

# Evaluation des ressources en eau souterraine des systèmes aquifères karstiques des Corbières. Phase III – Démonstration de la ressource

d7-hta

89 3740.46 -625.5



BRGM/RP-57612-FR Novembre 2009







# Evaluation des ressources en eau souterraine des systèmes aquifères karstiques des Corbières. Phase III – Démonstration de la ressource

Rapport « final»

BRGM/RP-57612-FR Novembre 2009

P. Fleury, B. Ladouche, B. Dewandel, N. Dörfliger, P. Le Strat Avec la collaboration de G. Grunenwald, J-L. Izac et J. Cubizolles

#### Vérificateur :

Nom : Yvan Caballero

Date :

Signature :

### Approbateur :

Nom : Didier Pennequin

Date :

Signature :

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9 001:2000.





**Mots clés** : Corbières, Pyrénées Orientales, Aude, Robol, Mas de la Chique, systèmes karstiques, hydrogéologie, ressource en eau, forage, interprétation d'essais de pompage

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Fleury, P., Ladouche, B., Dewandel, B., Dörfliger, N., P. Le Strat, Grunenwald, G., Izac, J-L., Cubizolles, J., 2009. Evaluation des ressources en eau souterraine des systèmes aquifères karstiques des Corbières. Phase III – Démonstration de la ressource. Rapport « final». BRGM/RP-57612-FR, 148 p, 58 ill., 4 ann.

© BRGM, 2009, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

Ce projet intitulé « Evaluation des ressources en eau souterraine des systèmes aquifères karstiques des Corbières », phase III de démonstration, est un projet de recherche cofinancé par les Conseils Généraux des Pyrénées-Orientales et de l'Aude, par l'Agence de l'eau Rhône, Méditerranée & Corse, le Conseil Régional du Languedoc Roussillon et le BRGM (Projet cadre EAUR15 – R2EAU). Cette phase de démonstration fait suite à deux phases antérieures du projet (2001-2006), concernant la structure et le fonctionnement hydrogéologique de 6 systèmes karstiques dont celui du synclinal du Bas-Agly et des Corbières d'Opoul. A l'issue de ces deux phases, la ressource en eau souterraine de ce système a été évaluée ; elle est considérée comme importante avec 25 millions de m<sup>3</sup> de réserve et un débit moyen de 2.5 m<sup>3</sup>/s au niveau des exutoires côtiers (sources de Fontestramar et de Font Dame, situés au niveau de l'étang de Salses Leucate). Cette ressource, localisée au niveau de l'aquifère carbonaté karstique, provient d'une alimentation par les pluies au niveau de l'impluvium ainsi que par les pertes au niveau de l'Agly et du Verdouble.

Cet aquifère se développe au sein des calcaires massifs du Jurassique supérieur et du Crétacé inférieur. Ces formations ont été karstifiées principalement lors des périodes de bas niveau marin du Messinien (-5.5 Ma). La karstification a conduit au développement de réseaux karstiques. Les études géologiques et hydrogéologiques ont révélé que ces réseaux sont orientés vers les deux principales zones d'exutoires qui existaient à ce moment là : dans le secteur de Rivesaltes au niveau du flanc sud du synclinal et, d'autre part, à l'Est et au Nord Est des sources de Font Dame et Fontestramar. La zone des exutoires étant contaminée par des intrusions d'eau salée, il est nécessaire de capter cette ressource par forage en amont de l'intrusion saline. Le premier objectif de ce projet était ainsi de définir le lieu d'implantation du forage au niveau du secteur pressenti, à savoir la zone du synclinal du Bas-Agly. Le secteur du Mas de la Chique – Robol a ainsi été retenu en accord avec le Conseil Général des Pyrénées-Orientales. Le second objectif, consistait, à effectuer un suivi des travaux de forage (levé géologique notamment) et à réaliser les essais de pompage qui doivent permettre de caractériser l'ouvrage et l'aquifère à proximité du point de vue hydrogéologique. A l'issue de ce travail de terrain, l'ensemble des informations géologiques, géochimiques et hydrogéologiques ont été analysés afin d'apporter des éléments sur la structure et le fonctionnement de l'aquifère à proximité du forage ainsi qu'au point de vue plus régional.

Le présent rapport est organisé selon 5 chapitres. Après une introduction rappelant le contexte, les objectifs et l'état des connaissances géologiques et hydrogéologiques concernant le système karstique des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly, le chapitre 2 est consacré à la description de la réalisation du forage de reconnaissance dit de « Robol ». Les caractérisations de l'ouvrage, son log lithostratigraphique, son équipement, les diagraphies effectuées au sein de l'ouvrage sont décrites ; les observations géologiques sont replacées dans le contexte régional. Le forage de 503 m de profondeur a recoupé deux grandes séries, celles des calcaires du Crétacé

et celles des calcaires du Jurassique. Un dédoublement de la série est observé ; celuici est dû à la présence d'une faille normale, en cohérence avec le style tectonique régional. La tête de forage est constituée d'un tube d'acier cimentée sur dix mètres. Jusqu'à 90 mètres le forage est équipé d'un tube PVC cimenté afin d'éviter les arrivées d'eau peu profondes. Puis jusqu'à -503 m, le forage est en trou nu. La partie supérieure du forage a été équipée en PVC afin d'envisager une foration ultérieure en cas d'exploitation de l'ouvrage impliquant une reprise de la foration a un diamètre supérieur (réalésage). L'ouvrage a été réalisé dans les formations calcaires du Crétacé inférieur et du Jurassique supérieur. Trois zones d'anciens conduits colmatés par des remplissages karstiques ont été recoupées à 100, 320 et 420 m de profondeur. Les deux premières zones se sont révélées faiblement productives, alors que la troisième, plus profonde, a fourni des débits conséquents. A l'issu de la foration, le débit au soufflage était de 50 m<sup>3</sup>/h. L'ouvrage a ensuite été développé par injection d'acide (3 tonnes, puis 6 tonnes), le débit au soufflage passant alors à 200 m<sup>3</sup>/h.

Le troisième chapitre concerne la caractérisation hydrodynamique de l'ouvrage avec l'interprétation des essais de pompage. Les essais de pompage ont été réalisés à l'aide d'une pompe immergée disposée à 85 m de profondeur. Les résultats montrent que le drain recoupé par le forage à -420 m est un drain annexe connecté à un drain principal de grande dimension constituant une réserve probablement très importante. Cette réserve représente un débit équivalent estimé à plusieurs centaines de m<sup>3</sup>/h. L'interprétation des essais de pompage, intégrant les données acquises sur les piézomètres Roboul-CGE et du Mas de la Chique, ont permis, grâce à une triangulation, d'évaluer la position potentielle de cette réserve. Cette dernière se situerait ainsi à environ 100 m à l'Ouest du forage Robol. Le suivi réalisé sur les piézomètres et sources appartenant au système karstique montre que le pompage n'a pas impacté le système. Seuls les ouvrages du Mas de la Chique et de Roboul-CGE situé à proximité du forage Robol (distants de moins d'un km) ont réagi au pompage, montrant une connexion hyraulique locale entre ces trois points. De plus, aucune influence sur les débits des exutoires, source de Fontestramar et source de Fontdame, n'a été observé. Le débit cumulé des deux sources au moment des essais de pompage est de l'ordre de 2 m<sup>3</sup>/s (± 200 l/s). Le débit pompé au forage est 144 fois inférieur au débit cumulé des deux sources principales.

Le quatrième chapitre concerne l'interprétation des données hydrochimiques des échantillons d'eau prélevés avant et au cours de l'essai de pompage longue durée. Les analyses hydrochimiques montrent que l'eau sollicitée par pompage au forage Robol est de bonne qualité d'un point de vue chimique. Les eaux présentent un faciès bicarbonaté calcique à tendance sulfatée calcique. Les résultats des analyses isotopiques permettent de montrer que les eaux sollicitées par le forage Robol sont en connexion hydraulique et massique avec la zone des pertes de l'Agly.

Finalement, le cinquième chapitre propose une synthèse en guise de conclusion et des perspectives. Le forage du Robol réalisé dans le cadre de ce projet de démonstration a apporté des confirmations tant du point de vue géologique qu'hydrogéologique concernant la structure et le fonctionnement du système karstique du synclinal du Bas-Agly et des Corbières d'Opoul. Ainsi, à l'issue de ces travaux de reconnaissance par forage, il apparaît que le forage recoupe une réserve de bonne qualité provenant d'un

mélange d'eau du karst et des pertes de l'Agly. L'ouvrage actuel ne permet pas d'exploiter de façon optimale cette ressource potentiellement importante. Des pistes sont proposées afin de permettre l'utilisation de cette ressource. Elles consistent, soit à reprendre l'ouvrage actuel afin d'améliorer le drainage des réserves, soit à effectuer un nouvel ouvrage de reconnaissance dans le but de recouper les réserves potentiellement conséquentes identifiées.

Une note technique avec évaluation budgétaire a été rédigée dans ce sens et remise au Conseil Général des Pyrénées Orientales à la mi-novembre 2009.

# Sommaire

1.	Introduction	13
	1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE	13
	1.2. OBJECTIFS DE LA PHASE DE DEMONSTRATION	14
	1.3. ETAT DES CONNAISSANCES DU SYSTEME KARSTIQUE DES CORBIE D'OPOUL ET DU SYNCLINAL DU BAS AGLY	RES 15
	<ul> <li>1.3.1.Rappel du schéma structural du synclinal du Bas-Agly</li> <li>1.3.2.Résultat des études hydrogéologiques antérieures : rappel de la struc de l'aquifère et de son fonctionnement</li> </ul>	15 ture 20
	1.4. DEFINITION DU MODE D'EXPLOITATION	22
2.	Réalisation de l'ouvrage de reconnaissance dit Forage Robol	27
	2.1. REALISATION DU FORAGE ROBOL	27
	2.1.1.Caractéristiques de l'ouvrage	28
	2.1.2. Développement de l'ouvrage (soufflage / acidification)	29
	2.1.3.Résultats des diagraphies	30
	2.2. REALISATION DU LOG DE FORAGE	39
	2.2.1.Contexte géologique régional	39
	2.2.2.Méthode de réalisation du log géologique	41
	2.3. CONCLUSION	45
3	Caractérisation de l'ouvrage de reconnaissance et des propriétés	
0.	hydrodynamiques de l'aquifère	47
	3.1. ESSAIS DE POMPAGE	47
	3.1.1. Mise en œuvre des essais de pompage, protocole opératoire	47
	3.1.2. Mise en place du réseau d'observation	48
	3.1.3. Interprétation des essais par paliers	52
	3.1.4. Interprétation de l'essai longue durée	55
	3.2. RELATIONS HYDROGEOLOGIQUES ET HYDRAULIQUES AVEC LES	- 4
	POINTS APPARTENANT AU RESEAU PIEZOMETRIQUE DU CG 66	71
	3.2.1. Presentation du reseau de suivi	/1
	3.2.2. Analyse des chroniques et caracterisation des relations	12

6.	Bibliographie1	01
	5.2. PERSPECTIVES	98
	5.1. SYNTHESE DES CONNAISSANCES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES	97
5.	Conclusion et perspectives	97
	4.4. ORIGINE DES EAUX DU FORAGE ROBOL	93
	4.3. QUALITE DES EAUX DU FORAGE ROBOL	90
	4.2. MISE EN EVIDENCE ROLE JOUE PAR LES PHASES D'ACIDIFICATION	88
	4.1. DONNEES CHIMIQUES DISPONIBLES	87
4.	Caractérisation géochimique des eaux de l'ouvrage de reconnaissance	87
	3.3. SYNTHESE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE LOCAL	85
	3.2.3. Relation entre le forage et l'aquifère	84

## Liste des illustrations

Illustration 1. Carte du synclinal du Bas-Agly avec la localisation de la flexure du flanc nord (en rouge), des directions d'écoulement par essais de traçage (en vert) et les deux principales directions des plans de drainage issues de la méthode ERASO (rose de directions au centre de l'illustration) et points de suivi	. 16
Illustration 2. Coupe géologique interprétative entre Vingrau et Bompas au niveau du synclinal du Bas-Agly	. 17
Illustration 3. Délimitation du bassin d'alimentation du système karstique des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly	. 19
Illustration 4. Présentation schématique des différents termes du bilan hydrologique du système karstique des « Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly ». La recharge est constituée des précipitations pour 40 % et des pertes pour 60 %	. 19
Illustration 5. Schéma conceptuel du développement de la karstification au niveau du flanc nord du synclinal du Bas-Agly et de l'organisation des écoulements	. 22
Illustration 6. Réalisation du forage Robol	. 24
Illustration 7. Coupe géologique (Chamel et Le Strat, 2008)	. 25
Illustration 8. Plan de localication du forage de reconnaissance « Robol » à Salses-le- Château (66)	. 27

Illustration 9. Coupe technique du forage Robol, disposition de la pompe et niveaux piézométriques pendant les travaux	29
Illustration 10. Mise en œuvre des diagraphies sur le forage Robol à Salses-le-Château par Hydro Assistance	31
Illustration 11. Photographie du conduit principal recoupé à 420 mètres, sa hauteur est d'environ 20 cm	31
Illustration 12. Profil obtenu par la mesure de la résistivité dans le forage	33
Illustration 13. Résultats des diagraphies réalisées par Hydro Assistance sur le forage Robol	35
Illustration 14. Tableau récapitulatif des faciès lithologiques et des âges des formations présentes au niveau du synclinal du Bas-Agly (à partir de la note de la carte géologique de Rivesaltes)	39
Illustration 15. Log synthétique des faciès lithologiques présents au niveau du synclinal du Bas-Agly (notice de la carte Rivesaltes, N°1090, édition BRGM)	40
Illustration 16. Photographies des quatre principaux faciès lithologiques rencontrés	42
Illustration 17. Log géologique synthétique du forage Robol	44
Illustration 18. Profil sismique onshore du bassin du Roussillon et de la nappe des Corbières (Duvail et al., 2008).	46
Illustration 19. Caractéristiques des points suivis au cours de l'essai de pompage	50
Illustration 20.Carte de localisation des points suivis	51
Illustration 21. Evolution des rabattements, du débit, de la conductivité, de la température et du pH pendant l'essai de pompage par palier	52
Illustration 22. Estimation des pertes de charges par l'étude des couples débit- rabattement observés	54
Illustration 23. Evolution des rabattements, du débit, de la conductivité, de la température et du pH pendant l'essai de pompage longue durée (échelle des temps normale en haut et logarithmique en bas)	56
Illustration 24. Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation des pompages d'essai	57
Illustration 25. Disposition du puits et des piézomètres d'observation à proximité	58
Illustration 26. Rabattements spécifiques, dérivée logarithmique et conductivité électrique en fonction du temps	59
Illustration 27. Représentation des différents régimes d'écoulement	60
Illustration 28. Illustration et conditions du modèle de Nind	61
Illustration 29. Paramètres de calage et résultats des modélisations	62
Illustration 30. Simulation des rabattements au puits de pompage ; modèles analytiques de Theis et de Nind, logiciel d'interprétation : WinISAPE (BRGM) (échelle des temps normale en haut et logarithmique en bas)	63
Illustration 31. Chroniques piézométriques observée et corrigée sur le piézomètre Roboul CGE	65
Illustration 32. Tests d'évaluation de la position de la limite alimentée par rapport au piézomètre Roboul CGE	66

Illustration 33. Tableau des paramètres des modélisations pour l'évaluation de la position du piézomètre Roboul CGE par rapport à la structure plus perméable (paramètres du cas le plus pertinent)	67
Illustration 34. Résultats du test d'évaluation de la position de la limite alimentée	67
Illustration 35. Illustration des modélisations pour le calcul de l'orientation de la limite dans le plan (X, Puits, Y)	68
Illustration 36. Positions et orientations des deux limites issues des modélisations	69
Illustration 37. Résultats du suivi piézométrique observé sur le Mas de la Chique les 10 et 11 juin et calculé au moment du pompage pour l'irraigation (12 au 15 juin)	70
Illustration 38. Simulation des rabattements observés au Mas de la Chique	71
Illustration 39. Evolution de la piézométrie à Estagel	73
Illustration 40. Evolution des lâchérs de soutien du débit de l'Agly au barrage de Caramany	74
Illustration 41. Evolution de la piézométrie au point Roboul CGE	75
Illustration 42. Chronique de suivi piézométrique du Mas de la Chique, comparée aux chroniques du forage Robol et du piézomètre Roboul CGE	76
Illustration 43. Suivi du pompage du 5 juin au puits du Mas de la Chique	77
Illustration 44. Suivi piézométrique du Mas de la Chique au cours du pompage longue durée, comparé aux suivis du forage Robol et du piézomètre Roboul CGE	77
Illustration 45. Coupe synthétique du forage du Mas de la Chique, du forage Robol et du piézomètre Roboul CGE	79
Illustration 46. Evolution de la piézométrie et de la température à Espira-de-l'Agly	80
Illustration 47. Chronique de suivi du piézomètre de Salses	81
Illustration 48. Chronique de suivi du piézométre P102	81
Illustration 49. Chronique de suivi du piézométre P107	82
Illustration 50. Chronique de suivi de Fontestramar	83
Illustration 51. Chronique de suivi du piézomètre de Baixas	84
Illustration 52. Niveaux piézométriques au Mas Passe Temps et Vespeille	84
Illustration 53. Position des points d'eau échantillonnée et decrisption des principales phases de travaux sur l'ouvrage de Robol. Les niveaux piézométriques et les conductivité des eaux du forage Robol et du Piézomètre Roboul-CGE sont également reportés.	88
Illustration 54. Evolution des teneurs en Na des eaux du forage Robol en fonction des teneurs en Cl. Les eaux du forages Robol ont été replacées dans le contexte géochimique du système karstique du Bas Agly	89
Illustration 55. Paramètres chimiques [éléments majeurs et trace (Sr)] des eaux prélevées avant les phases d'acidification et évolutions pendant le pompage	90
Illustration 56. Signatures chimiques des eaux prélévées à 302 m de profondeur lors de la foration et des eaux prélevées lors de la phase de développement de l'ouvrage par	02
	<del>9</del> 2

## Liste des annexes

Annexe 1 Données des essais de pompage du forage Robol à Salses-le-Château	103
Annexe 2 Données des analyses hydrochimiques	113
Annexe 3 Rapport des diagraphies	125
Annexe 4 Etude des lames minces du sondage du Mas de la Chique	141

# 1. Introduction

### **1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE**

Ce projet intitulé « Evaluation des ressources en eau souterraine des systèmes aquifères karstiques des Corbières », phase III de démonstration, est un projet de recherche cofinancé par les Conseils Généraux des Pyrénées-Orientales et de l'Aude, par l'Agence de l'eau Rhône–Méditerranée et Corse, le Conseil Régional du Languedoc Roussillon et le BRGM (Projet cadre EAUR15 – R2EAU). Cette phase de démonstration fait suite à deux phases antérieures du projet (2001-2006), concernant la structure et le fonctionnement hydrogéologique de 6 systèmes karstiques dont celui du karst des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly.

Ce projet a été motivé par la demande des Conseils Généraux des Pyrénées Orientales et de l'Aude au vu des problèmes de ressource en eau auxquels est confronté un certain nombre de collectivités :

- qualité et quantité de la ressource [contaminations salines et risque d'intrusion saline au niveau de la plaine du Roussillon; contamination bactériologique épisodique au niveau de l'étang de Salses-Leucate; importance de l'alimentation de l'étang par les eaux souterraines karstiques et importance de connaître l'extension du bassin d'alimentation du système karstique contributif; rôle des pertes de l'Agly et du Verdouble dans l'exploitation du barrage de l'Agly et dans le recharge du système karstique des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly];
- **sécurisation de l'approvisionnement en eau potable** pour les besoins futurs, notamment de la plaine et le littoral du Roussillon.

La méthodologie de caractérisation des systèmes karstiques mise en œuvre dans le but d'évaluer leurs ressources et de proposer des éléments de gestion de la ressource se compose de plusieurs phases telles que décrites ci-dessous (Bakalowicz, 1999) :

- (i) phase d'identification : type de système (fissuré, karstique fonctionnel ou karstique non fonctionnel) et mise en évidence de la présence de réserves au niveau de la zone noyée, définition de l'extension du bassin d'alimentation du système karstique. Les méthodes utilisées sont celles de la géologie structurale et litho-stratigraphique, ainsi que des méthodes spécifiques à l'hydrogéologie karstique avec l'analyse des débits classés, l'analyse des courbes de récession et l'inventaire des phénomènes endo-karstiques et exo-karstiques ;
- (ii) phase de caractérisation : il s'agit de déterminer si les ressources du système sont suffisantes pour une exploitation, les réserves importantes, leur qualité convenable et si ces réserves autorisent une surexploitation temporaire. L'objectif de cette phase est ainsi de définir les caractéristiques de la zone noyée à partir de l'étude des débits, des traçages naturels et artificiels. Elle s'appuie sur des

méthodes d'analyse statistique des relations pluies-débits, de décomposition d'hydrogramme. L'analyse des hydrogrammes est conduite à l'échelle de plusieurs cycles hydrologiques (> 2). L'analyse des données hydrochimiques et isotopiques de l'eau permet de définir l'origine des eaux, son temps de séjour ainsi que les conditions d'écoulement (libre, en charge, présence d'un épikarst, nature de la connexion hydraulique avec la zone noyée);

- (iii) phase de démonstration : il s'agit de définir le mode d'exploitation le mieux adapté à la structure du système étudié. Selon la structure et le fonctionnement du système, selon si le système possède des réserves mobilisables ou non, un conduit pénétrable au niveau de son exutoire, l'exploitation du système pourra être envisagée soit à partir de forages, de pompages sollicitant les réserves, soit encore au moyen de barrage souterrain créant une réserve.

Les précédentes études réalisées sur l'aquifère karstique des Corbières d'Opoul et du Synclinal du Bas-Agly ont permis de réaliser les deux premières phases de cette méthodologie, à savoir d'identification et de caractérisation. Les principaux résultats sont consignés dans les rapports de la phase 1 et de la phase 2 (BRGM RP-52918\_FR, BRGM RP-52919-FR et BRGM RP-54708\_FR). Ainsi le fonctionnement hydrogéologique global du karst des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly a été défini et la ressource en eau souterraine provenant d'une alimentation par les pluies au niveau de l'impluvium mais aussi d'une alimentation par les pertes au niveau de l'Agly et du Verdouble a été évaluée. Elle est considérée comme importante avec 25 millions de m<sup>3</sup> de réserve. Le débit moyen des exutoires de ce système est de 2.5 m<sup>3</sup>/s. Ces exutoires côtiers sont les sources de Fontestramar et Font Dame, situées au niveau de l'étang de Salses Leucate. Ils sont caractérisés par des eaux du système karstique avec des eaux de l'étang de Salses Leucate, rendant l'eau impropre à la consommation.

Le présent projet concerne la phase de démonstration ; il fait suite aux phases d'identification et de caractérisation mises en œuvre sur le système karstique des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly.

### **1.2. OBJECTIFS DE LA PHASE DE DEMONSTRATION**

Les précédentes études ont permis de caractériser la structure et le fonctionnement global de ce système. Cet état des connaissances est présenté ci-après. Toutefois dans ce contexte de salinisation de la ressource en eau, il est apparu important de caractériser cette ressource non plus de façon globale mais beaucoup plus localement, en amont de la salinisation. C'est cette nouvelle caractérisation qui est envisagée au cours de la présente étude. Elle devra ainsi à partir de l'implantation d'un forage au niveau de l'aquifère karstique des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly améliorer la connaissance du fonctionnement hydrogéologique dans la partie amont du réservoir, avant les échanges avec le milieu marin. L'analyse des résultats de cette étude permettra de proposer des solutions pour assurer un développement durable et respectueux de l'environnement et pour sécuriser l'approvisionnement actuel et assurer les besoins futurs en eau potable.

### 1.3. ETAT DES CONNAISSANCES DU SYSTEME KARSTIQUE DES CORBIERES D'OPOUL ET DU SYNCLINAL DU BAS AGLY

### 1.3.1. Rappel du schéma structural du synclinal du Bas-Agly

Le synclinal du Bas-Agly appartient aux unités internes de la zone nord-pyrénéenne, caractérisée par la présence des formations géologiques du Crétacé inférieur, du Malm et du Lias-Dogger. Les unités internes sont séparées des unités externes au nord par le chevauchement de Vingrau.

Les Corbières d'Opoul et le synclinal du Bas-Agly résultent du charriage de nappes intervenant au cours de l'Eocène. Le paroxysme tectonique d'âge bartonien (Eocène supérieur) a eu pour conséquence de déplacer d'épaisses formations calcaromarneuses ; ces formations ont été décollées de leur substratum et déplacées du Sud-Est vers le Nord-Ouest lors de la phase de serrage de la zone axiale des Pyrénées (zone interne métamorphique). Le Trias et le Jurassique inférieur (Lias inférieur) ont joué le rôle de semelle de décollement.



Illustration 1. Carte du synclinal du Bas-Agly avec la localisation de la flexure du flanc nord (en rouge), des directions d'écoulement par essais de traçage (en vert) et les deux principales directions des plans de drainage issues de la méthode ERASO (rose de directions au centre de l'illustration) et points de suivi

Ces formations sont structurées au sein du synclinal du Bas-Agly qui présente deux flancs dissymétriques :

- le flanc sud est très redressé, avec même des pendages inverses. Il affleure depuis l'Ouest d'Espira-de-l'Agly et s'ennoie sous les formations plio-quaternaires vers Rivesaltes,
- le flanc nord présente un pendage plus faible. Il s'étend depuis Espira-de-l'Agly à l'Ouest (fermeture synclinale à l'affleurement) jusqu'à l'étang de Salses-Leucate à l'Est.

L'axe du synclinal suit une direction E-W à ENE-WSW et plonge vers l'Est. Pincé dans le secteur d'Estagel, il s'évase au niveau de la plaine du Roussillon.



Illustration 2. Coupe géologique interprétative entre Vingrau et Bompas au niveau du synclinal du Bas-Agly

Ces deux flancs ont été karstifiés principalement lors des périodes de bas niveaux marins du Messinien (-5,5 Ma). Cette karstification a conduit au développement, à cette époque, de réseaux karstiques orientés vers les deux principales zones d'exutoire des eaux souterraines de l'ensemble carbonaté qui existaient à ce moment là. Ces zones d'exutoire étaient situées au droit de l'intersection de chacun des flancs du synclinal avec la paléotopographie : d'une part dans le secteur de Rivesaltes et, d'autre part, à l'Est et au Nord-Est des sources de Font Dame et Fontestramar. L'altitude de ces paléo exutoires a été définie lors de la Phase II de cette étude, à partir de la carte de l'incision Messinienne (BRGM/RP-52919-FR). Ces altitudes sont en relation avec des profondeurs de karstification d'environ 300 à 400 m sous le niveau actuel de la mer. Il est donc peu probable que les calcaires soient karstifiés au droit de l'axe du synclinal. Ces anciens exutoires étaient très vraisemblablement alimentés par les précipitations d'une part et par les pertes des cours d'eau de l'époque d'autre part. L'Agly n'avait ainsi très probablement pas de cours pérenne en surface, au moins entre la zone des pertes actuelles et Rivesaltes.

Suite à une analyse des éléments structuraux de type diaclases et stylolithes totalisant quelques 300 mesures, les plans de drainage des eaux souterraines ont été déterminés. Deux directions prépondérantes ressortent (Illustration 1) : N45°-N75° et N105°-N135°. Les plans se développent de manière prépondérante verticalement à sub-verticalement. Il existe cependant des plans à pendage plus faible compris entre 10 et 30°. Le réseau karstique qui se développe au niveau du synclinal du Bas-Agly serait ainsi de type anastomosé comme en témoigne le réseau noyé de Fontestramar, affecté néanmoins de deux directions dominantes. Ces deux directions sont cohérentes avec la faille de Prades (N40°) et la faille nord-pyrénéenne (N90°). Les directions d'écoulement mises en évidence notamment par les essais de traçage, sont WSW-ENE entre les pertes du Verdouble et de l'Agly et l'exutoire principal et pour les connexions entre le Roboul ou l'aven des Amandiers et l'exutoire.

L'aquifère karstique comporte donc **deux principaux axes de drainage** qui coïncideraient respectivement avec **les flancs nord et sud du synclinal du Bas Agly** (Illustration 1). Le forage de Cases de-Pène et l'aven de Baixas sont très vraisemblablement tous deux situés sur l'axe de drainage du flanc sud ou tout au moins très bien connectés à ce système de conduits. Les variations piézométriques du forage CGE Roboul ainsi que du piézomètre de la Combe Française semblent indiquer une bonne connexion hydraulique avec un axe de drainage à proximité.

La superficie de l'impluvium des calcaires affleurants permettant la recharge par les précipitations est d'environ 165 km<sup>2</sup>. Ce bassin est délimité à partir des connaissances géologiques et des connexions hydrauliques prouvées ou supposées par essais de traçage artificiels. Les limites de l'impluvium des calcaires affleurant sont les suivantes :

- au Nord-Est, les fenêtres tectoniques sur le Trias ;
- au Nord et Nord-Ouest, la limite a été établie sur le contact des calcaires avec le Lias marneux ;
- à l'Ouest, les calcaires affleurant autour de Paziols sont isolés hydrauliquement par des failles les mettant en contact avec les marnes aptiennes; le front de chevauchement et le tracé du Verdouble marquent une limite nord au bassin;
- au Sud, le flanc sud du synclinal du Bas-Agly est en contact avec les marnes du Lias;
- et au Sud-Est, le karst s'enfonce sous les matériaux plio-quaternaires du bassin du Roussillon ; en outre la formation carbonatée est cisaillée et abaissée par le jeu de la faille de Prades.



Illustration 3. Délimitation du bassin d'alimentation du système karstique des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly

Un bilan hydrologique des flux à l'échelle du système karstique avait été réalisé au cours de la phase I ; les principaux éléments sont présentés dans l'Illustration 4. La somme des sorties correspond à 3000 l/s, avec 550 l/s d'apport du karst aux formations du Plio-Quaternaire. Au vu des résultats des analyses géochimiques, la contribution des eaux salées de l'étang aux exutoires du système serait équivalente à 210 l/s.



Illustration 4. Présentation schématique des différents termes du bilan hydrologique du système karstique des « Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly ». La recharge est constituée des précipitations pour 40 % et des pertes pour 60 %

Les principaux exutoires actuels de l'aquifère sont :

- sur le flanc nord de l'anticlinal, les sources de Font Dame et Fontestramar, situées à la cote 1 à 2 m NGF,
- en très hautes eaux, des émergences temporaires apparaissent sur le flanc sud du synclinal, au sein duquel aucune source pérenne n'est connue. Ces sources temporaires existent en particulier au niveau de l'aven de Baixas (72 m NGF environ) ainsi qu'aux alentours du forage de Cases-de-Pène (55 m NGF environ) en très hautes eaux, les pertes de l'Agly sembleraient aussi pouvoir fonctionner en exutoire temporaire.

Les écoulements au sein de l'aquifère se font donc essentiellement :

- au sein du flanc nord du synclinal, des pertes de l'Agly, du Verdouble et d'Opoul, et des eaux des précipitations directement infiltrées, (i) d'une part vers les sources de Font Dame, Fontestramar et les autres sources au débit beaucoup plus faible du secteur de Salses (ces sources sont très probablement situées sur des systèmes annexes au principal axe de drainage) et (ii) d'autre part par des apports diffus des formations karstiques aux aquifères sédimentaires du Plio-Quaternaire, au contact entre les deux formations, c'est-à-dire à l'Est et au Sud-Est des sources de Font Dame et Fontestramar,
- **au sein du flanc sud du synclinal**, des pertes de l'Agly et du Verdouble, et des eaux des précipitations directement infiltrées, vers les sources temporaires de Cases-de-Pène et Baixas et, de manière diffuse, des formations karstiques vers l'aquifère du Plio-Quaternaire dans le secteur de Rivesaltes.

Hors périodes de crues, le rôle de barrage joué par les formations plio-quaternaires limite très significativement les flux au sein du flanc sud du synclinal. L'essentiel des écoulements se dirige donc vers les sources de Font Dame et Fontestramar. En effet, l'ensemble des apports du karst aux formations sédimentaires est évalué à 550 l/s au total - secteurs de Rivesaltes d'une part et de l'étang de Salses d'autre part – avec sans doute au plus quelques dizaines de litres par seconde dans le secteur de Rivesaltes (apports du flanc sud du synclinal). Les vitesses d'écoulement des eaux au sein du flanc sud du synclinal sont très probablement beaucoup plus lentes, en étiage, qu'au sein du flanc nord, l'essentiel des flux s'y produisant en hautes eaux période pendant laquelle les sources temporaires sont actives.

# 1.3.2. Résultat des études hydrogéologiques antérieures : rappel de la structure de l'aquifère et de son fonctionnement

Du point de vue du fonctionnement de ce système karstique et des réserves mobilisables, les principales caractéristiques sont les suivantes :

 la zone noyée du système karstique des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly apparaît comme étant bien drainée et bien connectée, d'un point de vue hydraulique, d'une part, à l'épikarst qui constitue le siège de l'infiltration des pluies et, d'autre part, à la zone d'alimentation par les pertes. Le transfert des impulsions lors des périodes de crue s'effectue de manière rapide, le pic de crue se produisant en moyenne 35 heures après un épisode pluvieux. Ce faible décalage est en accord avec des écoulements qui se produiraient au sein d'un réseau de conduits karstiques noyés dans un système en charge,

- le comportement hydrodynamique du système karstique est différent en période de crue et d'étiage ; ce changement de comportement est lié à l'alimentation du système par les pertes de l'Agly et du Verdouble. En période de crue, les conditions de sortie des eaux apparaissent favorisées ; ceci peut être expliqué d'une part par une capacité de stockage du karst proche de la saturation et d'autre part par une mise en charge d'une partie du karst utilisant un réseau plus transmissif pour évacuer les eaux. De plus, les formations du Plio-Quaternaire au contact avec les calcaires dans la zone d'émergence des sources jouent un rôle important dans la dynamique des écoulements du système karstique. Les formations sédimentaires moins transmissives jouent le rôle d'un bouchon poreux et constituent un frein à l'écoulement ; les sources de Fontestramar et de Font Dame apparaissent ainsi comme des sources de trop plein pour le système karstique des Corbières d'Opoul et du Bas-Agly,
- la taille du réservoir a été estimée à une valeur de 70 millions de m<sup>3</sup> environ. Le volume dynamique (estimateur du volume des réserves par défaut), déduit de l'analyse des courbes de récession est estimé à 25 (±6) millions de m<sup>3</sup>. Le pouvoir régulateur (rapport des deux volumes) est ainsi de 0,36,
- les modélisations inverses des relations pluie-débit ont permis de quantifier l'importance du rôle joué par les pertes dans le fonctionnement du système karstique. La contribution des pertes apparaît très importante avec une valeur de 60 % à l'échelle de la période d'observation et intervient très majoritairement lors des périodes d'étiage ou de récessions. L'anomalie thermique observée à la source et la caractérisation de la composante pré-événementielle (eau chaude et minéralisée) par la modélisation, ont permis de montrer que les circulations profondent contribuent pour 60 % à l'écoulement des sources (BRGM RP-52919-FR). Ces résultats suggèrent que l'eau qui s'infiltre au niveau des pertes circule en profondeur au sein du système karstique,
- les sources de Font Dame et Fontestramar présentent une salinité significative. Les eaux salées proviennent en grande majorité de l'Etang de Salses. Elles pourraient pénétrer au sein de l'aquifère par des conduits (à dominante verticale), de plusieurs dizaines, voire quelques centaines de mètres de profondeur. Ces conduits seraient similaires à ceux qui sont à l'origine des sources de Font Dame et Fontestramar, situés eux aussi sur le ou les anciens axes de drainage karstique, de direction générale Sud-Ouest Nord-Est. Ces conduits fonctionneraient principalement en absorption, au lieu de fonctionner en exutoire comme les sources (certains d'entre eux pourraient temporairement fonctionner en exutoires du système karstique étudié ou de systèmes périphériques). Les axes de drainage seraient relativement profonds, et d'autant plus profonds que l'on se déplace vers l'Est. Il en résulte que les salinités les plus importantes (et la thermalité la plus forte des eaux) sont observées :
  - · dans l'espace, de manière prépondérante au niveau des exutoires situés les plus à l'Est (Fontestramar et, dans une moindre mesure Font Dame), les

sources et forages du secteur de Salses étant très significativement moins affectés,

 dans le temps, en période de charges hydrauliques élevées (et, plus précisément, en période d'apports importants au karst par les pertes), qui permettent de générer des lignes de courant plus profondes qu'en périodes de faibles charges hydrauliques, ce qui provoque la mobilisation des eaux chaudes et salées.

Ainsi, le système karstique des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly est le siège de deux types d'écoulements, tels que décrits ci-dessous et représentés sur le schéma simplifié, avec d'importantes réserves :

- des écoulements « locaux », qui caractérisent l'eau froide et peu minéralisée infiltrée sur les calcaires affleurant, avec des réponses rapides en moins de deux jours et une décroissance du pic de crue sur une vingtaine de jours,
- des écoulements « régionaux » qui concernent les circulations profondes, chaudes et minéralisées, en raison d'une contamination d'eau en provenance de l'étang de Salses-Leucate. L'alimentation par les pertes du Verdouble et de l'Agly joue un rôle prépondérant sur l'organisation des écoulements profonds du système karstique.



Illustration 5. Schéma conceptuel du développement de la karstification au niveau du flanc nord du synclinal du Bas-Agly et de l'organisation des écoulements

### **1.4. DEFINITION DU MODE D'EXPLOITATION**

Le fonctionnement du système karstique des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly indique la présence de circulations profondes, le rôle important des pertes de l'Agly et du Verdouble participant à l'alimentation et aux écoulements régionaux, ainsi qu'une contamination par des eaux salées liée à l'intrusion des eaux saumâtres de l'étang de Salses-Leucate. La structure du système est liée à la géométrie du synclinal du Bas-Agly, qui influence le développement des axes de drainage souterrains tant au niveau du flanc sud qu'au niveau du flanc nord du synclinal. Le forage de Cases-de-Pène situé sur le flanc sud du synclinal est situé sur un point de débordement du système en période de hautes eaux. La démonstration de la ressource sur ce flanc a été réalisée avec la mise en œuvre d'un essai de pompage lors de l'été 2002.

Le développement de la karstification a été influencé par les variations de niveau de base au cours des périodes géologiques, donnant lieu à des développements verticaux lors des périodes de chute (régression) et lors des périodes de transgression ou de stabilité le développement, de réseaux horizontaux. Ainsi, selon les informations géologiques, spéléologiques, géochimiques et géothermiques, on peut supposer la présence de niveaux de karstification à trois profondeurs : -30 à -50 m ; -120 m et > -300 m sous le niveau de la mer. Les analyses géochimiques (géothermomètre de la silice) indiquent que le réservoir est profond de plus de 400 mètres, les eaux semblent alors être stockées dans les réseaux karstiques développés le plus en profondeur (Ladouche & Dörfliger et al., 2004).

Selon la méthodologie de caractérisation des systèmes karstiques, la phase de démonstration est réalisée en implantant un forage sur un drain ou sur un système annexe au drainage au niveau du secteur de décharge du système (zone de l'exutoire). La localisation du drain pour l'implantation d'un forage est de manière générale effectuée à partir de données topographiques d'un réseau de conduits issues d'exploration spéléologique. Dans le cas présent de la phase de démonstration de la ressource du système karstique des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly, les caractéristiques du système du point de vue de la salinité ne permettent pas de procéder à la réalisation d'un forage au niveau du réseau karstique reconnu.

En effet, si les réserves du système karstique du synclinal du Bas Agly sont importantes, elles sont affectées par une intrusion saline dans la zone exutoire du système. Aussi ce système est caractérisé par deux principaux axes de drainage souterrain, dont l'un au niveau du flanc nord est de direction globale N°45-75°, entre la zone des pertes et les exutoires. Par conséquent, la mobilisation de la ressource doit inévitablement se faire à l'aide d'un forage de reconnaissance située à **l'amont de la zone d'influence de l'intrusion saline, au niveau du flanc nord du synclinal du Bas-Agly et à proximité de l'axe de drainage supposé**. Le site du Mas de la Chique a ainsi été retenu comme site de réalisation d'un forage de démonstration (Illustration 6). En effet cette zone est située sur l'axe de drainage Nord (Illustration 1), l'un des deux axes de drainage du système, comme l'a montré l'étude des chroniques du piézomètre CGE Roboul, mais aussi les informations déduites des essais de traçage. Enfin, au niveau du site du Mas de la Chique, les calcaires sont affleurant, ce qui permet de recouper d'éventuels réseaux karstiques à faible profondeur.



Illustration 6. Réalisation du forage Robol

Ce site du Mas de la Chique est à la cote 70 m NGF. D'après les profondeurs de karstification estimées (Illustration 5) le forage doit donc atteindre 500 m de profondeur pour espérer les recouper, ce qui représente une profondeur de 430 m sous le niveau de la mer.

Une coupe NNW-SSE passant par le Mas de la Chique a été réalisée. Elle semble confirmer la continuité du réservoir calcaire au droit du site du Mas de la Chique, constitué à la fois par les calcaires du Crétacé inférieur et par les calcaires du Jurassique supérieur. La présence de grands accidents (failles normales) implique des dédoublements des séries, occasionnant une série calcaire continue sur une épaisseur de plus de 1000 m, épaisseur supérieure au potentiel de karstification régional établi (Illustration 5). Cette coupe sera critiquée au droit du Mas de la Chique, à l'issue de la réalisation du log de forage. Ce dernier sera établi à partir des cuttings et des observations effectuées lors de la réalisation de l'ouvrage.



Illustration 7. Coupe géologique (Chamel et Le Strat, 2008)

# 2. Réalisation de l'ouvrage de reconnaissance dit Forage Robol

## 2.1. REALISATION DU FORAGE ROBOL

Ce forage de reconnaissance est situé sur la commune de Salses-le-Château à 5 km à l'Ouest du village, sur une parcelle de garrigue en bordure du cours d'eau temporaire du Roboul et à proximité du lieu-dit du Mas de la Chique.



Le code BSS attribué par le BRGM est le suivant : 10904X0116/ROBOL

Illustration 8. Plan de localication du forage de reconnaissance « Robol » à Salses-le-Château (66)

Les caractéristiques détaillées de l'implantation du forage sont les suivantes :

- Département : Pyrénées Orientales
- Commune : Salses-le-Château
- Référence cadastrale : Lieu dit : Mas de la Chique / Section : B / N : 187
- Coordonnées approximatives en Lambert 2 étendu :
  - X = 642 580 m
  - Y = 1 757 700 m
  - Z = 70 m NGF

### 2.1.1. Caractéristiques de l'ouvrage

Le forage a été réalisé par l'entreprise FORAGE MASSE. Le forage réalisé au Marteau Fond de Trou (MFT) a débuté le 17 mars 2009 et s'est achevé le 6 mai 2009. Réalisé dans les formations calcaires du Jurassique et du Crétacé, il atteint 503 m de profondeur. La tête de forage est à environ + 70 m NGF, la cote atteinte est ainsi à - 433 m NGF. Le forage est constitué d'une tête de forage, d'une partie tubée afin d'éviter les arrivées d'eau superficielles et d'un trou nu. Les caractéristiques de ces trois parties sont précisées ci-dessous et récapitulées dans l'Illustration 9 :

- Tête de forage :
  - · Profondeur : 0 à 10 m
  - · Diamètre de foration : 600 mm
  - Tubage : conduite acier non crépinée, diamètre 445 mm
  - · Cimentation
- Partie tubée :
  - · Profondeur : 10 à 90 m
  - · Diamètre de foration : 311 mm
  - Tubage : conduite PVC non crépinée, diamètre 244 mm
  - · Cimentation
- Trou nu
  - · Profondeur : 90 à 503 m
  - · Diamètre de foration : 222 mm
  - · Tubage : néant
  - · Cimentation : néant

La coupe technique de l'ouvrage est présentée dans l'Illustration 9.



Illustration 9. Coupe technique du forage Robol, disposition de la pompe et niveaux piézométriques pendant les travaux

## 2.1.2. Développement de l'ouvrage (soufflage / acidification)

Le soufflage consiste à injecter de l'air sous pression au fond du forage. Il a pour effet de faire circuler l'eau arrivant dans l'ouvrage et de la faire remonter très rapidement (effet uplift). Cette technique permet ainsi à l'eau sous pression de nettoyer l'ouvrage et les éventuels conduits et réseaux de fissures colmatés rencontrés lors de la foration. Le soufflage a été réalisé durant la foration, puis à nouveau alors que le trou était achevé. A l'issue de cette phase de développement au soufflage (13/05/2009), le débit au soufflage était d'environ 100 m<sup>3</sup>/h. Ce soufflage a été réalisé avec injection d'air à 500 m de profondeur ; c'est donc l'ensemble de la colonne d'eau qui est sollicitée.

L'ouvrage a ensuite été développé par injection d'acide chlorhydrique en deux phases distinctes. L'injection a été réalisée sous pression à l'aide d'une canne placée à 430 m de profondeur, au niveau de la dernière zone karstifiée rencontrée (la plus productive), 3 tonnes d'acide ont été injectées. A l'issue de cette première acidification (19/05/2009), le développement au soufflage a été poursuivi et le débit au soufflage a atteint 100 m<sup>3</sup>/h. Au cours de la seconde acidification (26/05/2009, 6 tonnes d'acide injectées), le débit à atteint 200 m<sup>3</sup>/h après développement au soufflage.

A l'issue du développement par acidification, un soufflage a été réalisé à 190 m, il a produit un débit de 150 m<sup>3</sup>/h. Un second soufflage a ensuite été réalisé à 90 m, produisant un débit associé de 70 m<sup>3</sup>/h.

### 2.1.3. Résultats des diagraphies

Des diagraphies ont étés réalisées en deux phases, d'abord le 6 avril 2009 puis les 2 et 3 juin 2009, par l'entreprise Hydro Assistance (Illustration 10). Le rapport des diagraphies est fourni en annexe 3. Les niveaux piézométriques avant la diagraphie étaient de -4,41 m lors de la première phase, puis de -43.51 m lors de la seconde phase. Les diagraphies suivantes ont été réalisées :

- Diagraphie de production naturelle :
  - Température, conductivité, flux : de 80 à 500,9.
- Diagraphie de production en pompage (pompe de diamètre 8", positionnée à 82 m de profondeur, débit pompé compris entre 45,5 et 48,6 m<sup>3</sup>/h, ) :
  - Température, conductivité, flux : de 80 à 499,8 m.
- Autres diagraphies :
  - · Résistivités RLLS et RLLD : de 11 à 503,2 m.
  - · Gamma-Ray : de 0 à 500,5 m.
  - · Sonic : de 44,6 à 497,6 m.
  - Diamétreur : de 85,3 à 499,8 m.



Illustration 10. Mise en œuvre des diagraphies sur le forage Robol à Salses-le-Château par Hydro Assistance

Les résultats synthétiques des diagraphies sont fournis dans l'Illustration 13.

### Examen endoscopique

L'examen endoscopique de l'ouvrage a permis une observation de la roche en place ainsi qu'une localisation précise des zones de fissures et des cavités. Le conduit principal recoupé à 420 mètre a pu ainsi être caractérisé par une cavité importante (Illustration 11).



Illustration 11. Photographie du conduit principal recoupé à 420 mètres, sa hauteur est d'environ 20 cm

La vidéo a également permis de mettre en évidence le doublement de la série, notamment par l'observation de calcaires très blancs caractéristiques du Jurassique supérieur (Tithonien) à des profondeurs de 240 et 472 mètres (Annexe 3).

#### Les diagraphies de production naturelle

Les profils enregistrés en régime statique révèlent l'existence d'un flux naturel ascendant se produisant depuis la profondeur de 420 mètres, pour se réinjecter au droit de niveaux producteurs déprimés situés aux environs de 278 puis 115 mètres.

#### Les diagraphies en pompage

Une mesure de flux a été réalisée à un débit de pompage moyen de 45,5 m<sup>3</sup>/h. La dépression produite par 1h10 de pompage (au début de la diagraphie) a permis de répartir la distribution des arrivées d'eau de la manière suivante :

- 2,2 % du débit sont produits entre 90,50 et 206 mètres ;
- 31,9 % du débit sont produits entre 206 et 402,50 mètres ;
- 14,3 % du débit sont produits entre 402,50 et 419,30 mètres ;
- 41,6 % du débit sont produits entre 419,30 et 421,90 mètres ;
- 2,2 % du débit sont produits entre 421,90 et 502,10 mètres.

### Diagraphies différées

Les différents types de diagraphies différées réalisées dans le forage Robol sont :

- gamma-ray (très bon marqueur de l'argilosité) ;
- sonique (très bon marqueur de pôles carbonatés) ;
- résistivité (bon indicateur des changements de lithologie).

Le profil obtenu par la diagraphie gamma-ray (très bruité) et celui obtenu par la diagraphie sonique (peu contrasté) n'ont pas pu être exploités (voir Annexe 3).

Le profil obtenu par résistivité a, quant à lui, révélé des contrastes marqués entre les blocs calcaires et les niveaux karstifiés plus argileux. Il a également permis de mettre en évidence doublement de série marqué par des signatures de résistivité similaires à des profondeurs différentes (Illustration 12).



Illustration 12. Profil obtenu par la mesure de la résistivité dans le forage

De 90 à 200 mètres environ, la résistivité est caractéristique d'un horizon calcaire altéré, marqué par de nombreuses fissures fermées, mises également en évidence par la vidéo. Un signal similaire a été enregistré de 320 à 420 mètres.

Ce signal est dans les deux cas suivi d'un signal plus contrasté, d'une épaisseur de 30 mètres, caractéristique de passées argileuses, révélatrices de l'existence de fissures ouvertes et de cavités où se sont agglomérés des sédiments de remplissage karstique.

A partir de 240 et de 460 mètres, un signal plus homogène de plus forte résistivité est enregistré. Il est caractéristique d'un horizon calcaire plus compact.

La répétition de l'enchaînement de ces trois signaux séparé de 80 mètres environ suggère un redoublement de séries. L'étude de la géologie locale ainsi que l'analyse des cuttings du forage vont venir compléter les résultats de ces diagraphies afin de dresser le log géologique de l'ouvrage et confirmer ou non cette hypothèse.
## HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

### Commune : Salses-le-château (66)

Forage : "Robol"

DIAGRAPHIES DIFFEREES - DIAGRAPHIES DE PRODUCTION NA Résistivités laterolog shallow et deep (RLLS - RLLD) - Mesure Gamma Ray - Mesure Sonic - Contôle de diamêtre Conductivités corrigées à 25°C - Pompage au débit moyen de 45.5 m3/h COUPE LITHOLOGIQUE RLLS Diamètre en X Gamma Ray Metres Sonic (ohm.m) 2000 50 (km/sec) 300 0 0 50 0 (cps) (mm) Diamètre en Y 0 50 50 300 0 0 (mm) -20 Calcaire gris/blanc -40 -60 -70 -80 Calcaire blanc à jaune fin -100 -105. Remplissage karstique (faille) March March March March -120 -120. -140 ------160 Calcaire gris "souris" MUNIMAN -180 --200 -5 ž -220 -222 Calcaire rose/blanc recristallisé, calcite -234. -240 Calcaire gris "souris" -250 E -260 -280 Mundal I Calcaire gris foncé MIN -300 -310. 숮 Remplissage karstique (faille) Z 4 -320 -320. -E -MAN -340 Calcaire gris foncé WILLIAM ANAL -360 A A -370. -380 la la Calcaire gris "souris" -400 Mar and -420 -420. Remplissage karstique -430. (faille) ALL UN -440 -Calcaire gris "souris" -460 470. LALKUNNA. -Andrew -480 Calcaire blanc

-500.	 -500 🐔 🔰 🔒

Illustration 13. Résultats des diagraphies réalisées par Hydro Assistance sur le forage Robol



	. COUPE T	ECHNIQUE SCHEMATIQUE	Ten	Temp naturelle					Cond naturelle			Débit calc nat						
	Repère des m	esures : sommet du tube acier	14 (°C)			18	600 (µS/cm)		1200	0		(m3/h)	50					
	Position du rep	père : + 0.60 m/sol	Ten	np. e	en po	ompa	ige		40	Cond	t. en	pomp	bage	4000	Déb	t calc.	15.5-0	
	Niveau piezon	leurque 43.52 m/rep	14			('C	4		10	600		(µa	s/cm)	1200	U	Q	-45.5013	vn) o
-10.5	IN M	1ère foration - 600 mm Tube de soutènement cimenté	1	16	1	0		4. 16		18		N.		0	1		02	NI 11
		- diametre 447 mm - acier 2ème foration - diamètre 311 mm																
		NP = -43.52m/repère									· · · · · · ·							
		Chambre de pompage cimentée	>				_											
		- diamètre 225 mm - PVC	- 0				-					1			¥.,	- 0		
-90.8		-													und offer			1
	} {											1			L. HALL			t
																		1
			2												-		7a [	Ŧ
	} {		200			_		104									38]	1
					-	-					· · · · · · ·						181	1
			2000										-1				141	*
	} {		-				1						-	1	A MARKE		11	I
								8								_		£
	} {						1	1				1						Annual I
			S (5												T			1
		3ème foration - diamètre 222 mm			-										I		7 e [	\$
		nounu									-							1
																	1	1
	} {																	}_
																		ŧ



Illustration 12. Résultats des diagraphies réalisées par Hydro Assistance sur le forage Robol

#### 2.2. REALISATION DU LOG DE FORAGE

#### 2.2.1. Contexte géologique régional

Les formations lithologiques présentes dans la zone d'étude du synclinal du Bas-Agly appartiennent à la série sédimentaire du Mésozoïque; ces formations sont globalement calcaires, dolomitiques et marneuses. Les formations aquifères du Crétacé inférieur (Gargasien inférieur, calcaires urgoniens) aux calcaires et dolomies du Jurassique supérieur (Callovien à Kimméridgien) sont comprises entre deux niveaux marneux pouvant être considérés comme imperméables : ce sont à la base les marnes du Lias et au sommet les marnes et marno-calcaires de l'Aptien supérieur et la puissante série des marnes gréseuses de l'Albien. La série carbonatée comprend des termes marneux et marno-calcaires d'âge Bédoulien supérieur.

Un récapitulatif des faciès et des épaisseurs des différentes formations est donné à partir du log synthétique de la carte géologique de Rivesaltes (Carte géologique au 1/50000,N°1090) (Illustration 14 et Illustration 15) :

Symbole	Age	Faciès	Epaisseur (m)
n <sub>7</sub>	Albien	Marnes et intercalations gréseuses	1000 mètres environ
n <sub>6b</sub>	Clansayésien (Aptien supérieur)	Calcaire argilo-gréseux	45 mètres
n <sub>6a2</sub>	Gargasien supérieur (Aptien supérieur)	Marnes et marno-calcaires à orbitolines	150 mètres
n <sub>6a1</sub>	Gargasien inférieur (Aptien supérieur)	Calcaires blancs à rudistes (Urgonien supérieur)	120 mètres
n <sub>5b</sub>	Bédoulien supérieur (Aptien inférieur)	Marnes et marno-calcaires	120 mètres
n <sub>2-5a</sub>	Valanginien à Bédoulien inférieur (Valanginien, Hauterivien, Barrémien)	Calcaires blancs à rudistes et orbitolines	290 mètres
n <sub>1</sub>	Berriasien	Calcaires argileux roux Calcaires noirs en plaquettes	Env. 30 mètres
J <sub>3-9</sub>	Callovien à Kimméridgien	Calcaires et brèches associées aux calcaires Dolomies grises Dolomies noires	250 à 300 mètres

Illustration 14. Tableau récapitulatif des faciès lithologiques et des âges des formations présentes au niveau du synclinal du Bas-Agly (à partir de la note de la carte géologique de Rivesaltes)

Les formations aquifères cibles du système karstique du « synclinal du Bas-Agly » pour l'implantation d'un forage de reconnaissance hydrogéologique sont ainsi, les calcaires du crétacé inférieur ( $n_{2-5a}$ ) et les calcaires du Jurassique supérieur (Malm  $J_{3-9}$ ) sousjacents.

Les formations du Crétacé sont affleurantes au niveau des reliefs sur la majorité du massif (Roc de Jau, Serrat de Trenque Bouteills, Puia Bourgat, Mont Espira, Plas de l'Oeil du SW au NE), les calcaires du Jurassique supérieur ne constituant que la bordure NW du flanc nord du synclinal du Bas-Agly (Mont d'Estagel, Montoriol, Serre de la Girounette, Forêt Domaniale de Vingrau, Planal de la Garrigue, Serre du Scorpion).



Illustration 15. Log synthétique des faciès lithologiques présents au niveau du synclinal du Bas-Agly (notice de la carte Rivesaltes, N°1090, édition BRGM)

#### 2.2.2. Méthode de réalisation du log géologique

La réalisation du log géologique du forage s'est faite en plusieurs étapes :

- Tri des cuttings par « paquets » en fonction de leurs couleurs et des proportions des éléments distinctifs (calcaires plus ou moins altérés, argile, calcite, remplissage karstique).
- Mise en relation avec les observations de terrain (venues d'eau, chutes d'outils, vitesse d'avancement, couleur des eaux d'exhaure).
- Mise en relation avec la notice géologique et la coupe géologique issue de la cartographie [Le Strat, 2002].
- Calibrage à partir des résultats des diagraphies (résistivité, sonique, gamma-ray, diamétreur et vidéo).

A partir des observations et des interprétations issues de ce protocole, un premier log a pu être établi (Illustration 17). Afin de préciser la nature et l'âge des différents horizons géologiques recoupés, des échantillons de cuttings ont été prélevés pour être étudiés en lames minces.

#### Tri des cuttings

Le forage a recoupé une série calcaire continue, les échantillons de cuttings (petits cailloutis de couleur blanche à grise) ont ainsi été prélevés afin d'être analysés et permettre la réalisation du log du forage.

Les cuttings ont permis de localiser les principales zones de failles, caractérisées par la présence de sédiments karstiques argileux et indurés. Ils ont permis de mettre en évidence trois principaux faciès (Illustration 16) :

- des calcaires gris à blancs, compacts ;
- des calcaires gris foncés ;
- des clacaires blancs très durs.

Un quatrième facès s'est également dégagé. Il est caractérisé par la présence de calcaires beiges à roux mélangés aux calcaires gris et à des sédiments karstiques indurés.



Illustration 16. Photographies des quatre principaux faciès lithologiques rencontrés

#### Mise en relation avec les observations de terrain

Au cours de la foration, la vitesse d'avancement de l'outil est restée relativement constante, hormis lors des 40 derniers mètres où elle fut particulièrement ralentie. Ce phénomène est caractéristique d'une roche plus dure. Aucune chute d'outil n'a été enregistrée au cours du forage.

Lors de la réalisation de cet ouvrage, trois zones d'anciens conduits ou de fissures colmatés ont été rencontrés, aux profondeurs de 105 à 120 m, 310 à 320 m et 420 à 430 m (Illustration 17). Les cuttings associés à ces sédiments de remplissage karstiques étaient rouges et présentaient une matrice argilo sableuse et des cailloutis ocres indurés. Des venues d'eau sont associées à ces trois zones karstifiés avec des débits au soufflage de respectivement 5 m<sup>3</sup>/h, 30 m<sup>3</sup>/h et 70 m<sup>3</sup>/h. La troisième zone est apparue comme étant la plus productive.

#### Mise en relation avec la notice régionale et la coupe géologique

La coupe géologique passant par le Mas de la Chique (Illustration 7) laissait présager le recoupement de trois séries stratigraphiques distinctes :

- le Valanginien à Bédoulien inférieur (n2-5a): Calcaires blances à rudistes et orbitolines (Urgonien inférieur). L'épaisseur totale de la formation est de l'ordre de 300 m;
- le Berriasien supérieur à Valanginien inférieur (n1-2) : Calcaires roux en plaquettes. Bien que mince (une trentaine de mètres), cette formation est presque toujours présente dans les masses carbonatées du Malm-Crétacé inférieur au sein desquels elle constitue un excellent niveau-repère. Il s'agit de marnes et de calcaires argileux graveleux ou oolitiques, à patine jaune à rousse caractéristique ;
- le Kimméridgien à Berriasien inférieur : Calcaires blancs massifs, brèches.

Ces formations peuvent être mises en relation avec les cuttings. Les calcaires gris à blancs, affleurants et présents sur plusieurs centaines de mètres correspondent au faciès du Valanginien à Bédoulien inférieur. Les calcaires beiges à roux mélangés aux calcaires gris et à des sédiments karstiques indurés sont caractéristiques du Berriasien à Valanginien inférieur. Les calcaires blancs, notamment ceux très durs recoupés en fin d'ouvrage correspondent aux calcaires blancs massifs du Tithonien (Kimméridgien à Berriasien inférieur). Enfin les calcaires gris foncés sont caractéristiques du Jurassique, ce faciès succédant aux calcaires blancs du Tithonien.

#### Résultat de l'étude des lames minces

Une étude des microfaciés a été réalisée sur 8 lames minces provenant d'échantillons de cuttings prélevés à différentes profondeurs (Annexe 4). Cette étude a été difficile du fait de la recristallisation et de la dolomitisation potentielle observée sur l'ensemble des lames minces. Ces dernières sont à imputer au métamorphisme pyrénéen. Toutefois l'analyse de ces lames minces semble confirmer le redoublement des séries mésozoïque.

#### Calibrage à partir des résultats des diagraphies

Le profil obtenu par la diagraphie résistivité a permis de caractériser quatre signatures différentes au long du profil et de mettre en évidence un recoupement de séries (Illustration 12). Grâce aux caractéristiques lithologiques de chaque faciès et à l'observation des cuttings, chaque faciès recoupé a été identifié par une signature distincte et ainsi délimité. L'ensemble de ces interprétations est récapitulé dans le log géologique du forage (Illustration 17).



Illustration 17. Log géologique synthétique du forage Robol

#### 2.3. CONCLUSION

Le profil sismique Nord-Sud du bassin du Roussillon (Illustration 18) montre l'incidence de deux principales phases géodynamiques du Crétacé supérieur – Eocène (orogenèse Pyrénéenne) et Miocène (création du bassin du Roussillon) sur la géologie de la nappe des Corbières.

Dans un premier temps, l'orogénèse pyrénéenne (Eocène) a engendré une migration du Sud vers le Nord de la nappe des Corbières faisant jouer la faille Nord-pyrénéenne et la faille de Prades. Ce déplacement est notamment mis en évidence par l'absence du Mésozoïque à l'aplomb du bassin du Roussillon, du fait de sa migration gravitaire vers le Nord.

Dans un second temps, la distension du Miocène inférieur a engendré une flexure inverse du Jurassique vers le Sud (Illustration 18).

La succession de ces événements géodynamiques a eu pour conséquence la formation de structures dans un premier temps de chevauchement vers le Nord, puis dans un second temps de tectonique distensive gravitaire vers le Sud. Ce dernier épisode de flexure, lié aux deux grands accidents régionaux que sont la faille de Prades et la faille Nord-pyrénéenne, pourrait entraîner la formation de faciès particuliers (brèches, effondrements...) qui constitueraient des réservoirs caractérisés par une bonne porosité par conséquent très perméables et potentiellement très producteurs en eau.

Les informations issues du profil sismique, de la cartographie et du log géologique du forage Robol appuient l'hypothèse formulée ci-dessus, avec l'existence d'un redoublement de séries à l'aplomb du forage.

L'ensemble des arguments géométriques acquis au niveau de la nappe des Corbières et du forage Robol permettent donc de faire l'hypothèse d'un redoublement des séries mésozoïques au niveau du Mas de la Chique, lié à la phase de compression pyrénéenne.

Cette phase de compression pyrénéenne a été suivie au Miocène par une phase de distension (création du bassin du Roussillon) avec flexuration vers le Sud et gravitation de la couverture mésozoïque. Cette architecture affecte considérablement les géométries mésozoïques notamment au niveau de la faille de Prades.

L'orogenèse pyrénéenne et l'émersion de la chaîne au Garummien (faciès continentaux) ont très tôt provoqué la karstification des séries mésozoïques, par ailleurs considérablement affectées lors de la phase de distention (notamment au niveau de la faille de Prades). Les karts vont tous être réactivés au Messinien avec un niveau de base qui descend à -800 m NGF au sondage pétrolier de Canet.



Illustration 18. Profil sismique onshore du bassin du Roussillon et de la nappe des Corbières (Duvail et al., 2008).

# 3. Caractérisation de l'ouvrage de reconnaissance et des propriétés hydrodynamiques de l'aquifère

Deux essais de pompage ont été réalisés afin d'évaluer les propriétés de l'aquifère à proximité du forage et d'étudier la réaction de l'ensemble du système grâce à la mise en place d'un réseau de suivi.

Le premier, essai de pompage court, a permis de déterminer les caractéristiques du puits, et le second, essai long, a permis de caractériser l'aquifère à proximité du puits. L'interprétation des essais de pompage a été effectuée, d'une part à l'aide d'une analyse qualitative des courbes de rabattement et d'autre part à l'aide de modèles permettant la reconstitution des variations de niveaux d'eau observés pendant et après le pompage. Aussi, l'impact du pompage et l'influence des facteurs hydrométéorologiques (crue, tarissement, influence des pertes...) ont pu être étudiés. A noter, l'importance de disposer de chroniques piézométriques avant de réaliser un essai de pompage et de poursuivre le suivi après l'essai de pompage. Ces chroniques permettent de faire d'éventuelles corrections pour prendre en compte la variation de la piézométrie naturelle, supposée constante pour l'interprétation des essais. Les suivis piézométriques longs permettent de caractériser l'évolution naturelle de la piézométrie, et de la distinguer de l'évolution liée au pompage pendant la période sollicitée.

#### 3.1. ESSAIS DE POMPAGE

#### 3.1.1. Mise en œuvre des essais de pompage, protocole opératoire

Deux types d'essai de pompage sont généralement mis en œuvre, lors d'une période d'étiage, le moins possible influencée par les précipitations (test des conditions extrêmes d'une sollicitation de l'aquifère par pompage) :

- des essais de pompage de courte durée (une heure ou plus), successifs (séparés de une heure environ), et par paliers de débits croissants. Ces essais de puits ont pour objectif de déterminer les caractéristiques hydrauliques de l'ouvrage, en déterminant principalement les pertes de charge quadratiques,
- un essai de pompage de longue durée (de 48h à quelques semaines voire mois).
  L'objectif de cet essai est de permettre l'estimation de la productivité de la formation aquifère en la sollicitant à plus grande échelle (essai de nappe). Cet essai doit permettre de déterminer le débit et les conditions d'exploitation auxquels on peut s'attendre.

Le dispositif pour la réalisation d'essais de pompage dans un forage est classique, mais peut nécessiter une sous-traitance à une société spécialisée dans ce type d'opération (matériel de pompage, mise en place de conduites d'exhaure, installation électrique). Dans le cas de la présente étude, l'entreprise de forage « Forages Massé » s'est chargée de la mise en œuvre des essais de pompage et le BRGM en a assuré le suivi.

Le matériel mis en place pour réaliser le pompage d'essai peut être décrit comme suit :

- une pompe immergée de diamètre 8" de capacité comprise entre 50 et 100 m3/h, mise en place au niveau de la chambre de pompage située à 85 m de profondeur,
- un groupe électrogène et un câble électrique d'alimentation,
- une colonne d'exhaure en tubes acier raccordés par brides,
- Une conduite souple de 300 m raccordée à la colonne d'exhaure permettant d'évacuer les eaux pompées à l'aval du cours d'eau temporaire du Roboul,
- deux tubes guides en PVC de 85 m de longueur en diamètre 25 mm pour la sonde de niveau autonome et les mesures piézométriques manuelles,
- un piquage sur la colonne d'exhaure pour les prélèvements et l'alimentation d'un bac dans lequel sont immergées les sondes pour les mesures de conductivité électrique, température et pH,
- un débitmètre électromagnétique monté sur la conduite d'exhaure entre longueurs droites normalisées avec un affichage muni d'une sortie analogique 4-20 mA,
- une vanne de régulation de débit.

Des prélèvements d'eau ont été effectués au cours de l'essai de pompage par palier et de longue durée Les informations apportées par ces analyses géochimiques sont présentées dans la partie 4.

#### 3.1.2. Mise en place du réseau d'observation

Dans le but d'évaluer les interférences liées aux pompages sur l'état quantitatif des eaux souterraines, au sein du système karstique, les pas d'acquisitions des capteurs du réseau de suivis du CG66 et de l'ONEMA situés à proximité ont été portés à 5 mn en prévision des essais. Plusieurs de ces sites sont équipés de sondes de pression voir de sondes de conductivité et température, d'autres ont été suivis manuellement. Les informations sur le suivi réalisé sont présentées au paragraphe 3.2. Les points du karst concerné sont les suivants :

- piézomètre de Roboul (Réseau CG66, n° BSS 10904X0105/ROBOUL). Cet ouvrage situé à environ 220 m du Forage Robol permet de suivre la charge piézométrique du karst à proximité immédiate de la zone d'étude. Les suivis réalisés permettront de caractériser le contexte hydrogéologique au moment des essais de pompage et permettront par ailleurs d'apporter des éléments de contrainte à la géométrie de l'aquifère,
- piézomètre d'Estagel (Réseau CG66, n° BSS 10903X0034/PZSTGL). Cet ouvrage permet de suivre la charge piézométrique du karst au niveau des pertes de l'Agly et du Verdouble,

- piézomètre de Baixas (Réseau ONEMA-BRGM, n° BSS 10904X0104/PIEZO). Cet ouvrage permet de suivre la charge piézométrique du karst dans le flan sud du synclinal du Bas-Agly. Les variations piézométriques sont comparables à celles mesurées au forage de Cases de Pène (cf. Rapport BRGM/RP-52920-Fr),
- piézomètre de Salses (Réseau CG66, n° BSS 10795X0070PZCOMB) situé dans la Combe Francaise. Cet ouvrage permet de suivre la charge piézométrique du karst en amont hydraulique des exutoires du système karstique (Sce Fondame et Fontestramar) dans un secteur du karst ou les eaux demeurent encore pas ou peu impactées par la minéralisation d'origine saline,
- piézomètre 102 (Réseau ONEMA-BRGM, n° BSS 10795X0028/CARSTE). Cet ouvrage permet de suivre la charge piézométrique du karst au voisinage immédiat de la source de Font Dame,
- piézomètre 107 (Réseau CG66, n° BSS 10795X0033). Cet ouvrage permet de suivre la charge piézométrique du karst au voisinage de la source de Fontestramar dans un secteur qui n'apparaît pas ou peu connecté hydrauliquement aux pertes de l'Agly et du Verdouble,
- source de Fontestramar (Réseau CG66, n° BSS 10795X0001/S). Les niveaux d'eau de la vasque sont suivis par la DDE au pas de temps de 5 mn. La conductivité et la température des eaux sont suivies au niveau de la pisciculture (réseau du CG 66),
- forage du Mas de la Chique (n° BSS 10904X0001/F). Cet ouvrage situé à environ 800 m du Forage Robol permettra de suivre l'interférence lié au pompage. Les suivis devront également apporter des éléments d'information sur la géométrie de l'aquifère.

En complément du suivi de l'aquifère carbonaté, le comportement de la nappe Oligocène à proximité du secteur d'étude a également été surveillé grâce aux mesures manuelles réalisées aux Mas Vespeille et Mas Passe de Temps (Illustration 20). Le forage profond de reconnaissance (332 m) d'Espira a été également équipé d'un enregistreur autonome pour les besoins de cette étude (BRGM/RP-54523-FR).

Les caractéristiques de ces points et du suivi sont récapitulés dans l'Illustration 19.

Dénomination	Indice BSS	Type d'appareil	Pas de temps (minutes)	Piézo.	Temp.	Cond.
Forage ROBOL	10904X 0116	CT Diver	1	Х	Х	Х
Roboul CGE	10904X 0105	OTT Orpheus KL	1	Х	Х	Х
Fontestramar	10795X 0001/S	OTT Logosens	5		Х	Х
Piézomètre P107	10795X 0033	OTT Orpheus mini	5	Х		
Font Dame - P102	10795X 0028	OTT Orpheus mini	5	Х	Х	
Salses	10795X 0070	OTT Orpheus mini + CT Diver	5	х	х	х
Espira de l'Agly	10904X 0108-	OTT Orpheus mini	5	Х	Х	
Baixas	10904X 0104	OTT Duosens	5	Х	Х	
Estagel	10903X 0034	Iris	15	Х		
Mas de la Chique	10904X 0001/F	Suivi ponctuel	-	Х		
Mas Vespeille	-	Suivi ponctuel	-	Х		
Mas Passe Temps	-	Suivi ponctuel	-	х		

Illustration 19. Caractéristiques des points suivis au cours de l'essai de pompage



Illustration 20. Carte de localisation des points suivis

#### 3.1.3. Interprétation des essais par paliers

#### Descriptif

Les essais par palier de débit ont été réalisés le 04/06/2009. Trois paliers de pompage d'une heure interrompus par au moins une heure de remontée des niveaux d'eau ont été réalisés. Le premier a été réalisé à un débit de 42 m<sup>3</sup>/h, le second à 57 m<sup>3</sup>/h et le dernier à 70 m<sup>3</sup>/h.

Un quatrième palier était prévu à un débit de 100 m<sup>3</sup>/h. Il n'a pas pu être réalisé du fait des forts rabattements observés. En effet, un essai à 100 m<sup>3</sup>/h aurait conduit à un dénoiement de la pompe, le rabattement maximal autorisé était de 35 m et plus de 30 m de rabattement ont été observés lors du pallier à 70 m<sup>3</sup>/h. Entre chaque palier, une heure environ de remontée a été observée afin que le niveau piézométrique se rapproche de sa valeur initiale.

Les niveaux d'eau dans l'ouvrage et les débits pompés ont été suivis en continu, tout comme la conductivité et la température des eaux d'exhaures. Le pH a été mesuré ponctuellement. Ces données sont présentées ci-dessous (Illustration 21).



Illustration 21. Evolution des rabattements, du débit, de la conductivité, de la température et du pH pendant l'essai de pompage par palier

Description des résultats observés pendant l'essai de pompage par palier :

- palier 1 : le pompage au débit de 42 m<sup>3</sup>/h a engendé un rabattement de 16,14 m après 60 minutes. Après une baisse à 0,9S/cm dans le premier quart d'heure, la conductivité oscille autour de 0,98 ms/cm avant d'atteindre une valeur de 1 mS/cm à la fin du palier. Ces valeurs de conductivité, plus élevées que les valeurs mesurées pendant la foration (0.55 à 0.63 mS/cm) sont dues aux phases de développement de l'ouvrage par acidification qui ont engendré une forte minéralisation des eaux aux droit du forage. La température passe de 17,8 à 18°C, le pH diminuant légèrement de 6,98 à 6,89,
- palier 2 : le pompage au débit de 57 m<sup>3</sup>/h a engendé un rabattement de 24,83 m après 60 minutes. La conductivité passe rapidement de 1,02 à 1,07 mS/cm au début du pompage, puis baisse et se stabilise à 1,05 mS/cm à la fin du palier. La température passe de 17,9 à 18,2°C, le pH restant stable à 6,9,
- palier 3 : le pompage au débit de 70 m<sup>3</sup>/h a engendré un rabattement de 31.58 m après 60 minutes. La conductivité baisse rapidement dans le premier quart d'heure, passant de 1,05 à 0,95 mS/cm, remonte ensuite aux alentours de 1,01 mS/cm avant de décroître légèrement pendant la deuxième demi-heure pour atteindre 0,998 mS/cm à la fin du palier. La température oscille entre 18,4 et 18,6 °C, le pH remontant à des valeurs proches de 7.

#### Interprétation

Le logiciel utilisé pour l'interprétation des tests est WinISAPE (logiciel BRGM). Il propose une dizaine de solutions analytiques pour modéliser les données des pompages d'essai : milieu homogène isotrope, anisotrope, double porosité, effet de drainance verticale, limites étanches ou alimentées, etc. Par ailleurs le logiciel prend aussi en compte les effets de puits (effet de capacité, pertes de charges, effet de skin).

Les variations de la conductivité électrique lors des paliers sont à mettre en relation avec le fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère (cf. Essai longue durée).

Le rabattement total (s <sub>total</sub>) mesuré lors du pompage est la somme du rabattement provoqué par l'aquifère lui-même (s <sub>aquifère</sub>) correspondant aux pertes de charge linéaires et du rabattement provoqué par l'équipement installé (s <sub>équipement</sub>) induit par les pertes de charge quadratiques (Jacob, 1947).

#### Ainsi : s total = s aquifère + s équipement = BQ + CQ<sup>2</sup>

L'étude des couples débit-rabattement (Illustration 22) des différents paliers, permet notamment de déterminer les pertes de charge liées à l'équipement du puits. Sur la courbe du rabattement spécifique (s <sub>total</sub> /Q), l'ordonnée à l'origine donne la valeur du coefficient de perte de charge linéaire (B) et le coefficient directeur, le coefficient de perte de charge quadratique (C).



Illustration 22. Estimation des pertes de charges par l'étude des couples débit-rabattement observés

Afin de compléter cette analyse, un 4<sup>ème</sup> palier a été ajouté. Il s'agit du palier 4 (Illustration 22), correspondant à la première heure du pompage longue durée au débit initial de 47 m<sup>3</sup>/h mis en œuvre le 10 juin. Le couple débit-rabattement de ce point, pris après 60 minutes de pompage, s'écarte légèrement de la courbe s<sub>tot</sub> = BQ + CQ<sup>2</sup> traduisant que le rabattement observé est inférieur au rabattement calculé pour le débit pompé. Ceci laisse suggérer un léger développement de l'ouvrage entre les premiers essais par paliers (le 4/06/09) et la première heure du pompage longue durée (le 10/06/09). En réalité, comme la piézométrie n'a pas ré-atteint son niveau initial après chaque phase d'arrêt, les rabattements des paliers 2 et 3 sont légèrement surestimés (et par conséquent les rabattements spécifiques s/Q). De ce fait, le coefficient C est sensiblement surestimé et ne permet pas de caractériser un éventuel développement de l'ouvrage.

Le coefficient de pertes de charges quadratiques est C = 41763 m/( $m^3/s$ )<sup>2</sup> soit 3,22.10<sup>-3</sup> m/( $m^3/h$ ). Ce coefficient permet d'apprécier la qualité des échanges entre l'aquifère et le puits. Cette valeur représente 8 mètres de rabattement dus à

l'équipement du forage à 50 m<sup>3</sup>/h soit 40 % du rabattement total et 32 mètres de rabattement à 100 m<sup>3</sup>/h soit 55 % du rabattement total. Ce résultat milite en faveur de l'amélioration du rendement du forage par reprise de ce dernier (réalésage, acidification).

#### 3.1.4. Interprétation de l'essai longue durée

#### Descriptif

Cet essai s'est déroulé du 10 au 20 juin, en deux phases :

- phase de pompage du 10 au 15 juin d'une durée de 120 heures. Le débit a évolué entre 47 +/- 3 m<sup>3</sup>/h au début de l'essai à 52 +/- 3 m<sup>3</sup>/h après 57 heures de pompage environ,
- phase de remontée du 15 au 20 juin, également de 120 heures.

Les rabattements, les débits de pompage, la conductivité électrique, la température et le pH ont également été suivis, ces données sont présentées dans l'Illustration 23.



Illustration 23. Evolution des rabattements, du débit, de la conductivité, de la température et du pH pendant l'essai de pompage longue durée (échelle des temps normale en haut et logarithmique en bas)

La conductivité électrique initiale de l'eau du forage était égale à 1 mS/cm. Elle a diminué tout au long du pompage traduisant l'arrivée d'une eau moins minéralisée.

Cette baisse est due au pompage des eaux plus minéralisées engendrées par les phases d'acidification, marquant un retour à la conductivité des eaux naturelles environnantes. Le pompage mobilise ainsi une eau d'un réservoir caractérisé par une faible minéralisation, de l'ordre de 0,7 mS/cm. La température de l'eau est restée relativement constante à 18°C. Le pH a légèrement augmenté durant le pompage, passant de 7 à 7,5 unités pH.

Durant les 57 premières heures de pompage, le débit était de 47 +/- 3 m<sup>3</sup>/h. Après 57 heures de pompage, le débit a été augmenté à 52 +/- 3 m<sup>3</sup>/h par une tierce personne étrangère au déroulement de l'opération. Ainsi, l'augmentation du débit a également engendré une augmentation du rabattement, nettement visible sur l'Illustration 23. Bien que n'ayant pas été réalisée par nos soins, ni même planifiée, cette augmentation de débit a été conservée pendant le reste de l'essai, les rabattements s'étant très rapidement stabilisés. Cette modification du débit sera prise en compte dans les simulations numériques.

#### Présentation de la méthode de diagnostic des essais par pompage

La méthode mise en œuvre pour l'interprétation des tests hydrauliques réalisés sur le forage Robol est décrite dans le schéma suivant (Illustration 24).



Illustration 24. Méthodologie mise en œuvre pour l'interprétation des pompages d'essai

Le diagnostic repose sur l'interprétation de la courbe de dérivée logarithmique des rabattements (d(s)/d(ln(t)); à la descente ou à la remontée), qui a l'avantage de représenter tous les régimes d'écoulement sur un seul et même graphique bilogarithmique (Bourdet et al., 1983, 1989; Spane and Wurstner, 1993). L'avantage de cette méthode est que pour chaque type et/ou géométrie d'aquifère (et type de configuration forage-aquifère), il correspond un certain régime ou une succession de certains régimes d'écoulement qu'il est en général possible d'identifier sur la courbe de dérivée (Deruyk et al., 1992 ; Schlumberger, 2002).

Le calcul de la dérivée nécessite souvent un traitement par lissage de la dérivée afin d'augmenter le rapport signal sur bruit (engendré soit par des micro-variations du débit et/ou par la sensibilité de l'outil de mesure des niveaux). Ce traitement n'altère en rien la qualité des données originelles. Par contre, lorsque le débit varie de façon significative durant l'essai, il est nécessaire de prendre en compte ces variations dans le calcul de la dérivée. On obtient ainsi une courbe type qui est dérivée et interprétée suivant la méthode précédemment décrite.

Une fois la courbe des dérivées construite, le diagnostic consiste à identifier les différents régimes d'écoulement et à en déduire les propriétés du forage (effet de capacité, pertes de charges, …), de l'aquifère (isotrope, anisotrope, fractures, double porosité, etc.), de sa géométrie (effet de limites) et des éventuelles relations entre l'aquifère capté et les aquifères de sub-surface (effet de drainance par exemple). Enfin, une fois le diagnostic posé, l'estimation des paramètres de l'aquifère est réalisée à partir du modèle mathématique le plus approprié. Puis, le modèle conceptuel de l'aquifère est validé en jugeant de la pertinence de la modélisation et des informations géologiques disponibles sur la formation testée.

A partir de la courbe des dérivées, il est déjà possible d'estimer les paramètres hydrodynamiques, en particulier la transmissivité de la formation captée lorsqu'un écoulement radial cylindrique est atteint.

#### Interprétation des rabattements observés au puits

A partir des rabattements mesurés au puits Robol et aux piézomètres situés à proximité, Roboul CGE et Mas de la Chique (Illustration 25) et des mesures du débit de pompage, l'interprétation par la méthode des dérivées et l'introduction de modèles hydrogéologiques conceptuels ont permis de mettre en évidence l'existence d'**un drain karstique de dimension notable à proximité du puits de pompage**.

Point	Coordor Lambert X	nées 2 Y	r_ouvrage (m)	d_Puits- Piézo (m)		
Puits Robol	642579	1757690	0.111	0		
Piézo. Roboul CGE	642607	1757908	0.2	220		
Piézo. Mas de la Chique	642992	1758347	0.2	776		



Illustration 25. Disposition du puits et des piézomètres d'observation à proximité

Le graphique bi-logarithmique (Illustration 26) présente l'évolution du rabattement spécifique observé dans le puits Robol pendant l'essai de pompage longue durée ainsi que les courbes de dérivée des rabattements lors de la descente (pendant le pompage) et de la remontée (après l'arrêt du pompage) du niveau d'eau.



Illustration 26. Rabattements spécifiques, dérivée logarithmique et conductivité électrique en fonction du temps

L'analyse de la courbe de la dérivée (à la descente et à la remontée) mène à la distinction de **trois régimes d'écoulement** intervenant successivement lors du pompage dans l'aquifère karstique :

- 1- De 0 à 20 minutes, un régime d'écoulement où la dérivée augmente suivant une faible pente (0,2 - 0,3), ce qui correspond à la réaction du drain intercepté par le forage ;
- 2- De 20 à 100 minutes, un régime d'écoulement où la dérivée est constante (droite horizontale dans le graphique semi-logarithmique), ce qui correspond à un écoulement radial cylindrique (aquifère homogène isotrope). Une valeur de transmissivité T peut ici être estimée à 2,55.10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s (Illustration 29). Ceci montre que le drain draine un aquifère de transmissivité T ;
- 3- A partir d'une centaine de minutes la dérivée diminue car les rabattements se stabilisent, ce qui correspond à un phénomène de drainance ou de limite alimentée.

Une interprétation de ces trois régimes d'écoulement est présentée dans l'Illustration 27.



Illustration 27. Représentation des différents régimes d'écoulement

Après 3400 minutes de pompage, soit 57 heures, la courbe des rabattements spécifiques observés présente une légère diminution (Illustration 26). Ce phénomène s'explique par un potentiel développement de l'ouvrage lors de l'augmentation du débit de pompage. En effet, un développement de l'ouvrage engendre une meilleur connexion entre l'aquifère et le puits (diminution des pertes de charges), entraînant une diminution du rabattement s pour un débit Q donné et par conséquent une diminution du rabattement spécifique observé S = s/Q.

L'analyse de la courbe de dérivée du rabattement en fonction du temps a permis de distinguer plusieurs régimes d'écoulement (Illustration 27). Cela conduit à choisir un modèle mathématique adapté à la situation hydrogéologique ainsi identifiée, pour réaliser une simulation de son fonctionnement au cours de l'essai de pompage longue durée.

Le modèle de Nind a été choisi, car il permet la prise en compte d'une discontinuité linéaire et subverticale à proximité du puits sollicité, caractérisant une limite avec un milieu de transmissivité différente (Illustration 28). Il permet de modéliser l'effet d'une limite alimentée (Régime 3) en considérant un milieu à transmissivité infinie pour le deuxième compartiment (Illustration 28).



Illustration 28. Illustration et conditions du modèle de Nind

Dans ce cas, le modèle de Nind égale le modèle de « Theis + limite alimentée » et fait intervenir la sollicitation d'un horizon de transmissivité finie ou infinie à partir d'un certain temps t (Lim.Al) et t (lim T2) dans l'Illustration 29.

Les deux modèles (Nind et Theis + limite alimentée) vont être utilisés par la suite. En effet la limite alimentée n'est physiquement pas correcte au niveau des piézomètres. C'est pour cela que le modèle de Nind est nécessaire pour interpréter les mesures réalisées aux piézomètres Roboul et du Mas de la Chique, où le comportement observé est celui d'un aquifère compartimenté avec des zones de perméabilité différentes.

Ce temps sert à calculer la distance du forage à la limite alimentée à partir de l'emmagasinement S. Cependant, S étant un paramètre de calage au puits, dû fait des essais de puits et de l'incertitude du rayon du puits, la distance déduite n'est pas à considérer comme un paramètre réel de terrain mais comme une valeur de calage. Par contre, de meilleures estimations seront par la suite réalisées à partir des observations effectuées aux piézomètres.

La distance à la limite (L) est déduite de l'équation 1 :

(Équation 1) 
$$\mathbf{L} = 2.((T.t)/S)^{1/2}$$
 avec t en secondes (Theis, 1935)

L'Illustration 30 présente la simulation des rabattements observés au puits de pompage par la méthode de Nind et également par la méthode de « Theis + limite alimentée » où un aquifère de transmissivité infinie jouant comme limite alimentée à proximité du puits est sollicité après un temps donné (valeur de calage).

L'échelle de temps est normale sur le graphique du haut et logarithmique sur celui du bas. La juxtaposition de ces deux graphiques permet d'apprécier la qualité des simulations. En effet, les courbes s\_Robol, Theis+lim.Al et NIND\_Robol sont quasiment confondues.

Les simulations sont de bonne qualité et permettent donc d'estimer convenablement les paramètres hydrodynamiques de l'aquifère. Ainsi, la transmissivité déduite de cette analyse est de l'ordre de  $T = 2,55.10^{-4} m^2/s$  (Illustration 29), ce qui est cohérent avec l'interprétation réalisée lors de la phase de diagnostic.

Interpretation	Theis+lim.Al	Unités		Interpretation	NIND	Unités	
Т	2.55E-04	m2/s		T1	2.55E-04	m2/s	
S	9.86E+00	-	calage	S	2.50E+00	-	calage
t (lim Al)	170	min	calana	T2	2.55E+03	m2/s	lim. Al
r (Emilion) ada	2.505.04	-7/mE	calaye	Lim.T2	100	min	
pac A vi	3.5000704	sz/mb		pdc	3.50E+04	s2/m5	
Capacité	222	mm		Capacité	0	mm	
r	0.111	m		r	0	m	

Illustration 29. Paramètres de calage et résultats des modélisations

Normalement, le paramètre t (Lim.Al) doit être égal au paramètre t (Lim.T2). La différence affichée ici (Illustration 29) est due au fait que le modèle Theis+lim.Al utilise la formule L=1,5(T.t/S)<sup>1/2</sup> pour calculée la distance L à la limite. Le modèle de Nind prenant en compte l'équation de Theis ( (Équation 1) pour le même calcul, les temps sont différents dans chaque modèle afin de prendre en compte une même distance L à la limite.



Illustration 30. Simulation des rabattements au puits de pompage ; modèles analytiques de Theis et de Nind, logiciel d'interprétation : WinISAPE (BRGM) (échelle des temps normale en haut et logarithmique en bas)

Les simulations Theis+lim.Al et NIND\_Robol présentent un écart avec la courbe des rabattements mesurés à partir de 3400 min soit approximativement 57 heures, ce qui correspond à l'augmentation du débit pendant l'essai de pompage. Un nouveau calage, avec des pertes de charges de  $3.10^4 \text{ s}^2/\text{m}^5$  contre  $3,5.10^4 \text{ s}^2/\text{m}^5$  initialement, « NIND-pdc réduites » (Illustration 30) permet de reproduire de façon satisfaisante les rabattements observés après l'augmentation du débit. Ceci montre que l'augmentation du débit a provoqué une amélioration du rendement du puits de l'ordre de 10 à 15 %. Cette conclusion est cohérente avec les observations faites sur l'Illustration 26 et confirme que l'ouvrage s'est sensiblement développé à la suite de l'augmentation du débit de pompage.

D'autre part, le relativement bon calage des données observées avec celles du modèle montrent l'importance du flux d'eau amené par la structure plus perméable. En effet, à partir d'une journée de pompage, c'est-à-dire à partir du moment où la piézométrie n'évolue quasiment plus, la quasi-totalité du flux provient de cette structure. Par déduction, cette structure plus perméable, modélisée par un milieu à perméabilité infinie, pourrait correspondre à un drain de dimension très importante par rapport à celui intercepté par l'ouvrage.

#### Interprétation des rabattements observés aux piézomètres

Les deux piézomètres situés à proximité du puits, Roboul CGE et Mas de la Chique, ont réagi à la sollicitation de l'aquifère lors de l'essai de pompage longue durée. La modélisation des rabattements observés sur ces deux points permet d'approfondir et de compléter l'interprétation issue de l'étude des rabattements au puits.

#### Piézomètre Roboul CGE

Dans le cadre du réseau piézométrique du Conseil Général des Pyrénées Orientales, la piézomètrie, la conductivité et la température au pas de temps de 30 mn (sonde Orphéus, OTT) sont suivis sur le piézo Roboul CGE. Lors des essais, le pas d'acquisition a été augmenté (5 mn) afin d'améliorer la résolution temporelle.

La charge piézométrique mesurée au piézomètre Robol est influencée par la charge piézométrique du karst dans la zone d'infiltration des pertes de l'Agly et du Verdouble (caractérisée à l'aide du piézomètre d'Estagel, point appartenant aussi au réseau piézométrique du CG des Pyrénées Orientales)

La superposition de ces deux chroniques mesurées met en évidence une décroissance de la piézométrie due à la vidange naturelle du système en période d'étiage (Illustration 31). La linéarisation de cette décroissance de la piézométrie permet de corriger les valeurs observées au niveau du piézomètre durant la période de l'essai de pompage longue durée pour s'affranchir de la composante naturelle des rabattements mesurés sur ce point. La courbe de piézométrie corrigée (Illustration 31) montre un écart de 20 cm à la fin du pompage et de 60 cm à la fin de la remontée par rapport à la chronique initiale.



Illustration 31. Chroniques piézométriques observée et corrigée sur le piézomètre Roboul CGE

L'interprétation des rabattements corrigés au piézomètre Roboul CGE, situé à une distance de 220 m par rapport au puits de pompage va permettre de préciser la géométrie de l'aquifère, notamment la position et l'orientation de la structure plus perméable par rapport à l'axe Puits-Piézomètre.

Dans les modélisations suivantes, qui servent à interpréter les variations piézométriques au niveau de Roboul CGE tout en intégrant la présence de la limite, il est supposé que l'aquifère capté par les deux ouvrages est le même. Il est donc estimé que la transmissivité de l'aquifère au niveau du piézomètre est égale à celle calculée au puits. Il en est de même pour la distance puits-limite, nommée L, représentée par la valeur de calage t=100 min (Illustration 33).

Dans un repère plan direct (X, Puits, Y), la limite orientée suivant Y est fixée à la distance L du puits sur l'axe X, considérant l'hypothèse d'égal distance puits-limite et piézomètre-limite. L'axe Puits-Piézomètre et la limite seraient par conséquent orientés parallèlement suivant Y et séparés d'une distance L sur l'axe X (Illustration 34).

Pour estimer l'orientation de la limite, il a été décidé de **faire pivoter l'axe puitspiézomètre autour de la limite (ce qui revient au même que de faire pivoter la limite autour de l'axe puits-piézomètre)** jusqu'à l'obtention du meilleur ajustement possible entre les observations et le modèle (Illustration 32). La limite est donc fixe dans le repère (Puits,X,Y) et c'est la position du piézomètre Roboul CGE dans le plan qui varie. En maintenant la distance Puits-Piézomètre constante et en imposant un décalage suivant X au piézomètre, celui-ci va se déplacer sur un cercle de rayon 220 m centré sur le puits (Illustration 34).



Illustration 32. Tests d'évaluation de la position de la limite alimentée par rapport au piézomètre Roboul CGE

Dans le cas du piézomètre Roboul, l'effet de stabilisation des rabattements dû à la structure très perméable utilisée pour simuler la limite alimentée est beaucoup moins ressenti, ce qui suggère que le piézomètre Roboul est plus éloigné du drain que ne l'est le forage Robol. En conséquence, la valeur de transmissivité T2 dû compartiment plus perméable doit donc être adaptée car elle ne peut plus être considérée comme infinie (Illustration 33). Ceci est dû au fait que l'on représente un système 3-D (aquifère

+ drain, de forme « cylindrique »), par un système 2-D compartimenté (compartiment de transmissivité T1 et compartiment de transmissivité T2.

NIND/Mod_piézo_d=-30		unités	Paramètres		unités	
T1	2.55E-04	m2/s	rw	2.00E-01	m	
T2	1.15E-02	m2/s	tps	100.00	min	calage
S	5.70E-04	-	L	103.62	m	
x_piézo	-30	m	y_piézo	217.9	m	

Illustration 33. Tableau des paramètres des modélisations pour l'évaluation de la position du piézomètre Roboul CGE par rapport à la structure plus perméable (paramètres du cas le plus pertinent)

Les positions (x = -20 m) et (x = -30 m) donnent les simulations de meilleure qualité (Illustration 32), indiquant que le piézomètre Roboul est situé à une distance de 20 à 30 m par rapport à l'axe perpendiculaire puits Robol – piézomètre Roboul (Illustration 34).



Illustration 34. Résultats du test d'évaluation de la position de la limite alimentée

La distance L représente la distance entre le puits et la limite alimentée sur l'axe X. Elle est calculée à partir des paramètres **S** (emmagasinement), **T1** (transmissivité de l'aquifère à proximité du puits) et de **tps** (valeur de calage) par la formule de Theis (Équation 1)  $L = 2.((T.t)/S)^{1/2}$  avec t en secondes (Theis, 1935). Cette distance est

égale à 103,6 m pour les modélisations Mod\_piézo\_d=-20 et Mod\_piézo\_d=-30 (Illustration 33), les paramètres S, T1 et tps étant égaux dans ces deux simulations.

Pour chaque modélisation, deux positions sont possibles pour la limite alimentée, cette dernière pouvant se trouver d'un côté ou de l'autre de l'axe puits Robol – piézomètre Roboul.

Le repère (X, Puits, Y) n'est pas géoréférencé, le Nord géographique se trouvant légèrement décalé par rapport à l'axe Y. Dans le plan géoréférencé, l'axe Puits– Piézomètre Roboul CGE est orienté N008. Cette valeur est calculée à partir des coordonnées Lambert 2 de ces points (Illustration 25).

L'orientation de la limite alimentée est calculée à partir des nouvelles coordonnées du piézomètre Roboul CGE, obtenues en moyennant les résultats des modélisations Mod\_piézo\_d=-20 et Mod\_piézo\_d=-30. Deux orientations sont possibles, suivant le positionnement de la limite par rapport à l'axe Y, la position (x=+L) revenant à placer la limite à l'Est et la position (x=-L) à l'Ouest du puits (Illustration 35).



Illustration 35. Illustration des modélisations pour le calcul de l'orientation de la limite dans le plan (X, Puits, Y)

L'axe Puits-Piézomètre Roboul géoréférencé est orienté N008. Dans le repère (X, Puits, Y), l'axe Y fait un angle  $\alpha$  = 7,5° dans le sens direct par rapport au Nord géographique. (Illustration 35).

Dans le cas d'une limite alimentée située à l'Est, c'est-à-dire à une distance x=+L du piézomètre sur l'axe X, le Nord géographique est situé à un angle  $\beta$  égal à la rotation moyenne (X=-20 et X=-30) dans le plan (Illustration 35).

La limite alimentée, décrivant initialement un angle  $\alpha$  par rapport au Nord géographique se retrouve alors décalée d'un angle  $\varphi = \alpha + \beta$ . La direction **Nm** sur l'Illustration 35 représente la position du Nord géographique issue des modélisations par rapport à la limite alimentée. En valeur numérique, l'angle  $\beta$  est égal à l'angle  $\alpha$  à 0,2° près, d'où la

simplification  $\phi = \alpha + \beta = 2\alpha = 15^{\circ}$ . On peut en déduire que pour une limite se trouvant à la distance L à l'Est du puits, celle-ci serait orientée N15°E (Illustration 36).

Dans le cas d'une limite alimentée à l'ouest, c'est-à-dire à une distance x=-L du piézomètre sur l'axe X, la position du Nord géographique par rapport à la limite issue des modélisations est décalée d'un angle  $\beta$  dans le sens indirect (Illustration 35). Par conséquent, du fait que  $\alpha = \beta$ , l'angle  $\varphi$  décrivant l'orientation de la limite alimentée par rapport au Nord géographique est nul :  $\varphi = \alpha - \beta = \alpha - \alpha = 0^\circ$ . On peut en déduire que pour une limite se trouvant à la distance L à l'Ouest du puits, celle-ci serait orientée N000 (Illustration 36).



Illustration 36. Positions et orientations des deux limites issues des modélisations

Ces simulations permettent d'évaluer la distance du puits par rapport à la structure de forte perméabilité située à environ 100 m dans le plan. Cette dernière serait située soit à l'est du forage Robol, orientée N015, soit à l'Ouest du forage, orientée N000.

L'introduction des rabattements mesurés dans le puits du Mas de la Chique va permettre de mieux appréhender la localisation de la limite recherchée.

#### • Puits du Mas de la Chique

Durant les deux premiers jours de l'essai de pompage longue durée, les 10 et 11 juin, le puits du Mas de la Chique n'a pas été sollicité pour l'irrigation du Mas, les jours qui ont suivi les pompages dans l'ouvrage ont repris de façon quasi ininterrompue. Ce

puits a donc fait office de piézomètre d'observation uniquement pendant les deux premiers jours et le suivi piézométrique manuel mis en place sur ce point n'a permis de mesurer que quelques valeurs de rabattement (Illustration 37).

Point	de suivi	Mas de la Chique
Piézométrie initiale (m)		81.69
Date	Min. de pompage	Rabattement (m)
10/06/2009 15:47	264	0
10/06/2009 18:12	409	0
11/06/2009 09:55	1352	0.06
11/06/2009 12:20	1497	0.08
Date	Min. de pompage	Rabattement corrigé de l'influence du pompage au puits du Mas de la Chique(m)
12/06/2009 11:00	2857	0.29
15/06/2009 14:15	7372	1.21
Date	Min. de pompage	Rabattement (m)
15/06/2009 16:50	7527	1.21

Illustration 37. Résultats du suivi piézométrique observé sur le Mas de la Chique les 10 et 11 juin et calculé au moment du pompage pour l'irraigation (12 au 15 juin)

Les valeurs de rabattement mesuré dans le puits du Mas de la Chique sont relativement faibles par rapport à celles observées au puits de pompage et au piézomètre Roboul du fait de son éloignement (~800 m). Cependant, si la structure de forte perméabilité ou limite alimentée était située entre le forage et le puits du Mas de la Chique (limite à l'Est du forage), nous n'aurions dû observer aucun rabattement sur ce point. Le fait que le puits du Mas de la Chique ait à priori réagi à l'essai de pompage laisse penser qu'il est situé du même coté de la limite que le forage et le piézomètre Roboul CGE. Par conséquent, **la limite se trouverait à l'Ouest du forage** (droite rouge, Illustration 36).

De plus, des simulations ont été réalisées avec le modèle de Nind et des paramètres comparables à ceux précédemment estimés (Illustration 33). Comme pour le piézomètre Roboul CGE, les simulations mettent en évidence que le puits Robol est plus proche de la limite que le piézomètre Chique et par conséquent que la limite se situe à l'Ouest du puits. Aussi, la simulation des rabattements mesurés et corrigés de l'influence du pompage dans le puits du mas de la Chique (Illustration 37) donne de meilleurs résultats lorsque celui-ci est éloigné de la limite (Illustration 38).


Illustration 38. Simulation des rabattements observés au Mas de la Chique

#### Conclusion

Les modélisations à partir du modèle de NIND ont permis un ajustement de bonne qualité des courbes de rabattement, à la fois au puits et au niveau du piézomètre Roboul CGE, ainsi que pour les rabattements observés au Mas de la Chique. Dans les deux premiers cas (forage Robol et piézo Roboul CGE), les paramètres concernant la distance à la limite alimentée sont identiques. Ces simulations permettent d'affirmer qu'à partir d'une durée de l'ordre d'une centaine de minutes, l'eau pompée provient exclusivement de cette structure à forte perméabilité. Cette structure serait située à une distance estimée à une centaine de mètres grâce aux simulations, à priori à l'Ouest du forage Robol à une profondeur de l'ordre de 420 m.

#### 3.2. RELATIONS HYDROGEOLOGIQUES ET HYDRAULIQUES AVEC LES POINTS APPARTENANT AU RESEAU PIEZOMETRIQUE DU CG 66

# 3.2.1. Présentation du réseau de suivi

Avant la réalisation des essais de pompage, un suivi piézométrique à pas de temps fin a été mis en place sur plusieurs points représentatifs de l'aquifère carbonaté (Illustration 20), situés au niveau du flan Nord du synclinal (Roboul, Mas de la Chique, Estagel, Combe Française, P107 et les sources de Fontestramar et Font Dame) et du flanc Sud (Baixas-Case de Pène). Ce suivi a pour objectif de caractériser l'influence du pompage sur l'aquifère en différents points du système.

#### 3.2.2. Analyse des chroniques et caractérisation des relations

Cette partie présente les données acquises avant, pendant et après les essais de pompage pour l'ensemble des points du réseau de suivi. L'analyse de ces données en relation avec les informations sur la réalisation de l'ouvrage (soufflages, acidification) et les données des essais de pompage va permettre de caractériser les relations éventuelles entre ces points de suivi et le forage Robol.

#### Estagel

Le système karstique du « synclinal du Bas-Agly » est alimenté sur le flanc nord du synclinal en partie par les pertes de l'Agly et du Verdouble au niveau de la commune d'Estagel. Le débit de l'Agly est influencé par les lâchers du barrage de Caramany. Le débit des pertes est fonction de l'état de saturation (remplissage) de l'aquifère dans la zone d'infiltration des pertes et des débits des lâchers de barrage (BRGM/RP 54708-FR). Le débit moyen des pertes (Agly + Verdouble) est estimé à 1500 l/s.

Le piézomètre « Estagel » situé à proximité de la confluence des deux cours d'eau renseigne sur l'évolution du signal d'entrée du système au niveau de la zone des pertes. Ce signal doit être pris en compte dans l'analyse des chroniques des piézomètres étudiés à l'aval.

La piézométrie à Estagel est présentée sur l'Illustration 39. Elle est marquée par deux crues principales le 12 avril et le 1<sup>er</sup> mai 2009. Le pompage (partie en orange sur l'illustration) a lieu pendant une phase naturelle de décroissance de la piézométrie au niveau d'Estagel.



Illustration 39. Evolution de la piézométrie à Estagel

La diminution régulière de la piézométrie observée à Estagel est à mettre en relation avec la vidange naturelle du système en période d'étiage. En parallèle, pendant cette période, le débit des lâchers de barrage diminue limitant l'alimentation vers l'aquifère. Aussi, une augmentation du débit des lâchers de barrage a eu lieu du 30 mai au 7 juin alors qu'ils étaient en constante diminution depuis début mai (Illustration 40). Cette augmentation conduit à une légère augmentation de la piézométrie à Estagel. De même, le petit épisode de pluie du 6 et 7 juin, s'est aussi traduit par une augmentation de la piézométrie. Ces données montrent que les essais de pompage réalisés n'ont pas eu d'impact sur la piézométrique à Estagel.



Illustration 40. Evolution des lâchérs de soutien du débit de l'Agly au barrage de Caramany

# Piézomètre Roboul CGE

Le piézomètre « Roboul CGE », situé à environ 220 m au nord du forage Robol est le point de suivi le plus proche de celui-ci. Ce piézomètre a réagi pendant les essais de pompage et également lors des phases de développement du forage. Lors du développement du forage par soufflage et acidification, le niveau d'eau au niveau du piézomètre Roboul CGE, illustré sur l'Illustration 41 a évolué comme suit :

- rabattement total de 2,71 m le 7 mai résultant du soufflage pendant la foration de 312 à 503 m et de 4h de dévelloppement par soufflage à 503 m de profondeur pour un débit d'exhaure mesuré au sceau de 100 m<sup>3</sup>/h (incertitude liée à la mesure de l'ordre de +/- 10 %);
- rabattement total de 1,29 le 13 mai suite au développement de l'ouvrage par soufflage à 90 m pendant 2h (débit mesuré au sceau = 35 m3/h), puis 2h à 190 m (débit mesuré au sceau = 70 m<sup>3</sup>/h) et 11h à 503 m de 8h à 19h (débit mesuré au sceau = 70 m<sup>3</sup>/h);
- remontée de 4 cm de la piézomètrie suite à la première acidification du 19ai (injection de 3 T d'acide);
- rabattement total de 1,26 m suite à une phase de soufflage d'une durée de 3h30 le 19ai. Cette phase succéde à la première acidification qui a engendré une augmentation du débit d'exhaure de 150 m<sup>3</sup>/h (mesuré au seau), avec un soufflage à 403 m de profondeur ;

- remontée de 5 cm de la piézomètrie suite à la seconde acidification du 26 mai (injection de 6 T d'acide);
- rabattement de 1,46 m suite à une première phase de soufflage d'une durée de 3h30 le 26 mai. Cette phase succéde à la seconde acidification qui a engendrée une augmentation du débit d'exhaure à 200 m<sup>3</sup>/h (mesuré au seau), avec un soufflage à 496 m de profondeur ;
- rabattemennt total de 2.15 m après une seconde phase de soufflage de 4h à 496 m le 27 mai.



Illustration 41. Evolution de la piézométrie au point Roboul CGE

La réaction du piézomètre Roboul CGE pendant l'essai de pompage longue durée (du 10 au 15 juin) a été intégré dans l'interprétation de cet essai (cf. partie précédente).

# Forage du Mas de la Chique

Situé à environ 800 m au Nord/Nord-Est du forage Robol (Illustration 25), le forage du Mas de la Chique a été suivi ponctuellement avant et pendant l'essai par pompage longue durée. Ce forage est utilisé pour l'arrosage des oliviers de l'exploitation du mas.

Les valeurs de la piézométrie sur les trois ouvrages, avant la réalisation du pompage sont proches, mais présentent un décalage de quelques mètres. Une partie de ce décalage provient probablement des incertitudes sur les valeurs de la topographie (z). En effet, les altitudes des forages Robol et du Mas de la Chique sont définies à partir de la lecture de la carte topographique IGN, ces points n'ayant pas été nivelés. Ces

altitudes présentent ainsi une incertitude de +/- 3 m pour chaque points. L'évolution de la piézométrie mesurée au Mas de la Chique est comparable à celle mesurée au Forage Robol et piézomètre Roboul-CGE (Illustration 42). Ces informations confirment que ces trois ouvrages captent la même masse d'eau.



Illustration 42. Chronique de suivi piézométrique du Mas de la Chique, comparée aux chroniques du forage Robol et du piézomètre Roboul CGE

Les caractéristiques du forage du Mas de la Chique ont été définies lors d'un essai de pompage, en date du 5 juin 2009. Un suivi piézométrique au pas de temps fin avait été réalisé sur l'ouvrage à cette occasion (Illustration 43). Il a permis de caractériser les propriétés hydrodynamiques de ce puits. Un rabattement de 16 m est observé après 30 minutes de pompage, la remontée au niveau initial étant du même ordre de grandeur. Le calcul de la transmissivité par la méthode de Theis à partir du débit fourni par l'exploitant (28 m<sup>3</sup>/h) nous a permis d'estimer que la transmissivité de l'aquifère à proximité de ce puits serait de l'ordre de 2,66.10<sup>-3</sup> m<sup>2</sup>/s. Cette valeur a été obtenue en ne considérant aucune perte de charge. Cette valeur de transmissivité élevée indique que le puits du Mas de la Chique est probablement situé sur une zone très productive.



Illustration 43. Suivi du pompage du 5 juin au puits du Mas de la Chique

Lors des essais par paliers du 4 juin sur le forage Robol, un suivi piézométrique au pas de temps de la minute a été mis en place sur le puits du Mas de la Chique. Aucune variation n'a été observée pendant toute la durée de l'essai. Cet essai de courte durée n'a donc pas impacté le forage du Mas de la Chique.

Au cours de l'essai de pompage longue durée, du 10 au 15 juin, un suivi piézométrique ponctuel a été mis en place sur le puits du mas. Un rabattement de 8 cm a été observé après 1 jour de pompage (1440 min).

Poir	it de suivi	Forage Robol	Piézo. Roboul CGE	Mas de la Chique	
Piézométrie ava	nt pompage (m NGF)	27	21	23	
Date	Minutes de pompages	Rabattements observés (m)			
10/06/2009 15:47	264	23.09	0.27	0	
10/06/2009 18:12	409	24.09	0.58	0	
11/06/2009 09:55	1352	25.96	1.96	0.06	
11/06/2009 12:20	1497	25.64	2.08	0.08	

Illustration 44. Suivi piézométrique du Mas de la Chique au cours du pompage longue durée, comparé aux suivis du forage Robol et du piézomètre Roboul CGE

Aussi, après le deuxième jour de l'essai de longue durée, le puits du Mas de la Chique a été utilisé pour l'irrigation des cultures du mas, le débit pompé fourni par l'exploitant, étant égal à 28 m<sup>3</sup>/h. Une fois l'irrigation mise en place au Mas, il n'a plus été possible de suivre les niveaux naturels et donc d'observer directement l'influence du pompage du forage Robol. Il était en effet prévu de mesurer les niveaux du puits du Mas de la Chique deux heures après les interruptions de pompage (cycle de pompage fourni par l'exploitant de 6 à 14 h, interruption de 14 à 18 h puis reprise), afin de pouvoir

différencier les rabattements dus au pompage au Mas, des rabattements engendrés par l'essai de pompage sur le forage Robol. Or les pompages pour l'irrigation ont été réalisés de façon continue du 12 au 15 juin. Il n'a donc pas été possible de suivre pendant cette période l'évolution piézométrique non influencée du pompage pour l'irrigation. Les mesures réalisées à la fin de l'essai longue durée pendant le double pompage (pompages au forage Robol et au Mas de la Chique pour l'irrigation) ont révélé que le rabattement total induit par les deux pompages était d'environ 17,2 m. Or le suivi de la piézométrie sur le forage de Mas de la Chique, lors du pompage pour l'irrigation a révélé que le rabattement engendré était d'environ 16 m. Ceci implique que le rabattement du au pompage sur le forage Robol à impacté l'ouvrage du Mas de la Chique en diminuant d'environ 1,2 m (17,2 m – 16 m) le niveau d'eau après 5 jours de pompage.

Aussi, afin de vérifier l'impact du pompage sur l'équipement du forage du Mas de la Chique (position de la pompe) lors de la réalisation des pompages, les différentes profondeurs de rabattement ont été calculées. Ainsi la cote mesurée lors du pompage au Mas de la Chique est + 7 m NGF (23 m – 16 m). Après le pompage de 5 jours la cote était égale à + 6 m NGF. La pompe étant située à – 7 m NGF (Illustration 45), il existe une possibilité de rabattement d'encore 13 m.



Illustration 45. Coupe synthétique du forage du Mas de la Chique, du forage Robol et du piézomètre Roboul CGE

# Espira de l'Agly

Le piézomètre situé à proximité de la commune d'Espira-de-l'Agly a conservé une piézométrie relativement constante sur les mois de mai et juin. La température de 16,1°C est restée stable. Ce point n'a pas été influencé par les essais de pompage sur le forage Robol (Illustration 46).



Illustration 46. Evolution de la piézométrie et de la température à Espira-de-l'Agly

# Salses

La température observée au niveau de Salses (Illustration 47) est restée stable à 17,1°C durant les mois de mai et juin. Sur cette période, la conductivité augmente légèrement de l'ordre d'une dizaine de  $\mu$ S/cm. Cette augmentation étant constante sur près d'un mois, nous pouvons considérer qu'elle est indépendante de la réalisation de l'essai de pompage. Concernant la piézométrie, une régression linéaire ajustée sur la courbe entre fin mai et fin juin montre une décroissance continue du niveau d'eau sur ce point. La piézométrie de ce point ne semble donc pas avoir été influencée 'a pas été influencée par les essais de pompage réalisés sur le forage Robol.



Illustration 47. Chronique de suivi du piézomètre de Salses

# Font Dame (P102) et piézomètre P107

Les piézomètres situés à proximité de l'exutoire du système, P102 et P107, ont enregistré une baisse du niveau d'eau, relativement constante depuis les crues de mai.

Au niveau du P102, cette baisse est de 7 cm sur deux mois (Illustration 48). La température est restée stable à 17,6°.



Illustration 48. Chronique de suivi du piézométre P102



Le P107 a, quant à lui, enregistré une baisse régulière de 21 cm entre le 11 mai et le 24 juin (Illustration 49).

Illustration 49. Chronique de suivi du piézométre P107

A l'instar du piézomètre P104 situé dans la Combe Française, la régression linéaire sur les courbes de piézométrie du P102 et du P107 caractérise une décroissance linéaire sur la période de début mai à fin juin, cette décroissance n'évolue pas lors du pompage réalisé du 10 au 15 juin. Ces deux points n'ont donc pas été influencés par les essais de pompage réalisés au forage Robol.

# Fontestramar

En contrebas de la source de Fontestramar, un suivi de conductivité et de température est en place au niveau de la pisciculture ExtraMer. Les chroniques de ce suivi (Illustration 50) montrent que les investigations sur le forage Robol n'ont pas modifié l'évolution des paramètres suivis à Fontestramar. En effet, la température et la conductivité subissent une augmentation saisonnière régulière qui, au regard des chroniques disponibles sur les cinq dernières annénes ne semblent pas être différente au cours de la période des essais de pompage réalisés.



Illustration 50. Chronique de suivi de Fontestramar

#### Baixas

Le piézomètre de Baixas, situé au Sud-Ouest du forage Robol, sur le flanc Sud du synclinal, a lui aussi enregistré une baisse régulière du niveau d'eau sur les mois de mai et juin comme le montre la régression linéaire sur la courbe de piézométrie (Illustration 51). Cette baisse est de l'ordre de 5 mètres entre le 11 mai et le 25 juin.

La température est restée stable à 17,1°C. Le piézomètre de Baixas n'a donc pas été impacté par les essais par pompage réalisés au forage Robol.



Illustration 51. Chronique de suivi du piézomètre de Baixas

# Formation Oligocène

Un suivi ponctuel a été réalisé au Mas Passe Temps et Mas Vespeille avant et après le pompage de longue durée. Les mesures de niveau sont consignées dans l'Illustration 52.

	Mas Passe Temps	Mas Vespeille
10/06/2009 10 h 00	9m53	3m40
15/06/2009 10 h 00	9m54	2m70

Illustration 52. Niveaux piézométriques au Mas Passe Temps et Vespeille

Le Mas Passe Temps est caractérisé par une absence de variation des niveaux. Par contre les niveaux au Mas Vespeille sont remontés, en l'absence de précipitation sur cette période il est difficile d'expliquer cette augmentation, elle peut être liée à de l'irrigation sur les parcelles localisées à proximité du puits. Il semble donc que le pompage n'est pas eu d'impact sur ces deux points donc sur la nappe Oligocène.

# 3.2.3. Relation entre le forage et l'aquifère

Parmi les piézomètres situés sur l'aquifère karstique et suivis pendant les essais de pompage, seul le piézomètre Roboul CGE situé à proximité du forage (220 m) a réagi significativement. Le niveau piézométrique du forage du Mas de la Chique a très

faiblement réagi aux pompages. Les essais de pompage n'ont donc engendrés aucune incidence au niveau régional.

#### 3.3. SYNTHESE DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE LOCAL

L'interprétation de l'essai de pompage à l'aide du modèle de NIND a permis un bon ajustement des courbes de rabattement au niveau du forage ainsi qu'au niveau du piézomètre d'observation (forage Roboul CGE). Le modèle hydrodynamique considéré permet d'identifier également une zone de forte perméabilité située à quelques 100 mètres à l'Ouest du forage Robol; cette zone fonctionne en tant que zone d'alimentation. Après quelques cent minutes de pompage, l'eau pompée proviendrait exclusivement de cette structure de forte perméabilité. Celle-ci correspondrait à une zone de plus forte perméabilité assurant un bon drainage de l'eau souterraine entre les pertes et les exutoires du système karstique des Corbières d'Opoul et du synclinal du Bas-Agly. Il peut s'agir de conduits karstiques aux drains de grande dimension, le forage de Robol pouvant être situé sur un drain annexe de dimension moindre. Ces conduits seraient situés à une profondeur similaire à celle du drain recoupé dans le forage de Robol.

L'influence de l'essai de pompage réalisé au niveau du forage de Robol est très locale pour les conditions de l'essai (pompage de 50 m<sup>3</sup>/h). Parmi les ouvrages suivis, l'influence n'a été observée qu'au niveau du piézomètre Roboul CGE et du forage du Mas de la Chique.

Le fonctionnement hydrogéologique local a été observé au cours de l'essai de pompage. Le milieu karstique étant hétérogène, l'aquifère n'a pas forcément un comportement linéaire. Il n'est par conséquent pas possible de prédire quelle sera l'influence d'un pompage à un débit supérieur sur les forages à proximité.

Au niveau local, une zone de plus forte perméabilité assurant un bon transfert des eaux souterraines a été ainsi mise en évidence. Cette zone assure probablement un drainage des eaux souterraines entre la zone amont (zone des pertes) et la zone d'exutoire du système (Sources de Fontestramar et de Font Dame).

# 4. Caractérisation géochimique des eaux de l'ouvrage de reconnaissance

# 4.1. DONNEES CHIMIQUES DISPONIBLES

Au cours de la foration et lors des essais de pompage, des échantillons d'eau ont été prélevés en vue d'effectuer des analyses géochimiques. Les paramètres physicochimiques des eaux échantillonnées sont rassemblés dans les tableaux 4 et 5 en annexe 2. La figure suivante (Illustration 53) reporte les principales phases de la foration, d'acidification et de pompage et permet de repositionner les périodes au cours desquelles des échantillons ont été prélevés.

Un échantillon d'eau a été sélectionné en vue de disposer d'une analyse d'eau au cours de la foration (304 m de profondeur, éch. N°1). Cet échantillon permettra de caractériser la signature géochimique des arrivées d'eau rencontrées aux profondeurs inférieures à 304 m (contribution inférieure à 30 % d'après la diagraphie en production).

L'échantillon prélevée au cours du 07/05/09 lors du développement de l'ouvrage (débit au soufflage = 100 m<sup>3</sup>/h) permet de caractériser la signature géochimique des eaux de l'aquifère avant les phases d'acidification et plus particulièrement les eaux produites par la cavité productive situé à 420 m de profondeur (éch. N°2).

Les échantillons N°3 et N°4 ont été prélevés au cours des paliers 2 et 3. Les échantillons N°5 à N°9, l'ont été au cours de l'essai de pompage de longue durée.

Les éléments majeurs et quelques éléments traces ont été systématiquement analysés. Les résultats sont reportés dans les tableaux 4 et 5 en annexe 2. Des analyses isotopiques (isotopes stables de l'eau et isotope du strontium) ont été réalisées sur 4 échantillons d'eau (N° 1, 2, 7 et 9). Les résultats sont reportés dans le tableau 6 en annexe 2.

En complément au suivi chimique, la recherche des phytosanitaires a été effectuée par le Conseil Général 66 sur l'échantillon prélevé le 11 juin 2009 à 9h (résultats en annexe 2).

L'échantillon N°10 reporté dans les tableaux de résultats permet de caractériser la signature chimique et isotopique des eaux du Mas de la Chique.

Dans le but de replacer le chimisme des eaux du forage de Robol dans le contexte géochimique du secteur d'étude, nous avons utilisé les données géochimiques acquises au cours des études antérieures (Rapports BRGM/RP-52918-FR; BRGM/RP-52918-FR 54708-FR). Nous disposons d'information sur les points d'eau suivants : Fontestramar (10795X0001/S), Font Dame (10795X0028), Forage de Salses

(10795X0070), Mas de la Chique (10904X0001/F), Piézomètre Roboul (BSS 10904X0105), ruisseau Roboul, Case de Pène (10903X0026)), Agly et Verdouble prélevés au niveau des zones des pertes.



Illustration 53. Position des points d'eau échantillonnée et decrisption des principales phases de travaux sur l'ouvrage de Robol. Les niveaux piézométriques et les conductivité des eaux du forage Robol et du Piézomètre Roboul-CGE sont également reportés.

# 4.2. MISE EN EVIDENCE ROLE JOUE PAR LES PHASES D'ACIDIFICATION

Les eaux prélevées par soufflage lors de la foration à la profondeur de 304 m (éch. N°1) présentent une conductivité de 552  $\mu$ S/cm. Cette valeur est comparable à celle mesurée dans le piézomètre de Roboul situé à 200 m environ (Illustration 53).

La conductivité électrique des eaux pompées au cours de la phase de développement de l'ouvrage (soufflage à 100 m<sup>3</sup>/h du 8 mai) est de l'ordre de 630 µs/cm (éch. N°2). Les conductivités mesurées par Hydro Assistance lors de la diagraphie de production en pompage (réalisé le 3 juin 2009) apparaissent nettement plus élevées (de l'ordre de 1130 µS/cm). Ce résultat suggère une modification des caractéristiques chimiques des eaux de l'aquifère au voisinage du forage, suite aux 2 phases d'acidification. Ces résultats sont corroborés par les analyses géochimiques réalisées dans cette étude. On montre notamment à l'aide du diagramme Na vs Cl (Illustration 54) que les eaux

pompées au cours des essais par palier sont particulièrement enrichies en Cl. Au cours du pompage longue durée, les teneurs en Cl diminuent progressivement sans toutefois atteindre les valeurs mesurées avant les phases d'acidification (échantillon n°2).

Les phases d'acidification (utilisation d'acide chlorhydrique) ont eu comme conséquence d'augmenter les teneurs en Cl mais également les teneurs en HCO3, Ca, Sr et Mg en raison de la dissolution des carbonates recoupés par l'ouvrage. Compte tenu du flux naturel ascendant (de l'ordre de 2 m<sup>3</sup>/h) mis en évidence à l'aide de la diagraphie de production naturelle du 02/07/09, on peut raisonnablement penser que l'acidification n'a pas uniquement concerné la partie profonde de l'ouvrage bien que la canne d'injection ait été positionnée à 420 m de profondeur. L'acidification a donc concerné l'ensemble des calcaires recoupés par l'ouvrage.

A l'exception des teneurs en HCO3, Ca, Sr Mg (paramètres dominant des roches carbonaté et Cl (apporté pas l'acidification), les teneurs des autres éléments chimiques sont restées stables au cours du pompage (Illustration 55).

Le piézomètre de Roboul situé à 220 m à priori en amont hydraulique de l'ouvrage Robol n'a pas été affectée par les phases d'acidification puisque la conductivité des eaux est restée stable (Illustration 53).



Illustration 54. Evolution des teneurs en Na des eaux du forage Robol en fonction des teneurs en Cl. Les eaux du forages Robol ont été replacées dans le contexte géochimique du système karstique du Bas Agly



Illustration 55. Paramètres chimiques [éléments majeurs et trace (Sr)] des eaux prélevées avant les phases d'acidification et évolutions pendant le pompage

# 4.3. QUALITE DES EAUX DU FORAGE ROBOL

Compte tenu des effets liés aux phases d'acidification, seuls les échantillons d'eau N°1 et N°2 permettent d'accéder aux caractéristiques naturelles des eaux profondes recoupées par l'ouvrage (Illustration 56).

Les eaux présentent un facies bicarbonaté calcique à tendance sulfatée calcique et des teneurs variables en nitrate selon la profondeur (teneurs inférieures à la limite de potabilité des eaux à savoir 50 mg/l). Les teneurs en nitrate des eaux prélevées à 302 m (de l'ordre de 18 mg/l) sont plus élevées que celles prélevées plus profondément lors de la phase de développement de l'ouvrage par soufflage (de l'ordre de 6 mg/l).

Puisque les fissures recoupés jusqu'à 302 m de profondeur ne produisent tout au plus que 35 % du flux total pompé (cf. Diagraphie de production – Annexe 3), les eaux profondes sollicitées entre 420 et 430 m de profondeur sont globalement pas ou peu chargées en nitrate, puisque les résultats du mélange (= la signature de l'échantillon N°2) sont de l'ordre de 6 mg/l. Un rapide calcul de proportion de mélange permet

d'estimer la concentration de l'eau sollicitée par la fissure productrice (420-430 m de profondeur), les teneurs en nitrate seraient inférieures 1 mg/l.

Les teneurs en silice et en magnésium des eaux prélevées au soufflage à 100 m<sup>3</sup>/h à 500 m mobilisant l'ensemble de la colonne d'eau (ech. N°2) apparaissent nettement supérieures à celles des eaux prélevées à 302 m par soufflage (ech. N°1, Illustration 56). Ces résultats suggèrent que l'eau sollicitée en profondeur par le drain (420-430 m de profondeur) a subi un temps de réaction important avec la roche carbonaté pour acquérir une minéralisation en silice >8.3 mg/l et >15.6 mg/l. En considérant les flux de production de l'ouvrage, on estime que les eaux sollicitées par le drain (420-430 m de profondeur) présentent des teneurs en silice de l'ordre de 9 mg/l et des teneurs en Mg de l'ordre de 19 mg/l. Ces concentrations élevées en contexte karstique suggèrent que le temps de résidence dans le système de l'eau sollicitée par le drain est important (plusieurs mois).

Les teneurs en Na et Cl des eaux sont comparables aux teneurs mesurées dans les eaux de surface (Agly et Verdouble) qui s'infiltrent au niveau des zones de pertes d'Estagel (Illustration 54). Le faciès chimique des eaux prélevées lors du soufflage apparaît par ailleurs très comparable avec celui des eaux qui s'infiltrent au niveau des zones de pertes d'Estagel. Ce résultat suggère qu'un transfert de masse existe entre la zone des pertes et la zone d'étude. Le transfert de pression entre la zone de pertes et la zone d'étude ment mis en évidence (BRGM/RP-54708-FR).

Les eaux prélevées par soufflage présentent de très faibles teneurs en métaux lourds : Cu (0.3  $\mu$ g/l, proche du seuil de détection), Zn (1.8  $\mu$ g/l) et As (0.22  $\mu$ g/l).

	n° echantillon		1	2	
			F. Robol1	F. Robol2	
	LQ		05/05/2009	07/05/2009	
CO3	5	mg/l	< LQ	< LQ	
Ca	0.5	mg/l	81.1	94.9	
Mg	0.5	mg/l	8.8	15.6	
Na	0.5	mg/l	13.7	11.5	
К	0.5	mg/l	1.2	1.3	
HCO3-	5	mg/l	198	185	
CI	0.5	mg/l	19.3	16.1	
NO3	0.5	mg/l	17.6	6.2	
NH4	0.05	mg/l	< LQ	< LQ	
NO2	0.01	mg/l	0.08	0.04	
SO4	0.5	mg/l	65.5	151	
SiO2	0.5	mg/l	7.9	8.6	
В	1	µg/l	17.2	15.8	
Sr	1	µg/l	454.1	768.9	
AI	1	µg/l	< LQ	< LQ	
Fe	0.02	mg/l	< LQ	< LQ	
Ва	0.1	µg/l	13.6	18	
Li	1	µg/l	4.2	4	
Cd	0.025	µg/l	< LQ	< LQ	
Cu	0.3	µg/l	< LQ	0.3	
Pb	0.1	µg/l	< LQ	< LQ	
Zn	1	µg/l	1.6	1.8	
F	0.1	mg/l	< LQ	0.1	
Mn	0.1	µg/l	2.4	0.1	
Ag	0.01	µg/l	0.01	< LQ	
As	0.05	µg/l	0.21	0.22	
Be	0.01	µg/l	< LQ	< LQ	
Со	0.1	µg/l	< LQ	< LQ	
Cr	1	µg/l	< LQ	< LQ	
Ni	0.5	µg/l	0.7	< LQ	
PO4	0.1	ma/l	< LQ	< LQ	

Illustration 56. Signatures chimiques des eaux prélévées à 302 m de profondeur lors de la foration et des eaux prélevées lors de la phase de développement de l'ouvrage par soufflage (Q=100 m3/h)

#### Produits phytosanitaires

L'analyse des phytosanitaires réalisée par le Centre d'Analyses Méditerranée Pyrénées (Annexe 2), révèle la présence de terbuthylazin déséthyl et de simazine mais à des concentrations inférieures à la limite de qualité (0,1  $\mu$ g/l), soit de respectivement 0,027 et 0,035  $\mu$ g/l. Les autres molécules analysées présentent des concentrations inférieures aux limites de détection.

# 4.4. ORIGINE DES EAUX DU FORAGE ROBOL

La caractérisation de l'origine des eaux pompées par le forage Robol a été abordée à l'aide des isotopes stables de l'eau. Les études antérieures avait permis de montrer que la signature isotopique des différentes composantes du système du Bas-Agly se distinguaient les unes des autres par des teneurs différentes (BRGM/RP-52918-FR; BRGM/RP-52918-FR 54708-FR). Les eaux les plus appauvries en isotopes stables sont celles prélevées au niveau de l'Agly. Ce résultat s'explique par le fait qu'il existe au sein des pluies un gradient isotopique (compris entre -0.15 ‰/100 m et -0.3 ‰/100 m pour l'oxygène 18) qui se manifeste par un appauvrissement en isotopes lourds en fonction de l'altitude. L'altitude moyenne du bassin versant de l'Agly étant bien supérieure à celle du bassin versant du Verdouble, la signature isotopique de l'Agly apparaît plus appauvrie en isotopes lourds (de l'ordre de  $\delta^{18}O = -7.5$  ‰) que celles du Verdouble (comprise entre  $\delta^{18}O$ =-6.8 ‰ et  $\delta^{18}O$ = -6.5 ‰). Les échantillons représentatifs des pluies tombant uniquement sur les secteurs où les calcaires affleurent présentent une signature enrichie, comprise entre -6 ‰ et -5 ‰ pour l'oxygène 18. Ceci est en lien avec leur altitude moyenne plus faible que celles des bassins versants de l'Agly et du Verdouble.

Les eaux de la composante salée (Etang) présentent une signature proche de 0 ‰ aussi bien pour l'oxygène des pluies que pour le deutérium.

Dans un digramme  $\delta^2$ H vs  $\delta^{18}$ O, les signatures des eaux de l'Agly et du Verdouble se répartissent suivant les droites des eaux météoriques mondiale et locale. Les eaux du forage Robol apparaissent très appauvries en isotopes lourds et se positionnent dans le domaine défini pour les eaux de l'Agly (Illustration 57). Dans un diagramme  $\delta^{18}$ O vs Na (Illustration 58), les eaux du forage Robol apparaissent à la fois très appauvries en isotopes lourds et très peu chargée en Na et présentent de nouveau une signature comparable à celles de l'Agly. Ces résultats permettent donc de montrer que les eaux sollicitées par le forage Robol sont en connexion hydraulique et massique avec la zone des pertes de l'Agly.



Illustration 57. Evolution des teneurs en deutérieum des eaux du forage Robol en fonction des teneurs en oxygène 18. Les eaux du forages Robol ont été replacées dans le contexte géochimique du système karstique du Bas Agly



Illustration 58. Evolution des teneurs en sodium des eaux du forage Robol en fonction des teneurs en oxygène 18. Les eaux du forages Robol ont été replacées dans le contexte géochimique du système karstique du Bas Agly

# **5.** Conclusion et perspectives

#### 5.1. SYNTHESE DES CONNAISSANCES GEOLOGIQUES ET HYDROGEOLOGIQUES

Le forage du Robol réalisé dans le cadre de ce projet de démonstration a apporté des confirmations tant du point de vue géologique qu'hydrogéologique concernant la structure et le fonctionnement du système karstique du synclinal du Bas-Agly et des Corbières d'Opoul.

Du point de vue géologique et structural, le forage de Robol apporte des observations qui permettent de confirmer les hypothèses émises concernant la structure du synclinal, à partir des données régionales et notamment de profil sismique. Il y a un doublement de la série à l'aplomb du forage, du à l'existence d'une faille inverse.

Du point de vue de la karstification, trois niveaux de karstification ont été recoupés par le forage ; le niveau inférieur situé à 430 m de profondeur est le plus productif. Ces trois niveaux sont en cohérence avec le schéma conceptuel établi au cours des deux premières phases d'étude du projet concernant les systèmes karstiques des Corbières Orientales.

Au vu des résultats des pompages d'essais et des analyses hydrochimiques, il ressort que le forage de Robol intercepte un drain de faible dimension (20 cm de diamètre) à 420 m de profondeur, qui est connecté à priori à une zone plus productive pouvant être assimilée à un drain de plus grande dimension. Ce conduit est probablement un des collecteurs principal de l'axe de drainage souterrain situé sur le flanc septentrional du synclinal entre la zone des pertes et la zone d'exutoire. L'influence du pompage sur les niveaux d'eau des forages environnants ne concerne que les forages CGE du Roboul et du Mas de la Chique. Il n'y a aucune influence en particulier sur les débits des exutoires, source de Fontestramar et source de Fontdame. Le débit cumulé des deux sources au moment des essais de pompage est de l'ordre de 2 m<sup>3</sup>/s (± 200 l/s). Le débit pompé au forage est environ 150 fois inférieur au débit de l'exutoire.

L'eau du forage est de type bicarbonaté calcique à tendance sulfaté calcique. Du point de vue de la qualité, l'eau est peu chargée en nitrate (de l'ordre du  $\mu$ g/l). De plus, les teneurs en pesticides (présence de terbuthylazin déséthyl et simazine) sont inférieures à la limite de qualité (0.1 mg/l). L'eau sollicitée par le pompage sur cet ouvrage de reconnaissance est de bonne qualité.

Les teneurs en silice et magnésium constituent des concentrations élevées pour un environnement carbonaté karstique, avec 9 mg/l respectivement 19 mg/l. Ces valeurs indiqueraient que le temps de résidence de l'eau dans l'aquifère, notamment au niveau du drain est important, permettant ainsi des réactions eau-roche. Le temps de résidence est probablement de plusieurs mois. L'interprétation des données isotopiques de l'eau ( $\delta^{18}$ O et  $\delta^{2}$ H) permet de montrer que les eaux sollicitées par le

forage du Robol sont en connexion hydraulique et massique avec la zone des pertes de l'Agly.

Le forage Robol est donc situé sur un drain annexe au drain principal de l'axe de drainage qui se développe entre les pertes de l'Agly et la zone d'exutoires du système karstique. Le drain principal serait localisé à quelques 100 mètres à l'Ouest de l'ouvrage de reconnaissance et constitue une zone contributrice importante. L'interprétation des essais de pompage, en particulier l'essai de pompage de longue durée, permet d'une part d'indiquer que dès quelques 100 minutes de pompage, le forage est alimenté par une zone productrice et, d'autre part, de localiser cette zone dans l'espace. A partir de ce moment, la piézométrie du forage sollicité par pompage n'évolue pratiquement plus. L'eau pompée est remplacée par de l'eau provenant de cette structure de forte perméabilité. L'interprétation réalisée suggère que cette zone productrice représente un potentiel hydraulique susceptible d'atteindre plusieurs centaines de m<sup>3</sup>/h en exploitation.

L'ouvrage de reconnaissance ne permet pas d'exploiter de façon optimale la ressource potentiellement disponible. Les facteurs limitants sont, d'une part, le diamètre de l'ouvrage et, d'autre part, la profondeur de la chambre de captage. Cette dernière n'est pas suffisamment profonde par rapport au positionnement de la zone la plus productrice du forage, située à 420 m de profondeur, pour pouvoir solliciter l'ouvrage à un débit supérieur à 50 m<sup>3</sup>/h.

L'interprétation de l'essai de pompage de longue durée ne permet pas de définir les conséquences en termes de rabattement au niveau de l'ouvrage et des ouvrages impactés à proximité pour un débit supérieur. Ceci est liée directement à la structure hétérogène de l'aquifère karstique, dont la géométrie ainsi que la répartition spatiale de la perméabilité ne sont pas connues.

Si le potentiel en termes de ressource exploitable est mis en évidence, et que l'eau pompée est de bonne qualité, il est nécessaire, avant d'exploiter cet aquifère sur le site exploré, de procéder à un réalésage de l'ouvrage existant (forage Robol) voir à la foration d'un nouvel ouvrage.

# **5.2. PERSPECTIVES**

Ainsi, en vue de l'exploitation de cette ressource deux pistes peuvent être envisagées :

- développement du forage de Robol à l'aide d'une nouvelle acidification au ciblé au niveau du conduit situé à 420 m; test au souflage du débit en différentes profondeurs; réalésage jusqu'à la profondeur ad hoc en fonction des résultats des tests de débit au soufflage; nouvel essai de pompage au débit maximum (supérieur à 100 voir 150 m<sup>3</sup>/h),
- localisation de la zone du conduit principal dans le secteur situé à 100 mètres à l'Ouest du forage de reconnaissance dit de Robol. La localisation d'un drain à une profondeur d'investigation n'est pas possible à l'aide des techniques exploratoires géophysiques actuelles. Néanmoins, à l'aide des méthodes d'investigtation géophysique (panneaux électriques et/ou profil sismique haute résolution), les

géométries des formations, les objets de type faille ainsi que les contrastes des paramètres physiques peuvent être mises en évidence. Les zones de contraste sont en général des zones de discontinuités pouvant représenter des cibles intéressantes pour implanter un ouvrage. Implantation et réalisation d'un nouvel ouvrage afin de recouper le drain principal, dans un diamètre permettant l'utilisation d'une pompe pour un débit de plus de 150 m<sup>3</sup>/h. Développement avec acidification et essais de pompage sur le forage et en interférence avec le premier ouvrage. Suivi des niveaux piézométriques au niveau des ouvrages environnants,

- un essai de pompage de longue durée (4 à 6 semaines) réalisé sur le ou les ouvrages pour les conditions hydrologiques les moins favorables, est nécessaire pour caractériser au mieux le comportement hydrodynamique de l'aquifère. La période la moins favorable correspond à la période de basses eaux, lorsqu'il n'y a plus de soutien du débit de l'Algy par le barrage et avant les crues automnales et/ou hivernales. Il s'agit de la période de septembre à octobre de manière idéale. Il s'agit de solliciter le système dans les conditions les plus défavorables du cycle hydrologique. Si le débit maximum testé donne satisfaction pour cette période, l'exploitation de l'ouvrage au cours de l'année ne posera pas de problème,
- Une note technique avec évaluation budgétaire a été rédigée dans ce sens et remise au Conseil Général des Pyrénées Orientales à la mi-novembre 2009.

# 6. Bibliographie

**Aunay B., Le Strat P., Dörfliger N.** (2002) - Contribution à l'étude géologique du karst des Corbières (France). BRGM/RP-51595-FR.

Bourdet D., Ayoud J.A. and Prirard Y.M., 1989. Use of pressure derivative in well-test interpretation. SPE, 293-302.

**Bourdet, Whittle T.M., Dougals, A.A., Pirard V.M**., 1983. A new set of type curves simplifies well test analysis, World Oil.

**Chamel, G., Le Strat, P**., 2008. Coupe géologique passant par le forage Robol, document interne BRGM.

**Cooper H.H. and Jacob C.E.**, 1946. A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well field history. Am. Geoph. Union Trans. 27, 526-534.

**Courtois N., avec la collaboration de Bakalowicz M., Cubizolles E., Dörfliger N., lzac J.L., Ladouche B.** (2003) - Corbières : Évaluation de la ressource en eau souterraine des Corbières karstiques. Essai de traçage des pertes du Verdouble. Rapport BRGM/RP-52211-FR, 82 p., 25 fig., 4 ann.

Courtois N., Ladouche B., Dörfliger N., Lachassagne P., Petit V., avec la collaboration de Izac J-L., Cubizolles J., Thomson P. (2004) – Evaluation des ressources en eau des Corbières. Phase I – Synthèse de la caractérisation des systèmes karstiques des Corbières orientales. Rapport final. Volume 3 – Interprétation de l'essai de pompage de Caqses de Pèbne. Rap. BRGM/RP-52920-FR, 84 p., 57 ill.

**Deruyck B., Ehlig-Economides C. and Joseph J.,** 1992. Testing design and analysis. Oilfield and analysis. 28-45.

**Dörfliger N., Ladouche B. avec la collaboration de Izac J-L, Cubizolles J. et Du Couëdic C. (2004) –** Evaluation des ressources en eau des Corbières. Phase I – Synthèse de la caractérisation des systèmes karstiques des Corbières orientales. Rapport final. Volume 4 – Synthèse hydrogéologique des systèmes karstiques des Corbières orientales : la Mouillère, la Tirounère, le Verdouble. BRGM RP-52921-FR, 109p., 70 ill., 2 ann.

**Dörfliger N., Ladouche B., Le Strat P., et al.** (2004) - Synthèse de la caractérisation des systèmes karstiques des Corbières orientales - Rapport final de la phase I du projet « Évaluation des ressources en eau des Corbières ». Volume 1 - Moyens mis en œuvre et méthodologie de caractérisation. BRGM/RP-52918-FR. 107 p., 85 ill., 2 ann.

**Jacob C.E., 1947.** Drawdown test to determine effective radius of artesian well. Transactions ASCE, 112 : 1047-1064.

Ladouche B., Dörfliger N., avec la collaboration de J.L. Izac, J. Cubizolles, C. Du Couëdic, B. Aunay, P. Thomson (2004) - Synthèse de la caractérisation des systèmes karstiques des Corbières orientales - Rapport final de la phase I du projet Évaluation des ressources en eau des Corbières. Volume 2 - Caractérisations géologique et hydrogéologique du système karstique du « synclinal du Bas-Agly » BRGM/RP-52919-FR. 198 p., 109 ill., 5 ann.

**Nind T.E.W**., 1965. Influences of absolute and partial hydrologic barriers on pump test results. Can.J. Earth Sci. 2, 309-323.

Schlumberger. 2002. Well test interpretation. SCHLUMBERGER. Rap., 122 p.

**Spane F.A. and Wurstner S.K.,** 1993. DERIV: a computer program for calculating pressures derivatives fir use in hydraulic test analysis.

**Streltsova, T.D**., 1988. Well testing in heterogeneous formations. Exxon Monograph, John Wiley & Sons, Inc. p. 413.

**Theis, C.V.,** 1935. The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using groundwater storage. Trans. Am. Geoph. Union, 16, 519-524.

# Annexe 1 Données des essais de pompage du forage Robol à Salses-le-Château

# Données de l'essai par palier

Palier 1

Date /heure	Temps (min)	Niveau d'eau (m)	Rabattement (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Débit m3/h
4/6/09 7:29	0	43.86	0			0
4/6/09 7:30	1	50.88	7.02			43.2
4/6/09 7:31	2	51.62	7.76			43
4/6/09 7:32	3	52.24	8.38			43
4/6/09 7:33	4	52.78	8.92			42.9
4/6/09 7:34	5	53.2	9.34	17.1	0.97	42.7
4/6/09 7:35	6	53.59	9.73			42.4
4/6/09 7:36	7	53.93	10.07			42.5
4/6/09 7:37	8	54.23	10.37			42.7
4/6/09 7:38	9	54.51	10.65	17.3	0.996	42.5
4/6/09 7:39	10	54.78	10.92			42.3
4/6/09 7:41	12	55.23	11.37	17.6	0.933	42.1
4/6/09 7:43	14	55.63	11.77	17.7	0.901	42.1
4/6/09 7:45	16	56	12.14	17.8	0.906	42.1
4/6/09 7:47	18	56.28	12.42			42.1
4/6/09 7:49	20	56.63	12.77	17.8	0.926	42
4/6/09 7:52	23	57.05	13.19	17.8	0.932	41.9
4/6/09 7:55	26	57.4	13.54	17.9	0.968	41.8
4/6/09 7:59	30	57.83	13.97	17.9	0.973	41.8
4/6/09 8:04	35	58.3	14.44	18	0.985	41.6
4/6/09 8:09	40	58.77	14.91			41.4
4/6/09 8:14	45	59.08	15.22	18	0.977	41.4
4/6/09 8:19	50	59.42	15.56	18	0.989	41.4
4/6/09 8:24	55	59.74	15.88	18.1	0.998	41.2
4/6/09 8:29	60	60	16.14			41.2
4/6/09 8:29	60.5	52.34	8.48			0
4/6/09 8:30	61	52.28	8.42			0
4/6/09 8:31	62	51.62	7.70			0
4/6/09 8:32	63	51.01	7.15			0
4/6/09 8:33	65	50.54	0.08			0
4/0/09 0.34	60	50.14 40.91	0.20 5.05			0
4/0/09 8:35	67	49.01	5.90			0
4/6/09 8:37	68	49.33	5.09			0
4/6/09 8:38	69	49.29	5.45			0
4/6/09 8:30	70	48.96	5.20			0
4/6/09 8.41	72	48.67	<u> </u>			0
4/6/09 8:43	74	48 41	4.55			0
4/6/09 8:45	76	48.18	4.32			0
4/6/09 8:47	78	47.97	4 11			0
4/6/09 8:49	80	47 79	3.93			0
4/6/09 8:52	83	47.53	3.67			0
4/6/09 8:55	86	47.31	3.45			0
4/6/09 8:59	90	47.05	3,19			0
4/6/09 9:04	95	46.78	2.92			0
4/6/09 9:09	100	46.56	2.7			0
4/6/09 9:14	105	46.35	2.49			0
4/6/09 9:19	110	46.18	2.32			0
4/6/09 9:24	115	46.04	2.18			0
4/6/09 9:29	120	45.89	2.03			0

Palier	2
--------	---

Date /heure	Temps (min)	Niveau d'eau (m)	Rabattement (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Débit m3/h	
4/6/09 9:44	0	45.63	0			0	
4/6/09 9:45	1	51.9	6.27			60	
4/6/09 9:46	2	55.44	9.81			60	
4/6/09 9:47	3	56.94	11.31			60	
4/6/09 9:48	4	58.11	12.48	17.8	1.026	59.3	
4/6/09 9:49	5	58.98	13.35			58.9	
4/6/09 9:50	6	59.7	14.07	17.8	1.056	58.8	
4/6/09 9:51	7	60.33	14.7	-		58.6	
4/6/09 9:52	8	60.83	15.2	17.9	1.034	58.3	
4/6/09 9:53	9	61.29	15.66			58.1	
4/6/09 9:54	10	61.68	16.05			58	
4/6/09 9:56	12	62.38	16.75			57.8	
4/6/09 9:58	14	62.98	17.35	18	1.073	57.6	
4/6/09 10:00	16	63.52	17.89			57.6	
4/6/09 10:02	18	64	18.37			57.4	
4/6/09 10:04	20	64.42	18.79			57.2	
4/6/09 10:07	23	65	19.37			57	
4/6/09 10:10	26	65.49	19.86			56.9	
4/6/09 10:14	30	66.09	20.46	18	1.054	56.7	
4/6/09 10:19	35	66.74	21.11	18.1	1.068	56.6	
4/6/09 10:24	40	67.29	21.66	-		56.6	
4/6/09 10:29	45	67.79	22.16	18.2	1.06	56.5	
4/6/09 10:34	50	68.23	22.6	18.2	1.053	56.1	
4/6/09 10:39	55	68.68	23.05	18.2	1.051	55.9	
4/6/09 10:44	60	68.69	23.06			55.9	
4/6/09 10:44	60	57.82	12.19			0	
4/6/09 10:45	61	57.93	12.3			0	
4/6/09 10:46	62	56.75	11.12			0	
4/6/09 10:47	63	55.73	10.1			0	
4/6/09 10:48	64	54.91	9.28			0	
4/6/09 10:49	65	54.23	8.6			0	
4/6/09 10:50	66	53.75	8.12			0	
4/6/09 10:51	67	53.3	7.67			0	
4/6/09 10:52	68	52.93	7.3			0	
4/6/09 10:53	69	52.57	6.94			0	
4/6/09 10:54	70	52.29	6.66			0	
4/6/09 10:56	72	51.83	6.2			0	
4/6/09 10:58	74	51.38	5.75			0	
4/6/09 11:00	76	51.04	5.41			0	
4/6/09 11:02	78	50.7	5.07			0	
4/6/09 11:04	80	50.38	4.75			0	
4/6/09 11:07	83	49.98	4.35			0	
4/6/09 11:10	86	49.61	3.98			0	
4/6/09 11:14	90	49.23	3.6			0	
4/6/09 11:19	95	48.81	3.18			0	
4/6/09 11:24	100	48.44	2.81			0	
4/6/09 11:29	105	48.18	2.55			0	
4/6/09 11:34	110	47.86	2.23			0	
4/6/09 11:39	115	47.61	1.98			0	
4/6/09 11:44	120	47.4	1.77			0	
4/6/09 11:54	130	47.03	1.4			0	
4/6/09 12:08	144	46.62	0.99			0	
Palier 3							
--------------	-------------	------------------	-----------------	------------	---------------	------------	--
Date /heure	Temps (min)	Niveau d'eau (m)	Rabattement (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Débit m3/h	
4/6/09 13:23	0	45.43	0			0	
4/6/09 13:24	1	57.3	11.87			74	
4/6/09 13:25	2	59.65	14.22			74.2	
4/6/09 13:26	3	61.36	15.93	18.2	1.045	73.5	
4/6/09 13:27	4	62.59	17.16			73	
4/6/09 13:28	5	63.58	18.15	18	1.062	72.2	
4/6/09 13:29	6	64.38	18.95			71.8	
4/6/09 13:30	7	65.08	19.65	18	1.045	71.3	
4/6/09 13:31	8	65.68	20.25	-		71.2	
4/6/09 13:32	9	66.22	20.79			70.9	
4/6/09 13:33	10	66.73	21.3			70.5	
4/6/09 13:35	12	67.55	22.12	18.4	1.03	70	
4/6/09 13:37	14	68.31	22.88	18.4	0.962	69.8	
4/6/09 13:39	16	68.95	23.52	-		69.4	
4/6/09 13:41	18	69.52	24.09			69	
4/6/09 13:43	20	70.03	24.6			68.9	
4/6/09 13:46	23	70.72	25.29			68.8	
4/6/09 13:49	26	71.33	25.9	18.6	0.999	68.3	
4/6/09 13:53	30	72.02	26.59	18.5	1.011	68	
4/6/09 13:58	35	72.79	27.36			67.6	
4/6/09 14:03	40	73.45	28.02	18.5	1.004	67.2	
4/6/09 14:08	45	74.02	28.59			66.9	
4/6/09 14:13	50	74.53	29.1	18.6	1.001	66.6	
4/6/09 14:18	55	75.02	29.59	18.6	0.998	66.3	
4/6/09 14:23	60	75.44	30.01			66	
4/6/09 14:23	60	61.25	15.82			0	
4/6/09 14:24	61	60.9	15.47			0	
4/6/09 14:25	62	60.05	14.62			0	
4/6/09 14:26	63	58.78	13.35			0	
4/6/09 14:27	64	57.65	12.22			0	
4/6/09 14:28	65	56.9	11.47			0	
4/6/09 14:29	66	56.19	10.76			0	
4/6/09 14:30	67	55.6	10.17			0	
4/6/09 14:31	68	55.05	9.62			0	
4/6/09 14:32	69	54.65	9.22			0	
4/6/09 14:33	70	54.23	8.8			0	
4/6/09 14:35	72	53.67	8.24			0	
4/6/09 14:37	74	53.13	7.7			0	
4/6/09 14:39	76	52.56	7.13			0	
4/6/09 14:41	78	52.23	6.8			0	
4/6/09 14:43	80	51.86	6.43			0	
4/6/09 14:47	84	51.14	5.71			0	
4/6/09 14:49	86	50.9	5.47			0	
4/6/09 14:53	90	50.3	4.87			0	
4/6/09 14:58	95	49.85	4.42			0	
4/6/09 15:03	100	49.4	3.97			0	
4/6/09 15:08	105	49.04	3.61			0	
4/6/09 15:13	110	48.64	3.21			U	
4/6/09 15:18	115	48.41	2.98			U	
4/6/09 15:23	120	48.16	2.73			U	
4/6/09 15:33	130	47.72	2.29			U	
4/6/09 15:43	140	47.30	1.93			U	
4/0/09 15:53	150	40.97	1.54			0	
4/0/09 10:00	103	40.00	1.25			0	
4/0/09 16:12	169	40.58	1.15			U	

Date /heure	Temps (min)	Niveau d'eau (m)	Rabattement (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Débit m3/h
10/6/09 11:23	0	43.87	0.00	17.9	1.021	0.00
10/6/09 11:24	1	51.17	7.30	17.9	1.021	47.00
10/6/09 11:25	2	51.59	7.72	17.4	1.002	47.00
10/6/09 11:26	3	52.31	8.44	17.3	0.968	47.00
10/6/09 11:27	4	52.92	9.05	17.2	0.911	47.00
10/6/09 11:28	5	53.38	9.51	17.1	0.877	47.00
10/6/09 11:29	6	53.80	9.93	17.2	0.868	45.90
10/6/09 11:30	7	54.16	10.29	17.2	0.857	45.90
10/6/09 11:31	8	54.48	10.61	17.3	0.853	45.90
10/6/09 11:32	9	54.77	10.90	17.5	0.851	45.90
10/6/09 11:33	10	55.01	11.14	17.6	0.849	45.90
10/6/09 11:35	12	55.50	11.63	17.7	0.849	45.90
10/6/09 11:37	14	55.91	12.04	17.8	0.851	45.90
10/6/09 11:39	16	56.25	12.38	17.9	0.852	48.10
10/6/09 11:41	18	56.56	12.69	18	0.855	48.10
10/6/09 11:43	20	56.88	13.01	18	0.875	48.10
10/6/09 11:45	22	57.04	13.17	18	0.897	48.10
10/6/09 11:47	24	57.10	13.23	18.1	0.883	48.10
10/6/09 11:49	26	57.77	13.90	18.1	0.940	47.83
10/6/09 11:51	28	58.30	14.43	18.1	0.941	47.83
10/6/09 11:53	30	58.86	14.99	18.1	0.931	47.83
10/6/09 11:58	35	59.32	15.45	18.1	0.925	47.83
10/6/09 12:03	40	59.80	15.93	18.1	0.917	47.41
10/6/09 12:08	45	60.02	16.15	18.1	0.910	47.41
10/6/09 12:13	50	60.46	16.59	18.2	0.916	47.00
10/6/09 12:18	55	60.85	16.98	18.2	0.921	47.00
10/6/09 12:23	60	61.20	17.33	18.2	0.927	46.59
10/6/09 13:23	120	64.48	20.61	18.4	0.951	47.83
10/6/09 14:23	180	65.56	21.69	18.4	0.917	47.41
10/6/09 15:23	240	66.48	22.61	18.5	0.896	47.00
10/6/09 16:23	300	67.09	23.22	18.5	0.883	46.59
10/6/09 17:23	360	67.64	23.77	18.5	0.873	47.00
10/6/09 18:23	420	68.20	24.33	18.4	0.862	46.31
10/6/09 19:23	480	68.06	24.19	18.4	0.854	46.04
10/6/09 20:23	540	68.29	24.42	18.3	0.849	45.90
10/6/09 21:23	600	68.49	24.62	18.2	0.845	45.49
10/6/09 22:23	660	68.45	24.58	18.2	0.839	45.90
11/6/09 0:00	756	68.72	24.85	18.2	0.832	45.90
11/6/09 1:00	816	68.74	24.87	18.1	0.827	45.90
11/6/09 2:00	8/6	69.13	25.26	18.1	0.823	45.49
11/6/09 3:00	936	69.10	25.23	18.1	0.821	45.49
11/6/09 4:00	996	69.07	25.20	18.1	0.817	45.63
11/6/09 5:00	1056	69.26	25.39	18.1	0.814	45.63
11/6/09 6:00	1116	09.52	25.65	18.2	0.812	45.49
11/6/09 7:00	11/6	69.11	25.24	18.2	0.808	45.21
11/6/09 8:00	1236	69.32	25.45	18.3	0.806	45.21
11/6/09 9:00	1296	69.75	25.88	18.3	0.804	45.21
11/6/09 10:00	1350	09.43	25.50	10.3	0.800	45.63
11/6/00 12:00	1410	09.01 60.55	20.04	10.4	0.000	45.21
11/6/00 12:00	14/0	60.29	25.00	10.4	0.790	45.21
11/6/00 14:00	1030	60.74	20.01	10.0	0.794	40.21
11/0/09 14:00	1590	09.74	ZO.0/	10.D	0.791	44.ðU

## Données de l'essai longue durée - période de pompage

Date /heure	Temps (min)	Niveau d'eau (m)	Rabattement (m)	Temp. (°C)	Cond. (µS/cm)	Débit m3/h
11/6/09 15:00	1656	69.58	25.71	18.4	0.788	45.63
11/6/09 16:00	1716	69.56	25.69	18.2	0.796	44.94
11/6/09 17:00	1776	69.54	25.67	18.4	0.795	45.21
11/6/09 18:00	1836	69.85	25.98	18.4	0.792	45.21
11/6/09 19:00	1896	69.52	25.65	18.4	0.789	45.21
11/6/09 20:00	1956	69.61	25.74	18.3	0.789	45.21
11/6/09 21:00	2016	69.28	25.41	18.2	0.787	44.53
11/6/09 22:00	2076	69.73	25.86	18.2	0.785	44.80
11/6/09 23:00	2136	69.64	25.77	18.2	0.784	44.94
12/6/09 0:00	2196	69.29	25.42	18.1	0.783	44.94
12/6/09 2:00	2316	69.46	25.59	18.2	0.781	45.21
12/6/09 4:00	2436	69.92	26.05	18.1	0.777	45.49
12/6/09 6:00	2556	69.59	25.72	18.1	0.775	45.21
12/6/09 8:00	2676	69.50	25.63	18.2	0.774	45.21
12/6/09 10:00	2796	69.44	25.57	18.2	0.771	45.21
12/6/09 12:00	2916	69.92	26.05	18.4	0.768	45.49
12/6/09 14:00	3036	69.80	25.93	18.5	0.767	44.80
12/6/09 16:00	3156	69.63	25.76	18.5	0.765	45.49
12/6/09 18:00	3276	69.90	26.03	18.5	0.764	44.94
12/6/09 19:00	3336	69.72	25.85	18.5	0.765	44.94
12/6/09 20:00	3396	71.49	27.62	18.3	0.762	51.81
12/6/09 21:00	3456	72.23	28.36	18.2	0.763	51.81
12/6/09 22:00	3516	72.26	28.39	18.1	0.762	51.68
12/6/09 23:00	3576	72.49	28.62	18.1	0.761	51.40
13/6/09 0:00	3636	72.84	28.97	18.1	0.759	51.13
13/6/09 4:00	3876	72.70	28.83	18.1	0.757	51.40
13/6/09 8:00	4116	72.94	29.07	18.1	0.754	50.99
13/6/09 12:00	4356	72.85	28.98	18.4	0.751	51.13
13/6/09 16:00	4596	73.26	29.39	18.4	0.749	51.13
13/6/09 20:00	4836	73.06	29.19	18.3	0.747	50.99
14/6/09 0:00	5076	73.49	29.62	18.1	0.744	50.71
14/6/09 4:00	5316	73.08	29.21	18.1	0.742	50.99
14/6/09 8:00	5556	72.57	28.70	18.1	0.740	51.13
14/6/09 12:00	5796	73.22	29.35	18.2	0.739	51.40
14/6/09 16:00	6036	73.20	29.33	18.3	0.738	51.13
14/6/09 20:00	6276	73.01	29.14	18.2	0.736	51.13
15/6/09 0:00	6516	72.86	28.99	18.1	0.734	51.40
15/6/09 4:00	6756	73.02	29.15	18.1	0.733	50.99
15/6/09 8:00	6996	73.20	29.33	18.1	0.732	50.71
15/6/09 12:00	7237	72.62	28.75	18.4	0.730	0.00

Données de l'essai longue dur	ée – période de remontée
-------------------------------	--------------------------

Date /heure	Temps (min)	Niveau d'eau (m)	Rabattement (m)
15/06/2009 12:00	0	72.62	28.75
15/06/2009 12:01	1	71.86	27.99
15/06/2009 12:02	2	71.05	27.18
15/06/2009 12:03	3	63.09	19.22
15/06/2009 12:04	4	62.29	18.42
15/06/2009 12:05	5	61.48	17.61
15/06/2009 12:06	6	60.81	16.94
15/06/2009 12:07	7	60.25	16.38
15/06/2009 12:08	8	59.78	15.00
15/06/2009 12:09	9	59.37	15.50
15/06/2009 12:10	10	59.00	15.00
15/06/2009 12:12	12	58.36	14 49
15/06/2009 12:12	14	57.82	13.05
15/06/2009 12:14	14	57.36	13.40
15/06/2009 12.10	10	56.09	13.49
15/06/2009 12.10	10	56.60	10.11
15/06/2009 12.20	20	50.00	12.73
15/06/2009 12:22	22	50.27	12.40
15/06/2009 12:24	24	55.97	12.10
15/06/2009 12:26	26	55.67	11.80
15/06/2009 12:28	28	55.39	11.52
15/06/2009 12:30	30	55.12	11.25
15/06/2009 12:35	35	54.53	10.66
15/06/2009 12:40	40	54.01	10.14
15/06/2009 12:45	45	53.55	9.68
15/06/2009 12:50	50	53.12	9.25
15/06/2009 12:55	55	52.74	8.87
15/6/09 13:00	60	52.39	8.52
15/6/09 14:00	120	49.67	5.80
15/6/09 15:00	180	48.25	4.38
15/6/09 16:00	240	47.38	3.51
15/6/09 17:00	300	46.81	2.94
15/6/09 18:00	360	46.37	2.50
15/6/09 19:00	420	46.00	2.13
15/6/09 20:00	480	45.70	1.83
15/6/09 21:00	540	45.46	1.59
15/6/09 22:00	600	45.25	1.38
15/6/09 23:00	660	45.06	1.19
16/6/09 0:00	720	44.91	1.04
16/6/09 1:00	780	44.78	0.91
16/6/09 2:00	840	44.68	0.81
16/6/09 3:00	900	44.59	0.72
16/6/09 14.00	1560	44 41	0.54
16/6/09 16:00	1680	44.38	0.51
16/6/09 18:00	1800	44 34	0.47
16/6/09 20:00	1920	44 32	0.45
16/6/09 20:00	2040	<u>44</u> 31	0.44
17/6/00 0.00	2160	44.26	0.74
17/6/00 2:00	2200	44.20	0.39
17/6/00 4:00	2400	44.20	0.38
17/6/00 6:00	2400	44.20	0.38
17/0/09 0:00	2520	44.20	0.38
17/0/09 8:00	2040	44.25	0.38
17/6/09 10:00	2760	44.24	0.37

Date /heure	Temps (min)	Niveau d'eau (m)	Rabattement (m)
17/6/09 12:00	2880	44.21	0.34
17/6/09 14:00	3000	44.21	0.34
17/6/09 16:00	3120	44.19	0.32
17/6/09 18:00	3240	44.19	0.32
17/6/09 20:00	3360	44.19	0.32
17/6/09 22:00	3480	44.18	0.31
18/6/09 0:00	3600	44.17	0.30
18/6/09 2:00	3720	44.17	0.30
18/6/09 4:00	3840	44.20	0.33
18/6/09 6:00	3960	44.19	0.32
18/6/09 8:00	4080	44.22	0.35
18/6/09 10:00	4200	44.20	0.33
18/6/09 12:00	4320	44.21	0.34
18/6/09 14:00	4440	44.18	0.31
18/6/09 16:00	4560	44.18	0.31
18/6/09 18:00	4680	44.18	0.31
18/6/09 20:00	4800	44.16	0.29
18/6/09 22:00	4920	44.17	0.30
19/6/09 0:00	5040	44.18	0.31
19/6/09 2:00	5160	44.17	0.30
19/6/09 4:00	5280	44.18	0.31
19/6/09 6:00	5400	44.19	0.32
19/6/09 8:00	5520	44.21	0.34
19/6/09 10:00	5640	44.23	0.36
19/6/09 12:00	5760	44.23	0.36
19/6/09 14:00	5880	44.22	0.35
19/6/09 16:00	6000	44.19	0.32
19/6/09 18:00	6120	44.19	0.32
19/6/09 20:00	6240	44.19	0.32
19/6/09 22:00	6360	44.22	0.35
20/6/09 0:00	6480	44.23	0.36
20/6/09 4:00	6720	44.22	0.35
20/6/09 8:00	6960	44.25	0.38
20/6/09 12:00	7200	44.28	0.41
20/6/09 16:00	7440	44.26	0.39
20/6/09 20:00	7680	44.24	0.37
21/6/09 0:00	7920	44.25	0.38
21/6/09 4:00	8160	44.26	0.39
21/6/09 8:00	8400	44.27	0.40
21/6/09 12:00	8640	44.32	0.45

# Annexe 2 Données des analyses hydrochimiques

## - Echantillons analysés (tableaux 1 à 3)

date et heure prélèvement	Profondeur atteinte (m)	Q m3/h	Conductivité (µS/cm)	Temp (°C)	рН	Remarques
14/04/2009	115 m	5	517			Débit au soufflage
15/04/2009	166 m	10	616			Débit au soufflage
16/04/2009	288 m	15				Débit au soufflage
05/05/2009	304 m		552	15.8		Débit au soufflage, analyse 1
05/05/2009	312 m	29				Débit au soufflage
05/05/2009	327 m	33	610	16.4		Débit au soufflage
05/05/2009	350 m		609	16.3		Débit au soufflage
05/05/2009	365 m	30	606	16.7		Débit au soufflage
05/05/2009	381 m	36	622	16.1		Débit au soufflage
06/05/2009	404 m	44				Débit au soufflage
06/05/2009	441 m	70	640	17.6		Débit au soufflage
06/05/2009	464 m		620	17.6		Débit au soufflage
06/05/2009	482 m	67				Débit au soufflage
06/05/2009	489 m	98	630	16.6		Débit au soufflage
07/05/2009	500 m	100	630			Débit au soufflage, analyse 2

date et heure	nb mn	$0 m^{3/h}$	Conductivité	Temp	nН	Bemarques
prélèvement	pompage	Q III3/II	(µS/cm)	(°C)	рп	Remarques
04/06/2009 07:49	t0+ 26	42	926	17.8	6.98	Palier 1
04/06/2009 08:19	t0+ 54	41.4	989	18	6.89	Palier 1
04/06/2009 09:58	t0+ 14	57.6	1073	18	6.91	Palier 2, analyse 3
04/06/2009 10:39	t0+ 55	55.9	1051	18.2	6.9	Palier 2
04/06/2009 13:37	t0+ 14	69.8	962	18.4	7.05	Palier 3
04/06/2009 14:18	t0+ 55	66.3	998	18.6	6.97	Palier 3, analyse 4

Long	ue	Du	rée
	~~~	-	

date et neure	Conductivite	Temperature	Ha	Remarques
prélévement	(µS/cm)	(°C)	•	
10/06/2009 11:30	875	17.5	7.12	
10/06/2009 11:45	843	18.5	7.08	
10/06/2009 12:15	899	18.9	7.02	
10/06/2009 12:23	931	18.2	6.97	
10/06/2009 12:30	917	18.8	6.97	
10/06/2009 12:45	926	18.8	6.97	
10/06/2009 13:00	938	18.8	6.98	
10/06/2009 13:15	941	19	6.96	
10/06/2009 13:23	943	18.3	6.96	analyse 5
10/06/2009 13:30	934	19	6.96	
10/06/2009 14:16	906	19	6.97	
10/06/2009 14:23	917	18.4	6.96	
10/06/2009 14:55	893	19.1	7.01	
10/06/2009 15:30	884	19	6.99	
10/06/2009 16:00	878	19.1	7.02	
10/06/2009 16:30	871	19.1	7.03	
10/06/2009 17:00	868	19.3	7.02	
10/06/2009 17:30	861	19	7.02	
10/06/2009 18:00	858	19	7.04	
10/06/2009 18:30	855	19.1	7.05	
10/06/2009 23:30	825	18	7.18	
11/06/2009 08:30	797	18.3	7.2	
11/06/2009 09:00	797	18.5	7.14	analyse 6 + phytosanitaire
11/06/2009 10:00	794	18.8	7.17	
11/06/2009 11:00	791	19	7.15	
11/06/2009 12:00	787	19.5	7.24	
11/06/2009 13:00	785	19.5	7.23	
11/06/2009 14:00	783	20	7.21	
11/06/2009 15:00	782	18.9	7.17	
11/06/2009 16:00	780	18.3	7.16	
11/06/2009 17:00	779	19.3	7.2	
11/06/2009 18:30	777	19	7.29	
12/06/2009 09:00	758	18.2	7.24	
12/06/2009 10:00	756	18.5	7.21	
12/06/2009 11:00	755	18.6	7.18	
12/06/2009 12:00	753	19	7.21	
12/06/2009 13:00	753	19	7.2	
12/06/2009 14:30	750	19.2	7.26	analyse 7
13/06/2009 10:00	737	18.5	7.38	analyse 8
13/06/2009 22:30	728	18.5	7.48	
15/06/2009 10:30	713	18.7	7.42	
15/06/2009 11:50	714	19.1	7.32	analvse 9
			=	

													P04	0.1	mg/l	< LQ	× LQ	× LQ	× LQ	× LQ	< LQ	< LQ	× LQ	0   v	ſ
													Ni	0.5	l/grl	0.7	< LQ	-	0.8	0.7	0.7	۸ LQ	< LQ	۵ ۲	
													ŗ	-	l/brl	< LQ	× LQ	م الم م	× LQ	× LQ	م الم م	م الم م	× LQ	× LQ	
s	-	hg/l	454.1	768.9	922.5	899.1	871.4	772.1	714.2	793	774.3	613	ပိ	0.1	hg/l	< LQ	× ۲۵	0.2	0.1	0.1	< LQ	۸ د LQ	× ۲۵	۵ ۲	
ш	-	hg/l	17.2	15.8	18	18.3	18.2	18.2	18.1	17.9	17.8	17.3	Be	0.01	l/gu	< LQ	۸ د LQ	۸ د LQ	v LQ	۸ د LQ	< LQ	v LQ	۸ د LQ	۸ LQ	
Si02	0.5	mg/l	7.9	8.6	9.5	9.5	9.3	9.1	8.9	8.9	8.8	8.3	As	0.05	l/grl	0.21	0.22	0.25	0.23	0.18	0.17	0.17	0.19	0.19	
<b>S04</b>	0.5/5	mg/l	65.5	151	167	162	168	160	161	160	158	152	Ag	0.01	l/gu	0.01	< LQ	× LQ	<ul><li>LQ</li></ul>	< LQ	< LQ	×۲۵	< LQ	× LQ	
NO2	0.01	mg/l	0.08	0.04	0.06	0.04	0.04	< LQ	× LQ	< LQ	< LQ	<pre>~ LQ</pre>	Мn	0.1	l/grl	2.4	0.1	43.8	33.8	28.4	4.3	80	4.6	5.3	
NH4	0.05	mg/l	< LQ	< LQ	0.1	0.05	< LQ	0.07	ш	0.1	mg/l	< LQ	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1					
N03	0.5	mg/l	17.6	6.2	3.8	4.8	4.2	4.6	4.8	4.9	4.8	5.7	Zn	-	l/grl	1.6	1.8	4.6	9.3	2.9	2.1	× LQ	1.2	1.2	
ວ	0.5/5	mg/l	19.3	16.1	135	113	92.6	54.2	41.2	37.7	31.1	18.1	Чd	0.1	l/brl	< LQ	<pre>~ LQ</pre>	~LQ	~LQ	<pre>~ LQ</pre>	<pre>&gt; LQ</pre>	~LQ	<pre>~ LQ</pre>	v LO	
HC03	S	mg/l	198	185	293	251	247	227	236	215	213	200	cu	0.3	l/grl	v < LQ	0.3	9.4	v - LQ	ŭ < LQ	0.8	a - La	0.4	0.3	
¥	0.5	mg/l	1.2	1.3	1.5	1.3	1.4	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	Cd	0.025	l/brl	~ LG	v LQ	v LQ	v LG	v LQ	v LQ	v V	v LQ	v V	
Na	0.5	mg/l	13.7	11.5	11.7	11.7	11.5	11.5	11.5	11.4	11.5	12.7	-	-	l/brl	4.2	4	5.4	5.2	5.1	4.8	4.6	4.6	4.5	
Mg	0.5	mg/l	8.8	15.6	19.3	18.6	18.2	17.2	16.9	16.7	16.5	15.7	Ва	0.1	l/brl	13.6	0 18	32.4	31.6	29.9	26.1	25.1	24.6	23.9	
Ca	0.5	mg/l	81.1	94.9	187.3	171.3	159.3	131.2	122.8	119.3	115.4	101	Ъe	0.02	mg/l	0 < LG	0 × LO	0 × LO	0 - LG	0 × LO	0 × LG	0 × LO	0 × LO	v LC	
c03	5	mg/l	v LG	v LQ	v LQ	v LO	v LQ	v LQ	v V	v LQ	v LQ	v LO	AI	-	hg/	2 L C	v V	v V	v V	v V	v LQ	v V	v V	v LO	
	Γ	date	05/05/2009	07/05/2009	04/06/2009 09:58	04/06/2009 14:18	10/06/2009 13:23	11/06/2009 09:00	12/06/2009 14:30	13/06/2009 10:00	15/06/2009 11:50	15/06/2009 00:00		ΓØ	date	05/05/2009	07/05/2009	04/06/2009 09:58	04/06/2009 14:18	10/06/2009 13:23	11/06/2009 09:00	12/06/2009 14:30	13/06/2009 10:00	15/06/2009 11:50	
		nantillon	F. Robol1	F. Robol2	F. Robol3	F. Robol4	F. Robol5	F. Robol6	F. Robol7	F. Robol8	F. Robol9	F. Mas Chique			nantillon	F. Robol1	F. Robol2	F. Robol3	F. Robol4	F. Robol5	F. Robol6	F. Robol7	F. Robol8	F. Robol9	
		n° ecł	١	2	ო	4	2	9	7	ø	6	10			n° ecł	-	7	ო	4	5	9	7	œ	6	

- Analyse des majeurs (tableau 4 et 5)

	87Sr	d2H	d18O
Flacon n°1(05/05/09)	0.707946	-40.9	-6.8
Flacon n°2(07/05/09)	0.707879	-45.2	-7.2
Flacon n°7(12/05/09)	0.707876	-45.8	-7.3
Flacon n°9(15/05/09)	0.707863	-45.8	-7.4
Mas de la Chique(15/05/09)	0.707852	-46.4	-7.4

- Analyse isotopiques (tableau 6)

Analyse des phytosanitaires (tableau 7) \_



💲 : Analyses réalisées en externe. 🏠 : Valeurs hors Références de Qualité. 🌓 : Valeurs hors Limites de Qualité.

Siège Social: CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PERPIGNAN Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 · e-mail : camp@camp-lda.com SIRET 431 233 451 000 19 APE 7120 B





Dossier nº: P-CG66ECO-090611-6729 Echantillon nº: P-09-21839 Produit : Eau distribuée sans désinfection Origine : CG66ECO 090610162 Bulletin Nº Page: 2 sur 5 Version du rapport StandLim 2.0

Pa	aramètres	Réalisation	Méthodes	Résultats	Unités	Réf. Qualité	Limites Qualité	Date début analyse
	Mécoprop-p		LC MSMS	<0.010	µg/I			12/06/2009
	Triclopyr		LC MSMS	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
M	tabolites des triazines							
Ø	Atrazine Déséthyl		NF EN ISO 10695	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
ø	Atrazine Deisopropyl		NF EN ISO 10695	<0.040	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
蒙	Terbuthylazin déséthyl		NF EN ISO 10695	0.027	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
	Hydroxyterbuthylazine		LC MSMS	0.010	µg/I			12/06/2009
Pe	sticides Triazines							
ø	Améthryne		NF EN ISO 10695	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
ø	Atrazine		NF EN ISO 10695	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
ø	Cyanazine		NF EN ISO 10695	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
	Hexazinone		LC MSMS	<0.010	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
	Propazine		NF EN ISO 10695	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
	Simazine Hydroxy		LC MSMS	<0.030	µg/I			12/06/2009
蓖	Simazine		NF EN ISO 10695	0.035	µg/I	ber De e	n < 0.100	12/06/2009
ø	Terbuthylazin		NF EN ISO 10695	<0.020	µ9/I	1.11110	n < 0.100	12/06/2009
ø	Terbuméton		NF EN ISO 10695	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
	Terbutryne		NF EN ISO 10695	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Pe	sticides Organophopshorés							
	Téméphos		NF EN ISO 6468	<0.02	µg/I	(- 1 <i>6</i>		12/06/2009
	Chlorfenvinphos		LC MSM5	<0.010	µg/I			12/06/2009
	Chlorpyriphos ethyl		NF EN ISO 10695	<0.020	49/I		n < 0.100	12/06/2009
	Dichlorvos		NF EN ISO 10695	<0.040	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
R	Diazinon		NF EN ISO 10695	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
	Fenitrothion		NF EN 1SO 6468	<0.100	µg/I			12/06/2009
窗	Malathion		NF EN ISO 10695	<0.020	µg/1		n < 0.100	12/06/2009
R	Methidathion		NF EN ISO 10695	<0.020	µg/1		n < 0.100	12/06/2009

Le présent Rapport d'Essai ne concerne que les objets soumis à l'essai. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure sont disponibles sur demande. La reproduction de ce Rapport d'Essai n'est autorisée que sous forme de fac-similé intégral. L'accréditation qui sont identifiés par le symbols: Couverts par l'accréditation, qui sont identifiés par le symbols: Limites et Références de Qualité selont le code de la Santé publique. Control de composition de conservation de composition de conservation de composition de conservation de composition de conservation de con

Siège Social: CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PERPIGNAN Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 - e-mail : camp@camp-lda.com SIRET 431 233 451 000 19 APE 7120 B





Dossier	n°: P-0	CG66ECO-0906	11-6729
Echantil	lon nº :	P-09-21839	
Produit	: Eau dist	ribuée sans désinfec	tion
Origine	E.	CG66ECO	
Bulletin	N°	090610162	
Page :	3 sur	5	Version du rapport StandLim 2.0

Pa	iramètres	Réalisation	Méthodes	Résultats	Unités	Réf. Qualité	Limites Qualité	Date début analyse
	Oxydéméton méthyl		LC MSMS	<0.020	µg/I			12/06/2009
藶	Parathion éthyl		NF EN ISO 10695	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
ø	Parathion Méthyl		NF EN ISO 10695	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
	Phoxime		LC MSMS	<0.010	µg/I			12/06/2009
Pe	sticides Carbamates							000000000000000000000000000000000000000
	Hydroxycarbofuran-3		LC MSMS	<0.02	µg/I			12/06/2009
	Carbofuran		LC MSMS	<0.010	µg/I			12/06/2009
	Carbendazime		LC MSMS	<0.010	µg/I			12/06/2009
	Iprovalicarb		LC MSMS	<0.050	µg/I			12/06/2009
Pe	sticides Nitrophénols et Alcools		1000 TS101 F				a	
	Bromoxynil		LC MSMS	<0.030	µg/I			12/06/2009
	Ioxynii		LC MSMS	<0.010	µg/I			12/06/2009
Pe	sticides Pyréthrinoïdes							
	Cyperméthrine		NF EN ISO 6468	<0.02	µg/I			12/06/2009
	Deltaméthrine		NF EN ISO 6468	<0.02	µg/I			12/06/2009
	Piperonil butoxide		LC MSMS	<0.010	µg/I	1.1.1.1.2		12/06/2009
Pe	sticides tricétones							
	Sulcotrione		LC MSMS	<0.010	µg/I			12/06/2009
Pe	sticides Urées Substituées							
	Chlortoluron		LC MSMS	<0.010	µg/I	1	n < 0.100	12/06/2009
	1-(3,4-dichlorophényl)-3-méthyluré	ée	LC MSMS	<0.050	µg/1			12/06/2009
	Diuron		LC MSMS	<0.010	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
	Déméthhyl isoproturon		LC MSMS	<0.01	µg/I			12/06/2009
	Isoproturon		LC MSMS	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
	Linuron		LC MSMS	<0.010	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
	Monolinuron		LC MSMS	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
	Métobromuron		LC MSMS	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009

Siège Social: CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PERPIGNAN Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 - e-mail : camp@camp-lda.com SIRET 431 233 451 000 19 APE 7120 B





Dossier nº: P-CG66ECO-090611-6729 Echantillon nº : P-09-21839 Produit : Eau distribuée sans désinfection Origine : CG66ECO Bulletin Nº 090610162 Page: 4 sur 5 Version du rapport StandLim 2.0

Paramètres	Réalisation Mé	thodes	Résultats	Unités	Réf. Qualité	Limites Qualité	Date début analyse
Métabenzthiazuron		LC MSMS	<0.010	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Métoxuron		LC MSMS	<0.010	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Pesticides organo-chlorés.							
Aldrine	NF EN I	SO 6468	<0.020	µg/I		n < 0.030	12/06/2009
Dimétachlore	1	LC MSMS	<0.01	µg/I	1 DE 1		12/06/2009
Endosulfan total	NF EN I	SO 6468	<0.020	µg/I			12/06/2009
R Hexachlorobenzène	NF EN I	SO 6468	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
HCH Gamma	NF EN I	SO 6468	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Dieldrine	NF EN I	SO 6468	<0.020	µg/I		n < 0.030	12/06/2009
Heptachlore	NF EN I	SO 6468	<0.020	µg/I	i	n < 0.030	12/06/2009
🛱 Heptachlore epoxide	NF EN I	SO 6468	<0.020	µg/I		n < 0.030	12/06/2009
Oxadiazon	NF EN I	SO 6468	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Pesticides triazolés							
Aminotriazole	ı	C MSMS	<0.030	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Hexaconazole	ı	C MSMS	<0.010	µg/I			12/06/2009
Tebuconazole	ı	C MSMS	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Pesticides sulfonylurées							
Flazasulfuron	ı	C MSMS	<0.020	µg/I			12/06/2009
Metsulfuron méthyl	L.	C MSMS	<0.010	µg/1			12/06/2009
Sulfosulfuron	ι	C MSMS	<0.010	µg/I	- 0 H - 1		12/06/2009
Pesticides divers et produits	apparentés				1 I I I I I		
2,6 Dichlorobenzamide	NF EN I	SO 6468	<0.040	µg/l		n < 0.100	12/06/2009
AMPA	L	C MSMS	<0.030	µg/I			12/06/2009
Azoxystrobine	ι	C MSMS	<0.010	µg/1		n < 0.100	12/06/2009
Bromacil	NF EN IS	0 10695	<0.040	49/I		n < 0.100	12/06/2009
Bentazone	L	C MSMS	<0.010	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Captane	NF EN IS	SO 6468	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009

Siège Social: CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PERPIGNAN Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 - e-mail : camp@camp-lda.com SIRET 431 233 451 000 19 APE 7120 B





Dossier nº : P-CG66ECO-090611-6729 Echantillon nº : P-09-21839 Produit : Eau distribuée sans désinfection CG66ECO Origine : Bulletin Nº 090610162 Page: 5 sur 5 Version du rapport StandLim 2.0

Paramètres	Réalisation Méthodes	Résultats	Unités	Réf. Qualité	Limites Qualité	Date début analyse
Carfetrazone éthyle	LC MSMS	<0.01	µg/I			12/06/2009
Chlorméquat chlorure	LC MSMS	<0.03	µg/I			12/06/2009
Diquat	LC MSMS	<0.030	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Diméthomorphe	LC MSMS	<0.010	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Dinocap	NF EN ISO 6468	<0.040	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Famoxadone	NF EN ISO 6468	<0.02	µg/I			12/06/2009
Fénamidone	LC MSMS	<0.01	P8/1			12/06/2009
Folpel	NF EN 1SO 6468	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Fenpropidin	LC MSMS	<0.010	µg/I			12/06/2009
Glufosinate	LC MSMS	<0.03	µg/I			12/06/2009
Glyphosate	LC MSMS	<0.030	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Imidachlopride	LC MSMS	<0.010	µ9/I		n < 0.100	12/06/2009
Krexosim-méthyle	LC MSMS	<0.050	P8/1			12/06/2009
Mepiquat	LC MSMS	<0.03	µg/I			12/06/2009
Metalaxyl	LC MSMS	<0.010	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Norflurazon	NF EN 1SO 6468	<0.020	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Desmethylnorflurazon	LC MSMS	<0.010	µg/1			12/06/2009
Oxadixyl	LC MSMS	<0.010	µg/1		n < 0.100	12/06/2009
Prochloraze	LC MSMS	<0.020	µ9/1			12/06/2009
Pendimethaline	NF EN ISO 6468	<0.020	µg/I			12/06/2009
Paraquat	LC MSMS	<0.050	µg/I		n < 0.100	12/06/2009
Spiroxamine	LC MSMS	<0.050	µg/I		U. 1	12/06/2009
Trifuraline	NF EN ISO 6468	<0.02	µg/I			12/06/2009
Sommes et totaux				1 0 Di		
Total Pesticides	CALCUL	0.072	µg/1			12/06/2009

Destinataires : CONSEIL GENERAL DES PYRENEES ORIENTAL

Le présent Rapport d'Essai ne concerne que les objets soumis à l'essai. Les données concernant la réception, la conservation, le traitement analytique de l'échantillon et les incertitudes de mesure sont disponibles aur demande. La reproduction de ce Rapport d'Essai riest autorisée que sous forme de fac-similé intégral. L'accréditation du COFRAC atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls essais couverts par l'accréditation, qui sont identifiés par le symbole : Limites et Réferences de Qualité selont le code de la Santé publique.

🔅 : Analyses réalisées en externe. 🏠 : Valeurs hors Références de Qualité. 🧔 : Valeurs hors Limites de Qualité.

Siège Social: CAMP - Laboratoire Départemental - Rambla de la Thermodynamique - Tecnosud - 66100 PERPIGNAN Tél. : 04 68 68 33 00 - Fax : 04 68 56 49 05 - e-mail : camp@camp-Ida.com SIRET 431 233 451 000 19 APE 7120 B

Rapport Validé le : 25/06/2009 Bernard AUGE Responsable CHIMIE GENERALE

Suppléant des Responsables HYDROLOGIE

# Annexe 3 Rapport des diagraphies



## HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE Localisation de l'ouvrage





#### Coordonnées Lambert II étendu (en mètres) :

 $X = 642\ 589$   $Y = 1757\ 656$   $Z = 72\ m\ NGF$ 



#### Carte IGN : Rivesaltes - 2548OT (1/20000)

Hydro Assistance Ingénierie

HA\_07-2009/21

Salses-le-Château (66) - Forage "Robol"

CLIENT :	FORAGES MASSE	
DATES D'INTERVENTION :	6 avril, 2 et 3 juin et 2 juillet 2009	
MOTIF D'INTERVENTION :	réception de l'ouvrage	
MESURES REALISEES :	<ul> <li>mesure de résistivité</li> <li>mesure gamma-ray</li> <li>mesure sonic</li> <li>contrôle de diamètre</li> <li>examens endoscopiques</li> <li>pompage</li> <li>diagraphies physico-chimiques (tes</li> <li>mesure de flux (micromoulinet)</li> </ul>	mpérature, conductivité)
OBJECTIFS :	<ul> <li>caractérisation des formations géa</li> <li>contrôle des équipements mis en p</li> <li>caractérisation du fonctionnement</li> </ul>	ologiques lace hydrodynamique de l'ouvrage
	FORAGE	
Département	Provincian Orientalian (66)	
Departement :	S have been clifferent and s (00)	
Commune :	Salses-le-Château	
Localisation :	lieu-dit "Mas de la Chique"	
Identification :	forage "Robol"	
Date de création :	juin 2009	
Profondeur théorique :	503 mètres	
Profondeur théorique : Utilisation :	503 mètres forage de reconnaissance	
Profondeur théorique : Utilisation : Coordonnées Lambert II étendu (en	503 mètres forage de reconnaissance mètres) :	
Profondeur théorique : Utilisation : Coordonnées Lambert II étendu (en X = 642 589	503 mètres forage de reconnaissance mètres) : Y = 1757 656	Z = +72 m NGF

HA\_07-2009/21

-2/9-



Salses-le-Château (66) - Forage "Robol"

#### SOMMAIRE

1) SITUATION DU FORAGE	
2) MOYENS MIS EN ŒUVRE	
3) COUPE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE	
3.1) LE TERRAIN	
3.2) LES EQUIPEMENTS	
4) LOG STRATIGRAPHIQUE PROVISOIRE	
5) JOURNAL DES TRAVAUX	
6) EXAMEN ENDOSCOPIQUE	,
6.1) LA CHAMBRE DE POMPAGE	,
6.2) LA PARTIE EN TROUNU	,
7) MESURES	
7.1) LES DIAGRAPHIES DE PRODUCTION NATURELLE	
7.2) LES DIAGRAPHIES PHYSICO-CHIMIQUES EN POMPAGE	
7.2.1) Les projus de temperature et de conductivite	
8) BILAN	

ANNEXES

HA\_07-2009/21

-3/9-

Salses-le-Château (66) - Forage "Robol"



#### 1) SITUATION DU FORAGE

<u>1<sup>ère</sup> phase (6 avril 2009)</u> Repères des mesures : Position du repère : Niveau piézométrique :

2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> phases (2-3 juin et 2 juillet 2009) Repères des mesures : Position du repère : Niveaux piézométriques : sommet du tube en acier - diamètre interne 230 mm + 0.60 m/sol - 44.41 m/repère

sommet du tube en acier - diamètre 447/457 mm + 0.60 m/sol - 43.51 m/repère, le 02/06/2009 - 43.52 m/repère, le 03/06/2009

- 44.75 m/repère, le 02/07/2009

#### 2) MOYENS MIS EN ŒUVRE

.

.

,	<b>Examens endoscopiques</b> Caméra numériaue couleur à visées axie	ile et radiale
	Le 2 juin 2009	
	Réalisé sans pompage :	de 0 à 147 mètres
	Le 2 juillet 2009	
	Réalisé sans pompage :	de 0 à 502.10 mètres
,	Pompage (le 3 juin 2009)	
	Pompe immergée :	diamètre 8″
	Installée à :	82 mètres (base pompe/repère)
	Débits pompés :	48.6 et 45.5 m <sup>3</sup> /h
,	Diagraphies de production naturelle	
	Température, conductivité, flux :	de 80 à 500.90 mètres
,	Diagraphies de production en pompage	$Q = 45.5 m^3/h$
	Température, conductivité, flux :	de 85.30 à 499.80 mètres
,	Autres diagraphies	
	Résistivités RLLS et RLLD :	de 11 à 503.20 mètres
	Gamma-Ray :	de 0 à 500.50 mètres
	Sonic :	de 44.60 à 497.60 mètres
	Diamétreur :	de 85.30 à 499.80 mètres

HA\_07-2009/21

-4/9-



Salses-le-Château (66) - Forage "Robol"

#### 3) COUPE TECHNIQUE DE L'OUVRAGE

La coupe technique ci-dessous a été établie d'après les données recueillies auprès du foreur et les travaux d'inspection de juin et juillet 2009. Le repère a été pris au sommet du tube en acier de diamètre 447/457 mm, situé à 0.60 mètre au-dessus du sol.

#### 3.1) LE TERRAIN

0	de 0 à 10.50 m :	forage 600 mm
0	de 10.50 à 90.80 m :	forage 311 mm
0	de 90.80 à 502.10 m :	forage 222 mm

#### 3.2) LES EQUIPEMENTS

0	de 0 à 10.50 m :	tube de soutènement en acier, diamètre 447/457 mm, espace annulaire cimenté
0	de 0 à 90.50 m :	tube plein en PVC, diamètre interne 225 mm, espace annulaire cimenté
0	de 90.50 à 90.80 m :	trou nu, diamètre 311 mm
0	de 90.80 à 502.10 m :	trou nu, diamètre 222 mm

#### 4) LOG STRATIGRAPHIQUE PROVISOIRE

#### Lithologie

0	de 0 à 70 m :	calcaires gris/blancs
0	de 70 à 105 m :	calcaires fins blancs à jaune
0	de 105 à 120 m :	remplissage karstique
0	de 120 à 122 m :	calcaires gris "souris"
0	de 122 à 234 m :	calcaires recristallisés blancs/roses, calcite
0	de 234 à 250 m :	calcaires gris "souris"
0	de 250 à 310 m :	calcaires gris foncé
0	de 310 à 320 m :	remplissage karstique
0	de 320 à 370 m :	calcaires gris foncé
0	de 370 à 420 m :	calcaires gris "souris"
0	de 420 à 430 m :	remplissage karstique
0	de 430 à 470 m :	calcaires gris "souris"
0	de 470 à 500 m :	calcaires blancs

HA\_07-2009/21

-5/9-

Salses-le-Château (66) - Forage "Robol"



### 5) JOURNAL DES TRAVAUX

Dates	Heures	Opérations
	13h45	Arrivée sur site et mise en place du matériel Base de l'ouvrage à 90 mètres
06/04/2000	14h10	Réalisation des mesures de résistivités et gamma-ray
00/04/2009	15h00	Réalisation de la mesure sonic
	16h00	Repli du matériel
	17h00	Départ du site
	13h30	Arrivée sur site et mise en place du matériel Base de l'ouvrage à 500 mètres
	14h20	Réalisation de l'examen endoscopique sans pompage
02/07/2000	15h45	Réalisation des mesures de résistivités
02/06/2009	17h15	Réalisation de la mesure gamma-ray
	19h35	Réalisation du diamétreur
	21h30	Repli du matériel
	22h30	Départ du site
	08h00	Arrivée sur site et mise en place du matériel
	09h00	Descente de la pompe de test 8" à 82 mètres
	10h04	Début du suivi en temps des paramètres de température et de conductivité à 87 mètres sous le repère
	10h10	Début du pompage au débit moyen de 48.6 m <sup>3</sup> /h
	11h15	Arrêt du suivi en temps des paramètres de température et de conductivité
03/06/2009	11h20	Diminution du débit moyen à 45.5 m <sup>3</sup> /h
	11h22	Réalisation des diagraphies de production en régime dynamique (température, conductivité et flux) au débit moyen de $45.5 \text{ m}^3/h$
	12h25	Arrêt du pompage
	13h00	Remontée de la pompe de test 8"
	14h00	Repli du matériel
	15h00	Départ du site
	08h00	Arrivée sur site et mise en place du matériel
	08h30	Réalisation de l'examen endoscopique sans pompage
02/07/2009	10h30	Réalisation des diagraphies de production naturelle (température, conductivité et flux)
	12h00	Réalisation de la mesure sonic
	13h30	Repli du matériel
	14h00	Départ du site

HA\_07-2009/21

-6/9-



Salses-le-Château (66) - Forage "Robol"

#### 6) EXAMEN ENDOSCOPIQUE

#### 6.1) LA CHAMBRE DE POMPAGE

les équipements - tubes en PVC de diamètre interne 225 mm - présentent un état visuel très satisfaisant. L'examen détaillé des raccords n'a révélé aucune anomalie.

Les positions des raccords relevées au cours de l'examen endoscopique sont les suivantes :

		Positions a	les raccords		
4.50 m	9.40 m	14.20 m	19 m	23.70 m	28.70 m
33.50 m	38.30 m	43.20 m	48 m	52.80 m	57.60 m
62.50 m	67.40 m	72 m	77 m	81.70 m	86.70 m

6.2) LA PARTIE EN TROU NU

■ de 90.50 à 90.80 m :	le sommet de la partie en trou nu - de diamètre 311 mm - a été atteinte à 90.50 mètres sous le repère.
• de 90.80 à 194.50 m :	la réduction de diamètre 311x222 mm a été localisée à 90.80 mètres sous le repère.
	La partie supérieure du trou nu est constituée de calcaires gris/blancs dont la section est très bien calibrée.
• de 194.50 à 238 m :	On observe de petites cavités à 91.20, 92.50 et 133.20 mètres de profondeur. cette partie du trou nu est constituée de calcaires blancs/rosés altérés, caractérisés par la présence de nombreuses cavités relativement grosses, comme de 200 à 210 mètres et de 219 à 222.50 mètres. Certaines de ces cavités sont comblées par des sédiments argileux.
	On observe également la présence de caves importantes à 234.30, 235.60, 237.20 et 237.60 mètres de profondeur.
• de 238 à 395 m :	à partir de 238 mètres, les calcaires retrouvent une teinte grisée et présentent de nombreuses fissures fermées, comblées par des dépôts de type argileux, et fissures ouvertes, telles qu'à 269.20, 371.70 et 390.70 mètres.
• de 395 à 458 m :	On observe également de nombreuses petites cavités de 322 à 327 mètres, ainsi que des cavités plus importantes, comme à 326.20 et 344 mètres. On notera, à 395 mètres, une légère réduction du diamètre de foration. à partir de 395 mètres, les calcaires prennent une teinte rosée.
	On observe une cave relativement importante à 420.50 mètres, ainsi que de petites cavités à 441.60 et 451.80 mètres. Des fissures ouvertes ont également été localisées à 423, 430.20, 430.80 et
	436 mètres.
<ul> <li>de 458 à 502.10 m :</li> </ul>	la partie basse de l'ouvrage est constituée de calcaires blancs peu altérés.
• à 502.10 m :	la base de l'ouvrage, constituée de sédiments sablo-argileux, a été atteinte à cette profondeur.

HA\_07-2009/21

-7/9-

<sup>•</sup> de 0 à 90.50 m :



Salses-le-Château (66) - Forage "Robol"

FORAGES MASSE

#### 7) MESURES

#### 7.1) LES DIAGRAPHIES DE PRODUCTION NATURELLE

Les profils enregistrés en régime statique révèlent l'existence d'un flux naturel ascendant se produisant depuis la profondeur de 420 mètres, pour se réinjecter aux droits de niveaux producteurs déprimés situés aux environs de 278 puis 115 mètres.

Ce flux naturel ascendant est caractérisé par une minéralisation globalement homogène, où la conductivité est de l'ordre de 840  $\mu$ S/cm. La mesure de flux a permis de quantifier cet échange ascendant à 2 m<sup>3</sup>/h environ.

La partie basse du trou nu, au-dessous de 420 mètres de profondeur, est marquée par une diminution de la conductivité avec la profondeur, notamment entre 420 et 460 mètres.

Les caractéristiques moyennes de la colonne d'eau sont les suivantes :

o au dé	but des mesures, à 8	0 mètres :	
•	température :	16.2°C	
•	conductivité :	821 µS/cm	(corrigée à 25°C)
o à la b	ase des mesures, à 4	199.40 mètres :	
•	temperature :	17.3-0	

#### 7.2) LES DIAGRAPHIES PHYSICO-CHIMIOUES EN POMPAGE

#### 7.2.1) Les profils de température et de conductivité

Les profils enregistrés en pompage mettent en évidence une production relativement homogène d'un point de vue physico-chimique au droit des trois-quarts supérieurs du trou nu, avec une minéralisation globale de 1130  $\mu$ S/cm et un profil de température quasi-vertical.

Au-dessous de 420 mètres environ, la colonne d'eau dynamique (où les vitesses de circulation sont réduites) est marquée par une légère augmentation de la température avec la profondeur. On observe également une diminution sensible de la conductivité, principalement entre 420 et 455 mètres où des arrivées d'eau ont été localisées à 423.50, 433, 448.50, 454 mètres.

Les caractéristiques moyennes de la colonne d'eau sont les suivantes :

	<ul> <li>tomnáratura</li> </ul>	16.3°C	
	- iemperature	. 10.5 C	
	<ul> <li>conductivité</li> </ul>	i: 1130 μS/cm	(corrigée à 25°C)
0	à la base des mesur • température	res, à 498.50 mètres : 2 : 16.6°C	

HA\_07-2009/21

- 8/9-



Salses-le-Château (66) - Forage "Robol"

7.2.2) La mesure de flux

Elle a été réalisée au débit moyen de  $45.5 \text{ m}^3/h$ .

La dépression produite par 1h10 de pompage (au début de la diagraphie) a permis de répartir la distribution des arrivées d'eau de la manière suivante :

- o 2.2% du débit sont produits entre 90.50 et 206 mètres,
- o 31.9% du débit sont produits entre 206 et 402.50 mètres,
- o 14.3% du débit sont produits entre 402.50 et 419.30 mètres,
- o 46.1% du débit sont produits entre 419.30 et 421.90 mètres,
- o 5.5% du débit sont produits entre 421.90 et 502.10 mètres.

#### 8) <u>BILAN</u>

Le niveau piézométrique mesuré le 2 juillet à 8h00 était situé à 44.75 mètres sous le repère, pris au sommet du tube de soutènement en acier de diamètre 447/457 mm, situé à 0.60 mètre au-dessus du sol.

Les équipements de la chambre de pompage - tubes en PVC de diamètre interne 225 mm - présentent un état mécanique visuel très satisfaisant.

La partie en trou nu de diamètre 311 mm, visible sur les 30 premiers centimètres, est très bien calibrée.

La partie en trou nu de diamètre 222 mm est constituée de calcaires blancs, gris et roses plus ou moins altérés, caractérisés par la présence de nombreuses caves et petites cavités ainsi que de nombreuses fissures ouvertes et fermées. La section du trou nu est relativement bien calibrée. La mesure de diamétreur a néanmoins mis en évidence une réduction progressive du diamètre de foration entre 400 et 450 mètres, profondeur au-dessous de laquelle le diamètre du trou nu a été calibré à 202 mm.

La base de l'ouvrage, constituée de dépôts sablo-argileux, a été observée à 502.10 mètres sous le repère.

Les diagraphies de production naturelle ont mis en évidence l'existence d'un flux naturel ascendant, de l'ordre de  $2 m^3/h$ , se produisant depuis la profondeur de 420 mètres pour se réinjecter aux environs de 278 et 115 mètres.

Les diagraphies de production effectuées au débit moyen de  $45.5 \text{ m}^3$ /h témoignent d'une répartition relativement homogène des arrivées d'eau au droit des trois-quarts supérieurs du trou nu. On observe ensuite la zone la plus productive entre 402.50 et 421.90 mètres avec près de 60.4% du débit produits, sur un peu moins de 4.7% de la partie en trou nu.

Fait à Hinx, le 23 juillet 2009

Hélène LAFITTE Chargée d'Etudes

Karine EUZENAT Ingénieur ENVIRONNEMENT Serge DANGOUMAU

HA\_07-2009/21

-9/9-

## HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

Suivi des paramètres de température et de conductivité en pompage, au débit moyen de 48.6 m³/h, à 87 mètres de profondeur



Hydro Assistance Ingénierie

HA\_07-2009/21

## HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE

Rapport photos



Commune : Salses-le-Château (66)

Forage : "Robol"

Dates d'intervention : 02/06 et 02/07/2009

Examen endoscopique



Tube en PVC - diamètre interne 225 mm



Tubes en PVC - diamètre interne 225 mm



Sommet du trou nu de diamètre 311 mm localisé à 90.50 mètres sous le repère



Trou nu de diamètre 222 mm - Calcaires blancs



Sommet du trou nu de diamètre 222 mm localisé à 90.80 mètres sous le repère



Cave importante localisée à 237.60 mètres

## HYDRO ASSISTANCE INGENIERIE Rapport photos



Commune : Salses-le-Château (66) Dates d'intervention : 02/06 et 02/07/2009 Forage : "Robol"

Examen endoscopique (suite)

Fissure ouverte localisée à 371.70 mètres



Trou nu de diamètre 222 mm Calcaires gris "souris"



Cave importante localisée à 420.50 mètres



Fissure ouverte localisée à 423 mètres



Trou nu de diamètre 222 mm Calcaires blancs

Hydro Azsistance Ingénierie



Base de l'ouvrage, constituée de sédiments sablo-argileux

HA\_07-2009/21

# Annexe 4 Etude des lames minces du sondage du Mas de la Chique
Le sondage du Mas de la Chique a la particularité de traverser une série mésozoïque redoublée. L'objet de ce travail est à partir d'une sélection d'échantillons, judicieusement choisis dans le forage, d'infirmer ou de confirmer, à partir de l'étude de leurs microfaciès, ce redoublement.



Log géologique et échantillons analysés en microfaciès

## Premier redoublement de faciès :

 Echantillon E1 – 165 m – calcaires gris-blancs - Bédoulien à Valanginien Nom : dolarénite microsparitique à entroques Structure : vaguement litée Texture : granulaire Composants : bioclastes abondants, crinoïdes fréquents, débris d'échinodermes Diagenèse : dolomitisation et recristallisation microsparitique généralisée (métamorphisme potentiel).



Echantillon E1

- Echantillon E5 – 388 m – calcaires gris-blancs – Bédoulien à Valanginien Nom : Dolarénite microsparitique à micritique à entroques

Structure : vaguement litée

Texture : granulaire

Composants : bioclastes abondants, crinoïdes et débris d'échinodermes abondants Diagenèse : dolomitisation micritique à microsparitique et recristallisation généralisée (métamorphisme potentiel).



Echantillon E5

L'échantillon E5 est beaucoup plus micritisé que E1. Sinon les faciès sont comparables.

#### Second redoublement de faciès

Echantillon E2 – 207 m – calcaires gris-beige à roux – Berriasien
Nom : dolomicrosparite
Structure : vaguement litée
Texture : homogène
Composants : fantômes de bioclastes
Diagenèse : dolomitisation et recristallisation généralisée (métamorphisme potentiel).



Echantillon E2

Echantillon E6 – 441 m – calcaires roux-beige – Berriasien
Nom : dolomicrosparite
Structure : vaguement litée
Texture : homogène avec quelques intraclastes
Composants : intraclastes, débris d'échinodermes
Diagenèse : dolomitisation et recristallisation généralisée (métamorphisme potentiel).



Echantillon E6

Les échantillons E2 et E6 sont très micritisés et sont des faciès comparables.

## Troisième redoublement de faciès

Echantillon E3 – 222 m – calcaires blancs – Tithonien
Nom : dolarénite à entroques et autres fantômes bioclastiques
Structure : granulaire, parfois d'un ancien grainstone
Texture : assez hétérogène depuis des rudites aux microsparites
Composants : débris d'échinodermes
Diagenèse : dolomitisation et recristallisation généralisée (métamorphisme potentiel).



Echantillon E3

- Echantillon E7 – 503 m – calcaires blancs – Tithonien Nom : dolarénite à fantômes (entroques et bioclastes) Structure : granulaire parfois d'un ancien grainstone Texture : assez hétérogène de rudite à microsparite Composants : débris d'échinodermes et bioclastes divers Diagenèse : dolomitisation et recristallisation généralisée (métamorphisme potentiel).



Echantillon E7

Les échantillons E3 et E7 sont d'anciens grainstone recristallisés donc très comparables et assez caractéristiques des faciès du Tithonien.

# **Faciès particuliers**

Echantillon E4 – 288 m – calcaires gris-foncés – Kimméridgien
Nom : dolomicrosparite à bioclastes, laminée
Structure : homogène, celle d'une ancienne micrite
Texture : laminée
Composants : bioclastes piégés dans les laminations
Diagenèse : dolomitisation et recristallisation généralisée (métamorphisme potentiel).



Echantillon E4

Comparaison des faciès : ces faciès sont bien identiques à ceux du Kimméridgien classique qui sont ceux d'anciennes micrites plus ou moins laminées. Ces faciès sont très différents d'un point de vue paléoenvironnement des facies du Tithonien. En effet si les faciès du Kimméridgien sont marins ceux du Tithonien sont récifaux à péri récifaux.

- Echantillon E8 – 77 m – calcaires blancs (Crétacé inférieur à Tithonien)

Nom : calcisparite à dolosparite vaguement laminée

Structure : homogène

texture : vaguement laminée

Composants : bioclastes peu abondants

Diagenèse : dolomitisation et recristallisation généralisée (métamorphisme potentiel).



Echantillon E8

Comparaison des faciès : ces faciès de par leur composition pétrographique peuvent se rapprocher des faciès du Berriasien.

#### Conclusion

Cette étude est rendue assez difficile du fait de la recristallisation et de la dolomitisation potentielle qui est imputée au métamorphisme pyrénéen. Cependant en raison de la connaissance des séries à l'affleurement, de la reconnaissance des faciès sur cuttings et de la détermination des microfaciès, on peut la considérer comme significative et complémentaire des autres techniques. Elle semble donc confirmer le redoublement des séries mésozoïques dans le sondage du Mas de la Chique.



Centre scientifique et technique 3, avenue Claude-Guillemin BP 36009 45060 – Orléans Cedex 2 – France Tél. : 02 38 64 34 34

Service EAU Unité RMD 1039 rue de Pinville 34000 Montpellier - France Tél. : 04 67 15 79 80