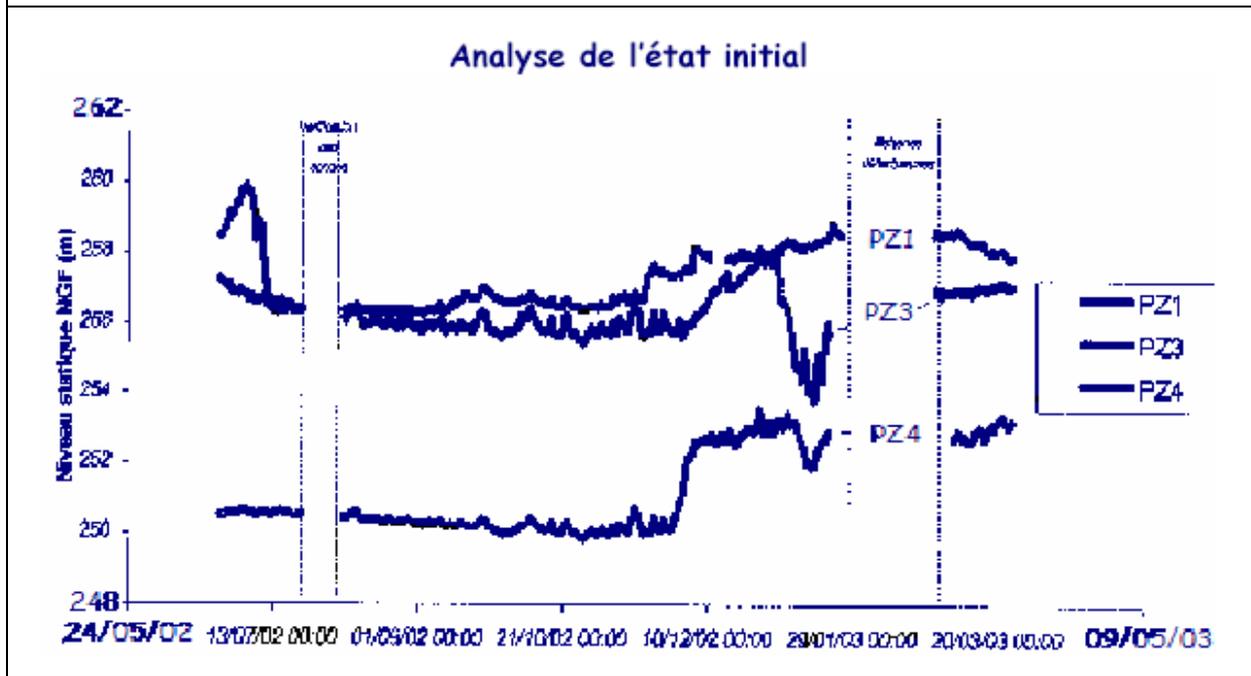
3. L'intensité et la rapidité de la recharge des niveaux superficiels (Figure III-2 et Tableau II-2). Les remontées de ces niveaux se produisent dès l'automne à environ 20-25 m de profondeur, en tenant compte de 10 m de graves perméables. Il convient là encore de regretter une chronique piézométrique trop brève ainsi que l'absence de données météorologiques détaillées sur le plateau qui permettraient de corrélérer avec plus précision les battements de la nappe avec les précipitations.

Cela étant, **il nous semble impossible d'expliquer l'infiltration de tels volumes d'eau, à une telle vitesse, avec les perméabilités annoncées.**

Notons que si l'on estime une porosité de drainage des safres de 10 %, une remontée de nappe de trois mètres correspondrait à une recharge d'environ 300 mm (pour une période comprenant une bonne part, mais pas la totalité, des précipitations efficaces), sans tenir compte de l'écoulement de la nappe superficielle, ce qui tend à corroborer notre estimation de la recharge effective (chapitre II.3).

Figure III-2 : piézométrie enregistrée sur le plateau (DDAE, 2003b, p. 35)

Ces enregistrements automatiques correspondent aux piézomètres 1SAA, 3SAA et 4SAA



III.2.1.3 Incertitude associée à la perméabilité en milieu saturé

Les perméabilités des zones plus profondes ont été estimées sur la base d'essais de puits (*méthode de Theis*) dans cinq piézomètres (Tableau II-3). Ces tests de pompage, n'ayant pas intégré de piézomètres d'observation, présentent aussi une incertitude dont il faut tenir compte. En effet, les irrégularités de fonctionnement de la pompe, combinées à l'effet capacitif du puits et aux altérations du terrain autour de l'ouvrage (effet de pellicule), peuvent se refléter dans la valeur de l'emmagasinement spécifique obtenue après interprétation. Il est connu (par exemple Paris et Roberts, 1997) qu'il existe une corrélation, lors d'un « calage » d'essai de puits, entre emmagasinement spécifique et perméabilité, ce qui engendre donc une incertitude sur cette dernière.

A cet égard, nous estimons que le coefficient d'emmagasinement (S) donné pour le **test 5** ($S = 10^{-4}$), est trop faible pour un aquifère supposé non-confiné (S devrait être du même ordre de grandeur que la porosité de drainage soit de l'ordre de 0,2 – 0,3).

Nous avons donc effectué une simulation de vérification sur ce test avec le logiciel *nSIGHTS*, développé par le « Sandia National Laboratory » aux Etats-Unis, dans le cadre du stockage de déchets radioactifs en site profonds. Ce logiciel est également largement utilisé en France dans le cadre des recherches menées par l'ANDRA.

nSIGHTS diffère d'*ISAPE* par le fait que ce code de calcul est basé sur une résolution entièrement numérique des équations (théorie des graphes). Cette caractéristique permet notamment de prendre en compte de nombreux types de non-idéalité des tests.

Les résultats de simulation obtenus sont illustrés par les courbes sur la Figure III-3. On peut voir que les résultats de simulations sont globalement proches (le rabattement initial et la récupération finale sont même un peu mieux reproduites avec *nSIGHTS*) avec les paramètres hydrauliques suivants :

$$S \approx 0,27$$

$$T \approx 1,3 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (soit } K \approx 7,0 \times 10^{-5} \text{ m/s)}$$

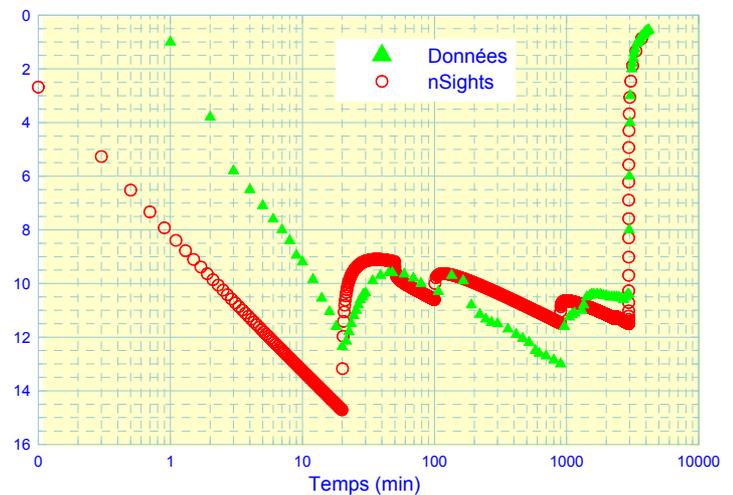
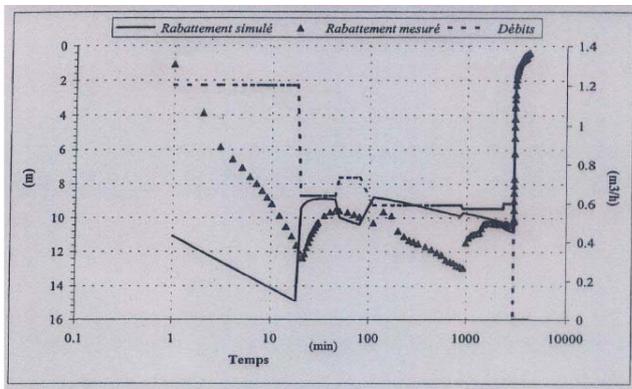
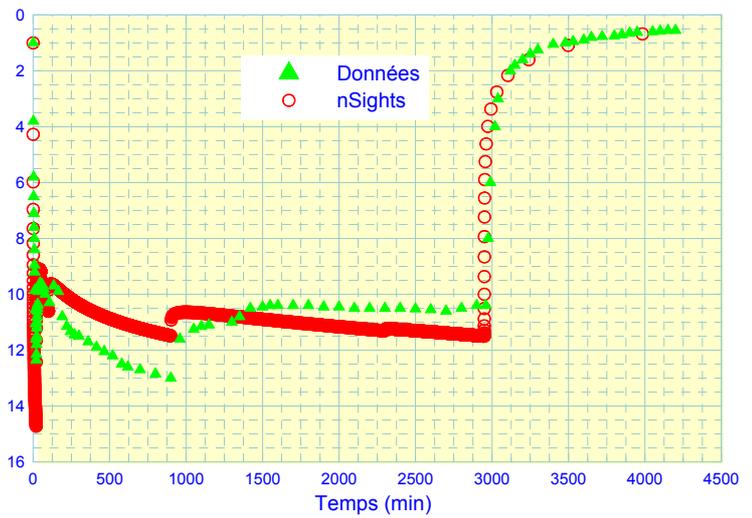
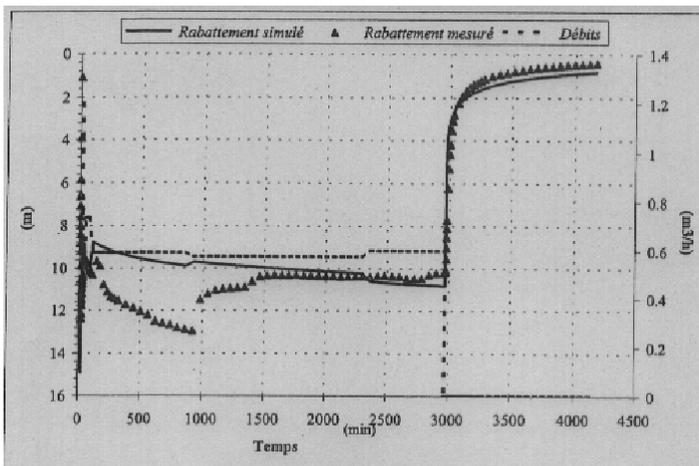
Pour une même qualité de calage, l'emmagasinement est de l'ordre de grandeur de ce que l'on pourrait attendre d'une nappe libre. La corrélation de ce paramètre avec la transmissivité (et donc de la perméabilité) fait que ce paramètre est dans ce cas nettement plus élevé.

Nous ne prétendons pas, à ce stade, que le résultat que nous produisons soit nécessairement plus proche de la réalité : la hauteur et l'hétérogénéité de la formation peuvent parfaitement se traduire par un comportement de nappe captive, si on imagine que la réponse dans le puits est contrôlée par une unité profonde de plus forte perméabilité. Par contre, cette démonstration nous paraît clairement indiquer les limites actuelles de notre connaissance des propriétés hydrauliques des formations profondes.

Figure III-3 : interprétation d'essai de puits (PZ5) - résultats comparés ISAPE – nSIGHTS

Rabattement en fonction du temps :

- **A gauche** : résultats DDAE (DDAE, 2003a, annexe M)
- **A droite** : résultats nSIGHTS
- **Au dessus** : axe des temps en échelle linéaire
- **Au-dessous** : axe des temps en échelle logarithmique



III.2.2 *Écoulements en profondeur*

L'intensité de la recharge montrée par les piézomètres captant les niveaux superficiels du plateau pose clairement la question du devenir de ces volumes en l'absence de reprise évaporatoire significative à ces profondeurs.

L'homogénéité des niveaux piézométriques relevés formant dôme centré sur le plateau nous semble accréditer un écoulement radial rechargeant les niveaux plus profonds.

Discutons les arguments qui servent de base à l'hypothèse d'une nappe perchée :

1. Nous avons vu ci-dessus que la perméabilité globale des safres ne favorise pas spécialement la formation de niveaux perchés.
2. Il n'existe à ce jour que deux piézomètres profonds sur la plateau (PZ5 et PZ7). Malgré **leur faible nombre et leur localisation en périphérie du plateau**, les forages profonds ne nous paraissent pas prouver l'existence de niveaux marneux suffisamment puissants et continus pour justifier la création d'une nappe perchée. Par exemple, la coupe géologique du piézomètre 5 ne montre aucun niveau marneux au-dessus de 222 m NGF.
3. Par ailleurs, s'il existait un niveau marneux continu, **les intensités de recharge, par accumulation, provoqueraient l'apparition de sources pérennes tout autour du plateau, ce qui ne correspond pas aux observations.**
4. La différence de charge entre les piézomètres 7 et 11 peut effectivement indiquer un niveau perché au-dessus de la lentille d'argile identifiée au fond du PZ11. Cela étant, cette différence ne constitue pas une preuve, d'une part car il ne s'agit que d'un point en bordure de 23 ha de plateau et d'autre part car il est bien connu que dans le cas d'un dôme piézométrique les charges varient avec la profondeur du forage.

En effet, d'une manière générale, un piézomètre ne donne la même charge quelque soit sa profondeur que si les isopièzes sont verticales (écoulement horizontal). Dans le cas d'un dôme, les isopièzes sont nécessairement obliques. Un piézomètre profond donnera une donc charge hydraulique « moyenne » (de Marsily, 1986, p. 52). Notons que cette charge peut, en outre, être influencée par la transmissivité relative des horizons traversés : un niveau nettement plus perméable imposera sa charge.

5. Les niveaux marneux supposés à la transition m2a-m2b, dans l'hypothèse où ils seraient continus, ne seraient pas opérants au Sud du plateau du fait du pendage des couches qui, contrairement à ce qui est suggéré sur la Figure III-1, situe le niveau de la nappe Miocène dans le Serravallien (Figure III-4). Rappelons que de nombreux captages d'eau puisent dans cette formation au Sud de Barriol. Il ne semble donc y avoir **aucun obstacle majeur à un écoulement direct de la recharge du plateau vers la nappe du Miocène de base au Sud du plateau.**

En outre, les coupes géologiques des piézomètres 3, 4 et 9 n'indiquent aucune formation argileuse susceptible de déconnecter le Serravallien de la nappe d'accompagnement du Lez.

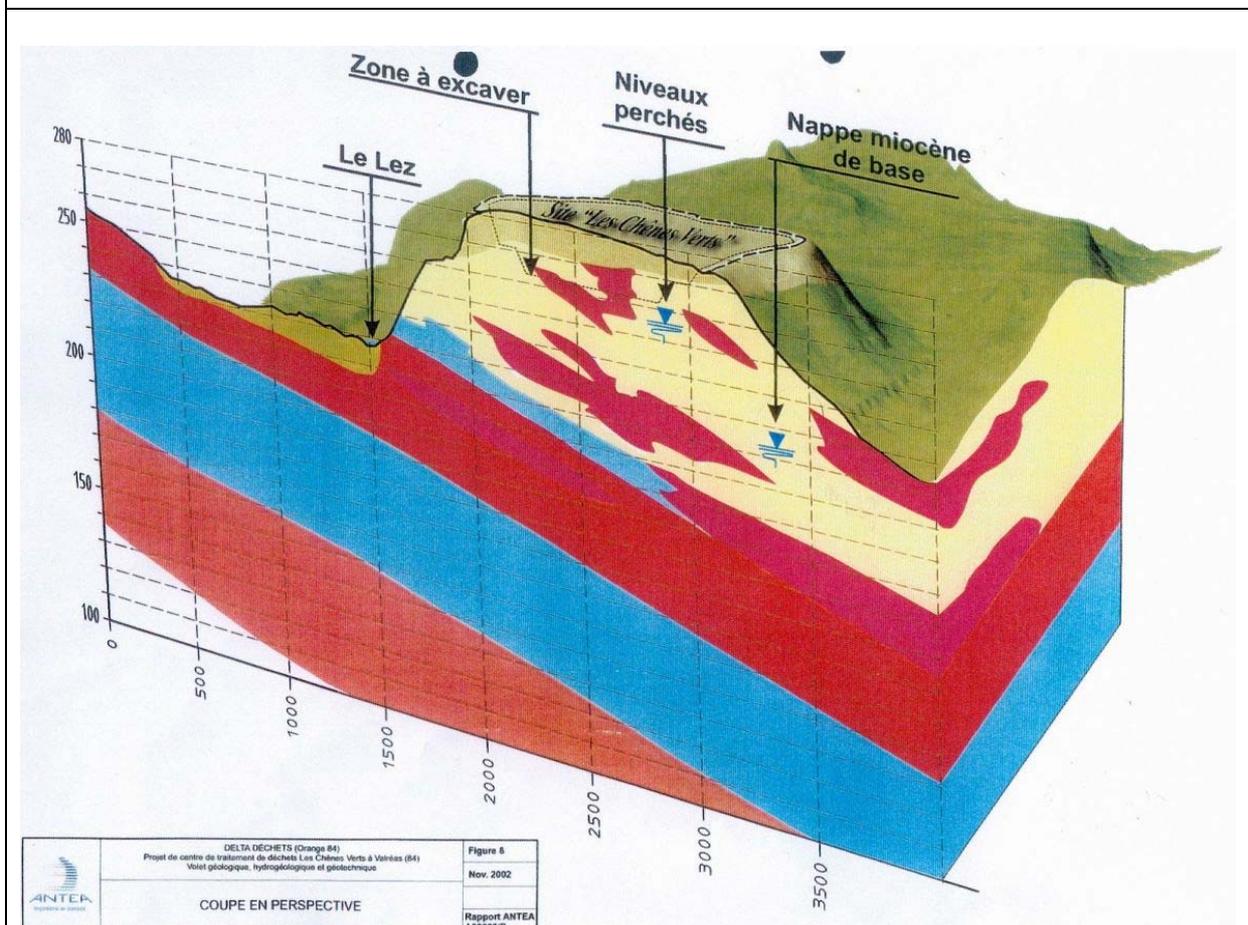
6. Enfin, notons une contradiction concernant le piézomètre PZ5. Celui-ci est en effet décrit dans le Tableau II-2 comme un piézomètre du plateau, probablement en liaison avec sa charge hydraulique proche de 241,7 m NGF. Or, la profondeur de ce forage est de 64 m/sol, ce qui implique qu'il est crépiné jusqu'à environ 202 mNGF. Cette cote est donc largement située sous le niveau du Lez qui coule à environ 300 m de distance.

Le forage est ancré dans un horizon de marnes bleues d'au moins 20 m de puissance qui est semble localisé dans le Langhien dans la DDAE (figure 6 du rapport DDAE, 2003a).

Le PZ5 n'est donc pas un piézomètre captant uniquement les horizons superficiels du plateau.

Or, d'après la Figure II-4, la charge hydraulique du Miocène de base est supposée être à ce niveau de l'ordre 227,5 m NGF. Si l'on suppose l'existence de niveaux perchés de faible extension et de faible connexion, ceux-ci devraient être drainés par le puits et la charge hydraulique mesurée devrait être proche de la valeur théorique ce qui n'est pas le cas. Par contre, la charge hydraulique est intermédiaire entre cette valeur théorique et celle des niveaux du plateau, ce qui **corrobore l'hypothèse d'une charge hydraulique moyenne typique d'un dôme piézométrique.**

Figure III-4 : coupe 3D et piézométrie locale (DDAE, 2003a, fig. n°8)



Par ailleurs, nous écartons certaines affirmations du dossier quant à la faiblesse de la perméabilité du plateau basée sur la sécheresse ou la faible productivité d'un piézomètre si celui-ci est crépiné au-dessus (PZ2, DDAE, 2003a p. 34) ou juste au niveau de la nappe (piézomètres du plateau). Notons que si les niveaux superficiels étaient déconnectés des niveaux profonds, des niveaux perchés auraient aussi été détectés dans le PZ2 (situé en bordure Sud-Ouest du plateau).

Nous pouvons à cet égard regretter que des tests hydrauliques ciblant les piézomètres captant les niveaux superficiels n'aient pas été mis en œuvre par des techniques en injection (de type choc hydraulique ou à charge constante). Ces essais auraient, à notre sens, d'une part, donné des résultats nettement plus crédibles sur la perméabilité des saffres au droit du site et, d'autre part, fournit une estimation du degré de connexion hydraulique dans les niveaux superficiels.

III.2.3 Impacts potentiels d'un éventuel CET sur la ressource en eau

A ce stade des investigations, le système hydrogéologique qui nous paraît le plus probable pour le site de Barriol est donc le suivant :

1. Infiltration abondante à partir du plateau.
2. Recharge d'une nappe superficielle présente à 15-20 mètres de profondeur (255 m NGF au centre du plateau) via d'éventuels niveaux perchés.
3. Écoulement radial dirigé vers les points bas autour du plateau (nappe du Lez, canal du Moulin...).

En effet, les données géologiques indiquent la forte probabilité d'un écoulement direct du plateau vers le Sud par la formation serravallienne. L'absence de source et la forme en dôme de la nappe superficielle suggèrent fortement que des écoulements s'effectuent aussi dans d'autres directions.

Il ne nous paraît pas possible, au vu des données disponibles, de caractériser et de quantifier ces écoulements de manière plus précise.

Il découle de ce schéma conceptuel des **conclusions fondamentalement différentes de celles de la DDAE** :

1. L'existence d'une barrière passive naturelle au droit du site est douteuse. La perméabilité globale est sans doute nettement plus élevée que l'ordre de grandeur donné dans la DDAE et ne respecte vraisemblablement pas la valeur de 10^{-6} m/s requise. **Les formations situées sous les alvéoles ne s'opposeraient donc pas efficacement à une infiltration d'eau contaminée.**
2. De ce fait, les **matériaux marno-sableux du site** qu'il est prévu de réutiliser après compaction comme niveau de perméabilité proche de 10^{-9} m/s **n'offrent pas les garanties suffisantes**. De plus :
 - Les essais en laboratoire n'ont été réalisés qu'à partir de deux carottes dont on peut questionner à la fois le mode de sélection et la représentativité. Par ailleurs, les essais sur carottes forcent l'écoulement à être mono-dimensionnel. Une lentille marneuse dans la carotte contrôlera donc la perméabilité globale alors que, dans la réalité, l'eau peut utiliser des chemins préférentiels d'écoulement (par exemple des passages plus sableux) qui contournent ces zones. Le guide technique de l'ADEME (1999) estime une sous-estimation de la perméabilité pour de tels essais d'un facteur 10.

Cette sous-estimation de la perméabilité réelle est sans doute particulièrement importante dans des formations présentant des hétérogénéités marquées comme celles des formations du Miocène. Notons que même dans ces conditions et à compaction optimale, les essais ne permettent pas d'atteindre des perméabilités inférieures à 3×10^{-9} m/s (DDAE 2003a, pages 54 et 58).

- La pérennité de cette barrière, notamment d'un point de vue géochimique, n'est pas discutée. Les analyses minéralogiques ont montré la présence de nombreux grains de carbonates. Ceux-ci, instables dans les conditions acides d'un lixiviat de décharge jeune, risquent d'affaiblir encore la qualité de cette barrière.

Notons que la réinjection des concentrats d'osmose inverse spécifiée dans la DDAE combinée à l'acidité des lixiviats **risque de générer des lixiviats à potentiel polluant particulièrement important**. La DDAE affirme que, de cette manière, la quantité de polluants précipités sera plus élevée sans fournir aucun détail sur la nature et les mécanismes des précipitations attendues. Il y a lieu de s'en étonner car, en milieu acide ($\text{pH} < 6$), la plupart des métaux sont très solubles (cf. par exemple Fetter, 1993). Ce point aurait motivé un développement approfondi, notamment sur la base de calculs de spéciation.

3. Les écoulements en provenance du plateau sont probablement largement connectés avec les niveaux plus profonds (nappe Miocène, puis nappe d'accompagnement du Lez) et peuvent donc potentiellement contaminer la ressource en eau locale.

Les coupes des piézomètres 3, 4 et 9 montrent qu'aucun obstacle hydraulique majeur ne semble empêcher une connexion hydraulique directe entre recharge et nappe du Lez. Une contamination de la nappe du Lez à ce niveau constituerait une menace sérieuse pour les nombreux puits présents sur ce secteur et même pour le champ captant des Linardes, situé à 2,5 km directement en aval d'un aquifère perméable (graves).

Le gradient de l'aquifère étant proche de 0,01 (Figure II-4 et DDAE 2003b, p.19) et la perméabilité moyenne des graves sans doute au moins égale de 10^{-3} m/s, on peut calculer, à l'aide de la relation de Darcy (de Marsily, 1986) un temps convectif de l'ordre de 2,5 ans (en supposant une porosité efficace de 0,3). Cette durée correspond à une estimation du temps moyen qu'il faudrait à une contamination de la nappe du Lez pour atteindre le forage des Linardes. L'évaluation de ce risque pourrait être affinée par l'obtention de données complémentaires dans les graves (essais de puits, traçage...).

4. Du fait de la surpression dans le plateau, les écoulements en provenance du plateau peuvent potentiellement contaminer beaucoup plus en direction de l'amont hydraulique du Lez que mentionné dans le rapport.
5. L'infiltration nette des eaux météoriques au sein du plateau semble être importante. Elle joue donc un rôle dans la recharge locale des aquifères qui reste à préciser. Une **impermeabilisation du plateau peut par conséquent réduire significativement la ressource en eau disponible**, notamment au Sud du plateau. A notre connaissance, cet impact n'a fait l'objet d'aucune quantification à ce jour.

Le projet de CET sur le plateau de Barriol nous paraît donc représenter **un risque d'atteinte qualitative de la ressource en eau** dont la sauvegarde dépendrait uniquement de l'efficacité et de la pérennité de la barrière active.

Un tel contexte **n'est pas compatible avec le principe de précaution**. Par ailleurs, le drainage des infiltrations d'eau météorique dans le plateau constitue une **atteinte quantitative potentielle de la ressource en eau dont l'amplitude n'est pas connue à ce jour**.

Enfin, le **système de contrôle de défaillance des barrières hydrauliques** sous les alvéoles nous semble **d'une efficacité illusoire**. En effet, ce système (DDAE 2003c p. 10) repose sur

un réseau de drains placés sous la couche recompactée à « 10^{-9} m/s » (en fait probablement au moins égale à 3×10^{-9} m/s, DDAE 2003a, pages 54 et 58).

Nous savons que, à ce niveau, les terrains ne sont pas saturés. Ils le seront théoriquement encore moins avec un drainage en fond d'alvéoles. Les écoulements ne peuvent donc se faire que de manière gravitaire. Dans ces conditions, les drains ne peuvent, au mieux, que capter une infiltration qui se produirait **exactement à leur verticale**. De plus, l'eau, de par ses propriétés mouillantes, aura tendance à circuler par les pores les plus petites et donc à rester dans le sable pour **contourner le drain** plutôt que d'y entrer (Philip, 1989).

En conséquence, il y n'y a à peu près **aucune chance qu'une défaillance, même majeure, de la barrière active** sous le site donne **lieu à un quelconque écoulement dans les drains de contrôle**.

Ce système devra donc être complètement repensé.

IV. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

IV.1 Bilan de l'évaluation du volet hydrogéologique de la DDAE

A ce stade des investigations, le système hydrogéologique qui nous paraît le plus probable pour le site de Barriol est le suivant :

1. Infiltration abondante à partir du plateau.
2. Recharge d'une nappe superficielle présente à 15-20 mètres de profondeur (proche de 255 m NGF au centre du plateau) via d'éventuels niveaux perchés intermédiaires.
3. Écoulement radial dirigé vers les points bas autour du plateau (nappe du Lez, canal du Moulin...). Il ne nous paraît pas possible, au vu des données disponibles, de caractériser et de quantifier ces écoulements de manière plus précise.

Il découle de ce schéma conceptuel des **conclusions fondamentalement différentes de celles de la DDAE** :

1. L'existence d'une barrière passive naturelle au droit du site est douteuse. La perméabilité globale est sans doute nettement plus élevée que l'ordre de grandeur donné dans la DDAE et ne respecte vraisemblablement pas la valeur de 10^{-6} m/s requise. **Les formations situées sous les alvéoles ne s'opposeraient donc pas efficacement à une infiltration d'eau contaminée.**
2. De ce fait, les **matériaux** marno-sableux du site qui sont réutilisés comme niveau de perméabilité proche de 10^{-9} m/s **n'offrent pas les garanties suffisantes**. Ce manque de fiabilité est accentué par :
 - L'hétérogénéité des formations du Miocène qui peut laisser des chemins préférentiels d'écoulement au sein de zones plus sableuses.
 - Le faible nombre d'essais en laboratoires (2 échantillons, dont le mode de sélection n'est pas clairement défini). Ces essais sont, de plus, basés sur un protocole qui tend à sous-estimer la perméabilité d'un facteur généralement estimé à 10 (ADEME, 1999). Le risque de sous-estimation de la perméabilité est d'autant plus élevé que le milieu est hétérogène.
 - Une pérennité des matériaux qui est loin d'être établie, notamment vis-à-vis des agressions chimiques (attaque des carbonates par des lixiviats acides).
3. **Les écoulements en provenance du plateau sont sans doute largement connectés avec les niveaux plus profonds** (nappe Miocène, puis nappe d'accompagnement du Lez) et peuvent donc potentiellement contaminer la ressource en eau locale.

Cette connexion est très probable au Sud du plateau. Une contamination de la nappe du Lez au Sud-Ouest du plateau constituerait une menace sérieuse, notamment pour le forage des Linardes situé à 2,5 km directement en aval d'un aquifère perméable.

4. Du fait de la surpression dans le plateau, les écoulements en provenance du plateau peuvent potentiellement contaminer beaucoup plus en direction de l'amont hydraulique du Lez que mentionné dans le rapport.

5. Du fait du rôle supposé du plateau dans la recharge locale des aquifères, l'imperméabilisation même partielle du plateau **peut diminuer significativement la ressource en eau disponible**, notamment pour les captages situés au Sud du plateau. A notre connaissance, cet impact n'a fait l'objet d'aucune quantification à ce jour.

Le projet de CET sur le plateau de Barriol nous paraît donc représenter **un risque d'atteinte qualitative de la ressource en eau** dont la sauvegarde dépendrait uniquement de l'efficacité et de la pérennité de la barrière active renforcée par le géosynthétique bentonitique complétant la barrière passive.

De plus, la technique de recirculation des concentrats issus du traitement des lixiviats **pourrait générer des lixiviats à potentiel polluant particulièrement important**. Ce risque n'a fait l'objet d'aucune évaluation.

Un tel contexte **n'est pas compatible avec le principe de précaution**. Par ailleurs, le drainage des infiltrations d'eau météorique dans le plateau constitue une **atteinte quantitative potentielle de la ressource en eau** dont l'amplitude n'est pas connue à ce jour.

La collecte des informations hydrogéologiques s'est déroulée sur la période été 2002 – printemps 2003. Le volet hydrogéologique de la DDAE (2003a) est daté d'avril 2003. Nous estimons donc que, outre la trop grande brièveté de la période de collecte de données, le prestataire en charge du dossier technique n'a peut-être pas disposé du délai suffisant pour analyser les informations disponibles avec le recul nécessaire.

IV.2 Recommandations

Nous estimons que les données géologiques, climatologiques et hydrogéologiques rassemblées dans le dossier ne constituent qu'une **première étape dans la caractérisation du site**. Les incertitudes liées au manque d'information sont trop vastes pour permettre une décision susceptible, d'après les conclusions de notre étude, de porter atteinte à la ressource en eau locale.

Nous recommandons donc une campagne d'investigations sur site adaptée aux enjeux du problème :

1. Collecte **d'information supplémentaire** sur la **météorologie locale** et suivi des **niveaux dans les piézomètres superficiels** sur une durée plus longue (au moins une année). L'objectif est d'une part de mieux quantifier à la fois la vitesse et les débits d'infiltration, en corrélation avec les chroniques pluviométriques, et d'autre part de mieux comprendre le drainage de cette recharge vers les niveaux plus profonds.

Cette information pourrait être utilement complétée par des **tests d'infiltration** utilisant des méthodes telles que : *Porchet, double anneau...* qui sont d'une validité et d'une précision beaucoup moins douteuses que les essais *Nasberg* (ou plutôt *Lefranc*) qui ont été mis en œuvre.

2. Réalisation de **tests hydrogéologiques en injection sur les piézomètres superficiels** par une méthode de type choc hydraulique ou imposition d'une charge constante avec mesure des débits. L'interprétation de ces essais devrait fournir des informations beaucoup plus fiables sur la perméabilité des safres sous les alvéoles, ainsi que des informations complémentaires sur la connexion des niveaux aquifères superficiels.
3. Il est fondamental de connaître les écoulements en profondeur sur d'autres bases que de simples hypothèses. Par conséquent, nous recommandons la réalisation de **plusieurs piézomètres profonds notamment au centre et à l'Ouest du plateau**. Ces

forages auront pour but de localiser les éventuels niveaux marneux en profondeur, sensés isoler la partie supérieure du plateau, et d'étudier les relations hydrauliques.

Pour cela, nous préconisons de réaliser des **groupes de trois piézomètres de profondeur différente** :

- un piézomètre **superficiel** (cote fond environ 250 m NGF). Les implantations pourront évidemment intégrer les piézomètres du plateau existants (notamment SAA) comme piézomètres superficiels.
- un piézomètre **intermédiaire**, tubé jusqu'à 250 m NGF et foré jusqu'à un niveau marneux supposé isoler le plateau ou, par défaut, jusqu'à une cote d'environ 230-235 m NGF.
- un piézomètre **profond**, foré légèrement sous le niveau théorique du miocène de base (environ 210-220 m NGF) mais pas plus profond pour minimiser la hauteur de l'intervalle. L'ouvrage sera tubé jusqu'à une cote équivalente au fond du piézomètre intermédiaire.

Rappelons que les cotes piézométriques qui seront obtenues de cette manière reflètent la charge moyenne de l'intervalle. La comparaison de ces valeurs à trois profondeurs différentes, pour des intervalles relativement petits, sera donc nettement plus instructive que celle provenant du seul doublet disponible (quelques mètres de hauteur mouillée pour PZ11 contre plus de 70 m pour PZ7).

Cette configuration permettra de réaliser des tests hydrauliques en interférence verticale (entre les piézomètres d'un groupe) et horizontale (entre les piézomètres de groupes voisins) dont l'interprétation devrait donner une vision beaucoup plus claire des écoulements.

Dans le cas de piézomètres crépinés sur une grande hauteur, l'utilisation de **diagrapies** (micromoulinet, sondes physico-chimiques) pendant et juste après les phases de pompage pourrait aussi donner des résultats intéressants, en localisant les principales venues d'eau ainsi que d'éventuelles circulations verticales.

D'une manière générale, il est regrettable que la pertinence des hypothèses émises dans la DDAE n'ait pas été évaluée par une tentative de quantification des débits. La société ANTEA dispose des codes de calcul numériques modernes (*MARTHE*, *TAFFETAS*), développés par le BRGM, qui auraient permis de vérifier la cohérence entre : très faible perméabilité au droit du site, existence et variabilité de niveaux perchés et leur déconnexion des aquifères plus profonds.

Nous insistons donc sur la nécessité de mettre en œuvre de tels outils. Les données disponibles, renforcées par celles issues de la phase de caractérisation complémentaire préconisée, donneront les éléments nécessaires à **l'élaboration d'un modèle hydrogéologique tridimensionnel**. Le principe d'un tel modèle est de simuler le fonctionnement du bassin d'alimentation du Lez en le conceptualisant au sein d'un petit bassin versant dont les limites devraient être aisées à déterminer (Lez, marnes bleues sous jacentes...). Il sera alors possible de **vérifier la validité des hypothèses émises** et de simuler le fonctionnement d'un CET avec les objectifs suivants :

- Evaluer l'impact de l'assèchement du plateau sur la ressource quantitative en eau en estimant la baisse des débits à des captages ciblés.

- Etudier la propagation d'une contamination consécutive à une défaillance des barrières passive et active de l'installation suivant différents scénarios (chroniques ou ponctuelles) et à différents points d'impact.

Enfin, le **système de contrôle** par un réseau de drains situés sous la couche compactée nous paraît complètement inadapté au caractère non-saturé de l'écoulement à ce niveau : il a une probabilité élevée de rester sec même en cas de défaillance sévère de la barrière hydraulique.

Ce système devra donc être repensé.

BIBLIOGRAPHIE

ADEME, 1999 : *Intercomparaison des méthodes de mesure des faibles perméabilités – Synthèse*. Guide technique de l'ADEME, Décembre 1999, 69 p. + 6 annexes.

DDAE, 2003a : *Projet de Centre de Traitement de déchets « Les chênes verts » - commune de Valréas (Vaucluse) – Volet géologique, hydrogéologique et géotechnique*. Rapport technique ANTEA pour la société Delta Déchets, réf. A28306-version B, Avril 2003, 69 p.

DDAE, 2003b : *Projet de Centre de Traitement de déchets « Les chênes verts » - commune de Valréas (Vaucluse) – Analyse de l'état initial – le milieu physique*. Rapport technique ANTEA pour la société Delta Déchets, réf. A28306-version B, Avril 2003, 69 p.

DDAE, 2003c : *Projet de Centre de Traitement de déchets « Les chênes verts » - commune de Valréas (Vaucluse) – Demande d'autorisation administrative*. Dossier Delta Déchets.

FETTER C.W., 1993 : *Contaminant hydrogeology*. McMillan, New-York, 458 p.

MARSILY G. de, 1986 : *Quantitative hydrogeology*. Academic Press Inc., San Diego, 439 p.

PAGOTTO C., BECHET B., BERTHIER E., DESCAT M., LANINI S., PARIS B., PIANTONE P., RAIMBAULT G., 2003 : *Impact environnemental de l'utilisation des MIOM en sous-couche routière : un modèle de transfert de polluants de la chaussée à l'aquifère*. Déchets Sciences et Techniques, numéro spécial - 4^{ème} trimestre 2003, 39-45.

PARIS B., ROBERTS R., 1997 : *Estimation de transmissivités par essais de puits et analyse de sensibilité*. Séances posters des Journées Scientifiques de l'ANDRA, Poitiers, 13-14 Octobre 1997 ; Bagnols/Cèze, 20-21 Octobre 1997 ; Bar-le-Duc, 27-28 Octobre 1997.

PHILIP J.R., 1989 : *The seepage exclusion problem for sloping cylindrical cavities*. Water Resour. Res. 25 (6), 1447-1448.