



GRAIN D'SEL

Nouvelles approches et capteurs innovants pour la connaissance et le suivi des aquifères côtiers.

Application à la surveillance des intrusions salines dans le bassin sédimentaire du Roussillon (France).

Produits livrés concernant la Tâche 2 : Caractérisation des aquifères côtiers avec intrusion saline à l'échelle locale

- (1) Réalisation et équipements des deux sites tests
- (2) acquisition des données hydro-géophysiques en forage
- (3) réalisation et essais de pompages

Rédaction : D. Neyens (imaGeau), JPh. Bellot (imaGeau) ; M. Geeraert (CNRS), Ph. Pezard (CNRS), E. Petelet (BRGM), V. Bailly-Comte (BRGM)

Date : février 2014



Table des matières

1. Introduction	6
2. Réalisation et équipement des deux sites tests (BRGM, imaGeau, CNRS)	6
Sites	6
Réalisation des forages : rapport de fin de travaux	7
Descriptif des instrumentations des puits.....	8
SMD imaGeau (Neyens et al.-1).....	8
Principe.....	8
Instrumentation	9
System Multi-Packer Westbay.....	11
Au cœur de chaque système Westbay (www.slb.com) (Illustration 4).....	11
Echantillonnage discret (www.slb.com) (Illustration 5).....	15
Installations	17
Barcarès	17
SMD imaGeau (Barry et al.).....	18
Équipement Westbay BAR1 (Lessard M.).....	19
Équipement Westbay BAR2 (Geeraert M. – 2).....	25
Canet-en Roussillon	27
SMD imaGeau GDS1 (Neyens et al. –2).....	28
SMD GDS1/PT (Pression & température).....	30
Équipement Westbay CAN1 (Geeraert M. -1).....	32
3. Acquisition des données hydro-géophysiques en forage (BRGM, imaGeau, GM)	35
Acquisition géophysiques en forage (diagraphies).....	35
Site de Barcarès	36
Site de Canet en Roussillon.....	42
Acquisition en continu des données hydro-géophysique des SMD (imaGeau)	43
Site de Barcarès	43
Site de Canet en Roussillon.....	45
SMD de conductivité	45
SMD de Pression et température.....	46
Acquisition des données hydrodynamiques et d'échantillonnage par Westbay	47



4. Réalisation et essais de pompage	48
5. Conclusion et perspectives	48
Les points positifs du projet, pour une PME comme imaGeau	48
Développements et améliorations techniques sur le prototype de SMD imaGeau	48
Développement de méthodes de calibration des SMD	49
Validation des mesures effectuées par le SMD imaGeau versus mesures sur échantillons	49
Développement, tests et validation d'autres types de SMD/PT	50
Les apports d'imaGeau dans le projet	50
6. Références bibliographiques	51
7. Annexe	52
Annexe 1 : rapport de fin de travaux des forages expérimentaux de Barcarès et du Canet pour la mise en place des observatoires hydrogéologiques sur la plaine du Roussillon	52
Annexe 2 : missions de mesures et prélèvements WestBay (par le CNRS)	54
Annexe 3 : rapport sur la réalisation des essais de pompage	57



GRAIN D'SEL

Illustration 1 : localisation des deux sites d'observations géophysiques.....	7
Illustration 2 : éléments du SMD PVC avec électrodes dorées (photo ©imaGeau)	10
Illustration 3 : design de la flûte souple de 150 m (©imaGeau)	11
Illustration 4 : descriptif du système Westbay (©Schlumberger Water services).....	14
Illustration 5 : mise en place et mesures à l'aide du système Westbay (©Schlumberger Water services).....	16
Illustration 6 : Localisation du site de Barcarès (d'après google map ; maps.google.fr)	17
Illustration 7 : Emplacement des instruments en forage sur le stade du Barcarès (d'après google map ; maps.google.fr)	17
Illustration 8 : caractéristiques du forage GDS2 (d'après rapport d'installation, imaGeau).....	18
Illustration 9 : vue finale de l'installation du SMD imaGeau sur le sire de Barcarès (photo ©imaGeau)	19
Illustration 10 : rapport final d'installation de GDS2 (d'après rapport d'installation, imaGeau).....	19
Illustration 11 : détails de construction du Westbay BAR1 (d'après rapport d'installation, CNRS/SWS)	20
Illustration 12 : résumé des composants Westbay installés (d'après rapport d'installation, SWS)	20
Illustration 13 : niveau d'eau dans le forage et le système Westbay (d'après rapport d'installation, SWS)	21
Illustration 14 : MOSDAX-capteur de pression (d'après rapport d'installation, SWS).....	22
Illustration 15 : dimensions des packers et zones de surveillance (d'après rapport d'installation, SWS)	22
Illustration 16 : disposition du système Westbay dans le forage (d'après rapport d'installation, imaGeau)	23
Illustration 17 : caractéristiques du dispositif BAR1 (d'après rapport d'installation, SWS).....	25
Illustration 18 : position des points de prélèvements Westbay de Barcarès BAR-2 (d'après rapport d'installation, CNRS)	26
Illustration 19 : localisation du site de Canet en Roussillon (d'après google map ; maps.google.fr) ...	27
Illustration 20 : emplacement des instruments en forage sur le site de Canet en Roussillon (d'après google map ; maps.google.fr).....	28
Illustration 21 : caractéristiques du forage GDS1 (d'après rapport d'installation, imaGeau).....	29
Illustration 22 : schéma du SMD GDS1 – Conductivité (©imaGeau)	29
Illustration 23 : rapport final de l'installation du SMD GDS2 (d'après rapport d'installation, imaGeau)	30
Illustration 24 : caractéristiques du forage GDS1/PT (d'après rapport d'installation, imaGeau)	30
Illustration 25 : caractéristiques et position des capteurs P/T du SMD GDS1/PT (d'après rapport d'installation, imaGeau)	31
Illustration 26 : rapport final de l'installation du SMD GDS2/PT (d'après rapport d'installation, imaGeau)	31
Illustration 27 : schéma de l'observatoire GDS1/PT et position des capteurs P et T (©imaGeau).....	32
Illustration 28 : position des points de prélèvements Westbay du Canet-en-Roussillon CAN1 (d'après rapport d'installation, SWS/CNRS)	34



GRAIN D'SEL

Illustration 29 : position des ports de mesures du Westbay CAN1 (d'après rapport d'installation, SWS/CNRS)	34
Illustration 30 : profile de Gamma Ray Spectral (argiles) et calage sur la lithologie réalisée à partir des carottes.- Forage WB ; Stade du Barcarès (Deleau et al.)	36
Illustration 31 : profils Gamma Ray spectral Spectral (argiles), susceptibilité magnétique et électrique – Forage P2 ; Stade du Barcarès (d'après CNRS)	37
Illustration 32 : profils des caractéristiques du fluide en forage (Pression, Température, Conductivité, Ph, Eh) - Forage P2 ; Stade du Barcarès (d'après CNRS)	38
Illustration 33 : comparaison des profils de Gamma ray Spectral (argiles) sur les deux forages proches WB et P2 ; Stade de Barcarès (d'après CNRS)	39
Illustration 34 : profils de Gamma Ray Spectral et teneur en K, U, TH des argiles – Forage P1 ; littoral Barcarès (d'après CNRS).....	40
Illustration 35 : profils de conductivité électrique totale – Forage P1 ; littoral Barcarès (d'après CNRS).....	41
Illustration 36 : profils de Gamma Ray Spectral (argiles), résistivité électrique – Forage Canet (d'après CNRS).....	42
Illustration 37 : amélioration technique sur les électrodes pour assurer l'étanchéité en immersion profonde (©imaGeau).....	44
Illustration 38 : évolution dans le temps de mars 2012 à décembre 2013 de la conductivité électrique en profondeur délivrée par le SMD GDS2; site de Barcarès (©imaGeau)	45
Illustration 39 : évolution dans le temps de juin 2012 à décembre 2013 de la conductivité électrique délivrée par le SMD GDS1 en profondeur – un profile de résistivité apparente / jour (©imaGeau) ...	46
Illustration 40 : corrélation de la piézométrie et de la température enregistrée par le SMD GDS1/PT à différentes profondeurs sur un an avec la pluviométrie (©imaGeau)	47



1. Introduction

La tâche 2 a pour objectifs d'effectuer une caractérisation locale et haute fréquence des intrusions salines, sur deux sites tests sélectionnés à l'issue de la tâche 1. Ce regard de grande précision, à la fois dans le temps et dans l'espace, viendra fournir les contraintes nécessaires à une modélisation à plus grande échelle des processus d'intrusion saline.

Deux sites de démonstration ont été sélectionnés, en considérant d'une part les résultats de l'interprétation des données de géophysique aéroportée (Electromagnétisme) et d'autre part les données relatives à la conductivité électrique et à la concentration en chlorures dans les eaux souterraines, mais également le contexte sédimentologique et hydrogéologique. De plus, un des critères, non des moindres pris en considération concerne le foncier. Des parcelles dont les communautés appartenant à l'agglomération de Perpignan Méditerranée ont été retenues, au niveau du Barcarès et au niveau de Canet en Roussillon.

Le secteur de Barcarès a pour objectif de caractériser l'interface eau douce/eau salée au sein de l'aquifère du Pliocène Continental et de l'aquifère du Pliocène Marin sableux, ainsi que les propriétés physiques et la géométrie des prismes. Le secteur de Canet en Roussillon a lui pour objectif de caractériser l'interface eau douce/eau salée au niveau de l'aquifère Quaternaire, du cordon littoral.

2. Réalisation et équipement des deux sites tests (BRGM, imaGeau, CNRS)

Sites

Sur chacun des deux sites tests choisis à l'issue de la tâche 1, pour être représentatifs de typologies de salinité contrastées (tant du point de vue de la géologie que du phénomène de salinisation proprement dit), deux forages très proches (distance inférieure à 3 m pour garantir leur similitude) ont été implantés et équipés pour (i) y tester les apports des mesures hydro-géophysiques en continu (observatoire électrique imaGeau), et (ii) calibrer et compléter ces mesures sur un équipement WestBay de Schlumberger Water Services (SWS)

Les deux sites tests sont localisés :

- Canet en Roussillon : sur un site positionné en bordure littorale, dans l'aquifère quaternaire, avec alternance de séries sableuses et argileuses avec éventuellement des horizons de graviers pluri-métriques sur une profondeur de 20 mètres.
- Barcarès : sur un site positionné dans le Pliocène impacté par les intrusions salines, avec alternance de séries argileuses et sableuses avec des passées de gravier de plusieurs mètres d'épaisseur sur 130 mètres de profondeur.



GRAIN D'SEL

Les deux forages implantés sur le secteur du Barcarès sont localisés sur la parcelle du Stade (42° 47' 52.2594"N ; 3° 1' 51.9018"E). Ceux du secteur de Canet sont localisés sur la parcelle N°527, La Marende (42° 41' 4.4838"N ; 3° 1' 49.4682"E) (Illustration 1).



ILLUSTRATION 1 : LOCALISATION DES DEUX SITES D'OBSERVATIONS GEOPHYSIQUES.

Réalisation des forages : rapport de fin de travaux

Dans le cadre du projet, 7 forages expérimentaux ont été réalisés entre octobre 2011 et juillet 2013. Les travaux ont été réalisés en deux étapes :

- **Première phase** : Dans un premier temps, en 2011, 5 forages ont été réalisés. Il s'agit d'un groupe de trois forages sur la commune du Barcarès, et d'un groupe de 2 forages sur la commune du Canet en Roussillon (Languedoc-Roussillon). Ces forages sont équipés de dispositifs instrumentaux innovants permettant l'acquisition en continu de données hydro-géophysiques en forage, couplé à un suivi hydrogéochimique, et notamment isotopique à différentes profondeurs. Ils constituent des observatoires hydrogéologiques situés à proximité du littoral. Deux forages de faible profondeur sont situés sur la commune de Canet en Roussillon. Ils traversent des horizons géologiques du Quaternaire. Sur le secteur de Barcarès deux forages profonds traversent les entités du Quaternaire et du Pliocène, et un forage de faible profondeur traverse uniquement les formations du Quaternaire.
- **Seconde phase** : En Juillet 2013, deux autres forages profonds ont été réalisés sur la commune du Barcarès, l'un à proximité de l'observatoire existant, et l'autre multi-crépiné à proximité de la mer.



Ces observatoires permettent de suivre les évolutions quantitatives et qualitatives de la ressource de l'aquifère du Roussillon sur deux sites localisés à proximité de la mer.

L'objectif du projet consiste en l'amélioration de la caractérisation des relations entre l'aquifère multicouches de la plaine du Roussillon et la mer, incluant la description du biseau salin. Ces données permettront de mieux contraindre un modèle physique 3D simulant localement l'interface mer/aquifère (« biseau salé »).

Le rapport de fin de travaux est en Annexe 1 : rapport de fin de travaux des forages expérimentaux de Barcarès et du Canet pour la mise en place des observatoires hydrogéologiques sur la plaine du Roussillon (Bailly-Comte et al.)

Descriptif des instrumentations des puits

SMD imaGeau (Neyens et al.-1)

Principe

Les mesures délivrées par l'observatoire imaGeau sont basées sur une méthode d'investigation électrique: deux électrodes sont configurées pour injecter le courant, deux autres (à champ proche) mesurent la tension générée qui est fonction de la résistivité du milieu encaissant, et plus particulièrement du fluide contenu dans la roche (C_w).

Les méthodes électriques permettent une détection fine des variations de conductivité de l'eau des aquifères. Dans les roches et les sols superficiels saturés, la détection de variation de conductivité électrique dépend directement de la connaissance de l'état initial du système, tant d'un point de vue géologique (variabilité spatiale du milieu naturel), hydrogéologique (conductivité électrique du fluide poral) que pétrophysique (porosité, connectivité porale).

Une caractérisation pétrophysique détaillée du milieu naturel à partir de diagraphies et de carottes permet de soustraire au signal électrique l'ensemble des contributions généralement invariantes à haute fréquence temporelle, et ainsi de calibrer les observatoires. Les observatoires de résistivité imaGeau permettent donc le suivi dynamique de la conductivité de l'eau. Ils mesurent par investigation électrique la résistivité du milieu encaissant, et plus particulièrement la conductivité de l'eau qui augmente avec la salinité.

En effet, la résistivité équivalente du terrain dépend de plusieurs facteurs dont :

- ceux généralement temporellement invariants à l'échelle de variations saisonnières :
 - conductivité surfacique (C_s) généralement associée à la présence d'argiles
 - structure topologique de la porosité (F)
- ceux qui peuvent varier temporellement à plus haute fréquence :
 - degré de saturation du milieu poreux (S_w)
 - conductivité du fluide poral (C_w) en fonction de la salinité et de la température



GRAIN D'SEL

Une calibration à partir des mesures pétrophysiques en forage et sur carottes lors d'une étude préalable permettra de quantifier l'invariant géologique en obtenant les profils en profondeur de la teneur en argile, et de structure topologique de la porosité. La conductivité de la roche C_0 (inverse de la résistivité R_0 mesurée par l'observatoire) est reliée à la conductivité du fluide poral C_w selon la formule suivante :

$$\frac{1}{R_0} = C_0 = \frac{C_w}{F} + C_s \quad (\text{Waxman et al.}) \quad \text{avec} \quad F = \Phi^{-m} \quad (\text{Archie et al.})$$

Les observatoires de résistivité permettent d'évaluer R_0 , la résistivité de l'ensemble du milieu (matrice et fluide poral) sur toute une colonne de mesures par l'intermédiaire de la loi d'Ohm.

La caractérisation pétrophysique (tâche 3) détaillée du milieu naturel à partir de logs et de carottes permet d'évaluer les profils de conductivité surfacique (C_s) et de facteur de formation (F) sur toute la colonne de mesure et de soustraire au signal électrique l'ensemble des contributions invariantes à haute fréquence temporelle, et ainsi de calibrer les observatoires. La réponse des observatoires dépend donc fortement du contexte hydrogéologique du site, et surtout de deux paramètres : présence d'argile et salinité du fluide poral.

Pour ce projet, deux sites d'études ont été retenus. Un site à faible profondeur (20 m) et un site à plus grande profondeur (150 m). Deux observatoires imaGeau (nommés GDS1 et GDS2) ont donc été installés dans le cadre du projet à coté de système WestBay multi-obturbateurs qui permettront la calibration des observatoires de résistivité, soit par diagraphie à induction occasionnelle, soit par prise d'échantillon de fluide poral permettant de vérifier la routine d'inversion de la résistivité en terme de salinité du fluide poral.

Par ailleurs, afin d'apporter plus d'éléments sur le suivi hydrogéologique du site de Canet, imaGeau a installé un autre type d'observatoire (développé durant le projet et nommé ici GDS1/PT) permettant de suivre la température et la pression de l'aquifère à différentes profondeurs. Cet observatoire permet de suivre ces paramètres physiques au sien de l'aquifère sur un profil vertical. La technologie développée permet de s'affranchir des perturbations liées au forage sur les mesures.

Instrumentation

Chaque observatoire est constitué d'une partie déployée en forage dite sonde (électrodes de mesures) et d'un système d'acquisition autonome en surface.

Système d'acquisition

Les tâches du système d'acquisition sont :

- gestion des phases d'acquisition, de transfert des données et de veille (fonctionnement 24h/24h) par logiciel embarqué.
- paramétrage et commande des électrodes de mesures sur bus de communication
- acquisition haute fréquence dans le temps (une ou plus par jour)
- transmission automatique sécurisée des données par GPRS / EDGE



Basé sur une architecture informatique de système embarqué de type PC104, la partie informatique du système d'acquisition hérite des qualités de ces architectures :

- compacte, modulable, robuste, peu encombrante
- de faible consommation énergétique (<1 Ah) : système en veille hors phase d'acquisition et transfert.

Couplé à une électronique précise, ce système permet la commande d'un bus de communication avec la sonde de mesure afin de paramétrer les électrodes de mesure en émission de courant ou en mesure de tension.

Sonde de mesure

Pour le site à faible profondeur (20 m) de Canet en Roussillon, la flûte de mesure est constituée d'électrodes dorées serties sur un tubage PVC de diamètre 125 mm afin de s'assurer un bon contact entre la formation et les électrodes de mesures (Illustration 2). Cette technologie permet ainsi de s'affranchir de toute influence du puits sur les mesures électriques (Neyens et al.).

Les caractéristiques techniques de cette sonde sont :

- diamètre électrode et PVC : 125 mm
- distance inter électrodes : 70 cm
- nombre totale d'électrodes : 26
- profondeur d'investigation : 19.6 m



ILLUSTRATION 2 : ELEMENTS DU SMD PVC AVEC ELECTRODES DOREES (PHOTO ©IMAGEAU)

Pour le site à grande profondeur (130 m) de Barcarès, la technologie précédente devenait un inconvénient par la nécessité de forer un puits de diamètre important jusqu' à 130 m. Une autre option a été choisie : la réalisation d'une flûte souple de type câble sur lequel sont directement connectées les électrodes (Illustration 3). Cette technologie présente l'avantage d'un diamètre moindre et d'une installation simplifiée pour un forage de 130 m. Afin d'assurer le contact entre électrodes et formation et de se soustraire de l'influence du puits sur les mesures électriques, la flûte



GRAIN D'SEL

souple a été descendue d'un un tubage PVC crépiné complété de bentonite assurant une bonne continuité du signal électrique tout en évitant l'inter connexion des différents réservoirs (Barry et al.).

Les caractéristiques techniques de cette sonde sont :

- diamètre électrode et PVC : 30 mm - 45 mm
- distance inter électrodes : 1,5 m
- nombre totale d'électrodes : 100
- profondeur d'investigation : 130 m

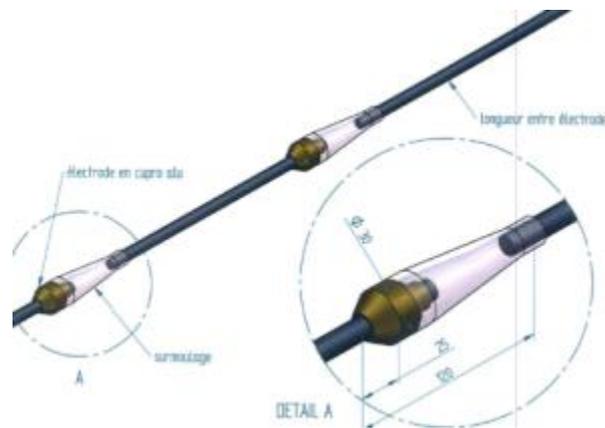


ILLUSTRATION 3 : DESIGN DE LA FLUTE SOUPLE DE 150 M (©IMAGEAU)

System Multi-Packer Westbay

Un système de multi-packers (MP System® Well) permet, dans un même forage, d'isoler différents niveaux pour y effectuer des mesures hydrodynamiques et des prélèvements d'eau porale souterraine (on choisira d'isoler à priori une vingtaine de zones dans le puits à 200 m, et seulement quelques unes pour celui à 20 m).

Au cœur de chaque système Westbay (www.slb.com) (Illustration 4)

Tubage

Le système en forage (parfois appelé un système d'achèvement du forage) se compose de deux tailles de tubage, qui ont été développés pour s'adapter à deux gammes de tailles de forage : le système MP38 a un diamètre intérieur d'environ 38 mm (1,5 in) et est généralement utilisé dans des forages dont le diamètre intérieur est compris entre 76 mm (3 in) et 125 mm (5 in).

Le système MP55 a un diamètre intérieur (ID) de 55 mm (2,25 in) et est généralement utilisé dans des forages dont le diamètre est compris entre 98 mm (3,9 in) à 170 mm (6,25 in)

Les systèmes de complétion sont conçus pour fonctionner à des profondeurs maximales allant de 300 m (1 000 pi) à plus de 1000 m (3300 pi).



Le système de MP38 est disponible en plastique, tandis que le système de MP55 est disponible en plastique et en acier inoxydable. Les composants en plastique peuvent être installés à une profondeur de 1000 m ou plus, à condition que les températures ne dépassent pas environ 40 ° C. Les systèmes en acier sont utilisés dans des situations où les efforts de traction, les pressions hydrauliques (en particulier des pressions différentielles), ou les températures élevées sont rencontrés. Les structures en acier plutôt qu'en plastique peuvent également être utilisées dans des situations où le tubage sera soumis à l'abrasion et à l'usure inhabituelle.

Raccord réguliers

Les systèmes de tubage ont été conçus avec des composants modulaires interchangeables.

L'assemblage du tubage est ainsi constitué de raccords réguliers et de raccords de port :

- les raccords réguliers permettent tout simplement de joindre deux pièces du tubage ensemble.
- les raccords de port (ports de mesure ou les ports de pompage) fournissent un moyen d'accéder au fluide à l'extérieur du tubage à la profondeur du port.

Port de mesure

Le port de mesure est le cœur du système de Westbay. Les ports de mesure sont utilisés pour la mesure de pression et les opérations d'échantillonnage de fluides. Des ports de mesure peuvent également être utilisés pour les tests en milieu hydraulique à faible perméabilité.

Chaque raccord de port de mesure a une petite soupape de retenue qui contient un ressort qui maintient la soupape fermée de sorte qu'il ne sera pas ouvert par la pression de fluide extérieur. L'orifice de mesure est actionné au moyen d'une sonde Westbay descendue dans le tubage à hauteur du port de mesure et permettant d'ouvrir la vanne du port. Certains ports de mesure de MP55 contiennent deux soupapes. Ces ports de mesure à double accès sont conçus pour une utilisation avec des sondes contenant des capteurs ou autres dispositifs de test de pointe in situ.

Port de pompage

A la différence du port de mesure, le port de pompage comporte plusieurs ouvertures relativement grandes, ce qui permet un mouvement plus rapide de grands volumes de fluide. La surface totale de ces ouvertures est approximativement égale à l'aire de section transversale de l'intérieur du tubage. Une vanne à manchon coulissant commande les ouvertures des orifices de pompage. Des outils d'exploitation mécaniques ou hydrauliques permettent d'ouvrir les vannes des ports de pompage. Les ports de pompage restent fermés si non-utilisés. Ils sont utilisés pour purger le forage après installation, pour prendre de grands volumes d'échantillons et pour les tests de perméabilité modérée à haute perméabilité.

Packers

Différents niveaux (zones de contrôle) dans un puits de forage sont séparés soit par des couches imperméables en plaçant du remblai autour de l'extérieur du tubage entre les zones de surveillance, soit en utilisant les packers gonflés d'eau.



GRAIN D'SEL

Les packers hydrauliques sont montés sur des mandrins en plastique ou en acier inoxydable. Chaque packer intègre une valve de gonflage individuelle. Après avoir positionné les packers dans le forage, un outil de gonflage du packer est descendu dans le tubage MP et les packers sont gonflés individuellement. Les tuyaux d'inflation des packers sont retirés du trou de forage. Pendant le processus d'inflation, la pression et le volume d'eau sont enregistrés pour chaque packer. Les packers restent gonflés pendant la durée de vie du système. Si l'entretien ou de la désaffectation du puits nécessite le retrait du système de tubage, certains types de packers contiennent une valve permettant de les dégonfler, tandis que d'autres packers sont dégonflés en perforant le mandrin.

Colliers magnétiques

Des colliers magnétiques peuvent être attachés à l'extérieur du tubage proche des composants installés qui seront visités fréquemment. Les colliers contiennent des aimants en céramique. Lorsqu'une sonde passe par un collier magnétique, un commutateur à lames dans la sonde est déclenché et un bruit se fait entendre à la surface. Cela aide l'opérateur de la sonde pour déterminer l'emplacement de la sonde dans le trou de forage.

Composants spécialisés

Un certain nombre de composants spéciaux sont disponibles. Ceux-ci comprennent:

- des connecteurs Y permettant d'installer un doublage du tubage dans la partie supérieure d'un puits. Cette disposition permet d'effectuer un pompage à travers un tubage pendant l'échantillonnage, la mesure de la pression, ou des opérations sur un port de pompage dans l'autre.
- des tubages télescopiques permettant de s'étendre ou être comprimé après l'installation. Ils protègent les composants du tubage.

Complétion de puits multi-niveaux

Le système MP de Westbay est un système modulaire de complétion de forage permettant de mettre en place un grand nombre de zones de surveillance dans un seul forage. Les ports à valve donnent accès à différentes zones de la complétion commune. Les packers hydrauliques ou remblai fournissent une étanchéité entre les zones de suivi. Des outils de logging et des instruments sont utilisés pour effectuer les mesures.

Grand nombre de zones de surveillance

Pas de limite pour le nombre de zones qui peuvent être suivi installé dans un trou de forage unique.

Mesures de la pression du fluide

Les sondes de pression MOSDAX sont utilisées pour mesurer les pressions de fluide dans des gammes larges de perméabilité.

Echantillonnage discret

Les échantillons de liquide sont collectés in situ sans purge répétée. Les perturbations des conditions in situ sont réduites au minimum. Les outils d'échantillonnage ne sont pas installés de façon



GRAIN D'SEL

permanente, permettant les services d'entretien et la décontamination de la voie d'écoulement de l'échantillon.

Test hydrogéologique

Les tests hydrogéologiques normaux (fluctuation du niveau, essais de traçage, ...) peuvent être effectués dans les zones où les ports de pompage sont installés

Données

Le fonctionnement standard comprend les documents des contrôles de qualités. Des contrôles rigoureux interzones peuvent également être mis en œuvre pour vérifier l'intégrité du système.

Deux tailles de tubage

System MP38 et MP55 : ce system offre une large gamme de capacités de complétion dans une grande variété des environnements de forage.

	<p>1-Packer</p> <ul style="list-style-type: none"> • étanchéité pour une gamme de tailles de forage • pas de lignes d'inflation dédiée • inflation hydraulique contrôlée avec historique de la pression et le volume • tests de contrôle de qualité pour confirmer les performances à tout moment après installation
	<p>2- Port de mesure MP</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pour l'échantillonnage et les mesures de pression du fluide.
	<p>3 Port de pompage MP</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pour la purge, les tests de conductivité hydraulique et les tests de contrôle de qualité.
	<p>4- Connexions étanches</p> <ul style="list-style-type: none"> • Toutes les connexions de tubage (raccord régulier, raccord de ports, capuchons d'extrémité) sont scellées par des joints toriques.

ILLUSTRATION 4 : DESCRIPTIF DU SYSTÈME WESTBAY (©SCHLUMBERGER WATER SERVICES)



GRAIN D'SEL

Echantillonnage discret (www.slb.com) (Illustration 5)

La sonde d'échantillonnage Westbay permet d'obtenir des échantillons de fluide in situ en descendant à l'intérieur du tubage MP du puits de surveillance. Les échantillons sont recueillis avec une perturbation minimale, sans purge et avec des vérifications de contrôle de qualité.

Pas de purge

Les échantillons sont recueillis directement à l'extérieur du tubage MP dans une bouteille d'échantillonnage propre. Afin d'avoir un accès en permanence au puits de forage, les purges ne sont pas répétées et les perturbations des conditions in-situ minimales:

- trajet de l'échantillon court, quelque soit la profondeur.
- exposition de l'opérateur minimal aux fluides dangereux.
- manipulation minimum et élimination des liquides dangereux.

Enregistrement de la pression lors de l'échantillonnage

Les pressions de fluide sont mesurées avant, pendant et après le processus d'échantillonnage fournissant un maximum de contrôle de l'opérateur et l'assurance de la qualité.

Echantillons sous pression

Les échantillons peuvent être récupérés à la pression in-situ afin de minimiser le dégazage et les variations ultérieures de la chimie.

Équipement portable

Une série de matériel d'échantillonnage peut être utilisé pour échantillonner un certain nombre de puits sur un ou plusieurs sites.

Décontamination facile

Les procédures simples de décontamination empêchent contamination transversale entre les zones de suivi et entre les puits.

Documentation de l'assurance de la qualité

De simples vérifications exécutées et documentées lors de l'échantillonnage permettent de vérifier le bon fonctionnement.

Facilité d'accès et de services

Les outils d'échantillonnages ne sont pas installés de façon permanente dans le puits. Les équipements peuvent être réparés au besoin.



GRAIN D'SEL

	<p>1-MAGI Interface</p> <ul style="list-style-type: none"> • contrôle facile du fonctionnement de la sonde. • affiche la pression, la température et le statut. • option pour le contrôle via ordinateur portable.
	<p>2- Treuil avec le câble</p> <ul style="list-style-type: none"> • Manuel ou motorisé.
	<p>3 Sonde d'échantillonnage MOSDAX</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mécanisme de localisation et d'activation compatible avec le système MP des ports de mesure. • Vanne d'échantillonnage contrôlée indépendamment. • Capteur de pression jauge de contrainte.
	<p>4- Bouteille d'échantillonnage</p> <ul style="list-style-type: none"> • Maintient la pression de l'échantillon lors de la récupération. • Facile à nettoyer.
	<p>5-System de puits MP</p> <ul style="list-style-type: none"> • Donne accès à plusieurs des zones de surveillance discrètes dans un unique forage.

ILLUSTRATION 5 : MISE EN PLACE ET MESURES A L'AIDE DU SYSTEME WESTBAY (©SCHLUMBERGER WATER SERVICES)

Installations

Barcarès

Le site de Barcarès est situé sur le stade du Barcarès (Illustration 6), avenue du stade. Ce site a été instrumenté avec (Illustration 7) :

- un SMD imaGeau de suivi de salinité sur une profondeur de 130 m, dénommé ci-après SMD GDS2.
- un système d'échantillonnage Westbay profond équipé de 27.5m à 113.5m
- un système d'échantillonnage Westbay court équipé de 4.4 m à 17.2 m.



ILLUSTRATION 6 : LOCALISATION DU SITE DE BARCARES (D'APRES GOOGLE MAP ; MAPS.GOOGLE.FR)



ILLUSTRATION 7 : EMBLEMMENT DES INSTRUMENTS EN FORAGE SUR LE STADE DU BARCARES (D'APRES GOOGLE MAP ; MAPS.GOOGLE.FR)



SMD imaGeau (Barry et al.)

Description du site

Date d'installation : 18/01/2012 & 13/03/2012

Adresse : Avenue du Stade 66420 Le Barcarès

Emplacement du SMD :

GDS2 situés entre le terrain de rugby et le terrain de foot (illustration 7).

Latitude : 42° 47' 52.404"N

Longitude : 3° 1' 51.888"E

Participants

imaGeau : Loïc Baqué, Simon Barry, Denis Neyens

Foreurs : Ginger Environnement

Résumé de la phase d'installation

Travaux précédant l'installation

Un forage carotté de diamètre 90 mm a été foré jusqu'à une profondeur de 132 m (carotté jusqu'à 120 m) (Illustration 8). Un tubage provisoire métallique a été installé à l'avancement sur toute la profondeur du puits pour assurer la stabilité du trou lors de l'installation de l'observatoire. Les carottes ont été récupérées par le laboratoire Géosciences Montpellier pour être étudiées.

Forage	Profondeur maximale (m)	Cimentation (m)	Coulis CETE (m)	PVC plein (m)	Diamètre (mm)	Formations rencontrées
GDS2	132	0 - 20	0 – 132	0-20	90	Sables Argiles Marnes

ILLUSTRATION 8 : CARACTERISTIQUES DU FORAGE GDS2 (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, IMAGEAU)

Installation de la station de surveillance SMD GDS2

Dans un premier temps, l'installation du SMD flexible GDS2 s'est faite à l'intérieur du tubage métallique provisoire. Le SMD a été inséré jusqu'à 132 m de profondeur à l'intérieur d'un tubage PVC crépiné.

Après complétion de l'installation en forage, le tubage métallique provisoire est retiré, tout en injectant un coulis CETE qui assure la cohésion électrique entre le SMD et la formation. La profondeur finale atteinte par l'observatoire est de 132 m (Illustration 10).

Dans un deuxième temps, l'installation du boîtier d'acquisition s'est fait à proximité du forage (Illustration 9).



GRAIN D'SEL



ILLUSTRATION 9 : VUE FINALE DE L'INSTALLATION DU SMD IMAGEAU SUR LE SIRE DE BARCARES (PHOTO ©IMAGEAU)

Mission	Barcarès
Date	18/01/2012 & 13/03/2012
Nom du site	Barcarès-Stade
Puits	GDS2
SMD	GDS2
Tubes	Flûte de 130.5 m
Bouchon fond de trou	Non
Offset tête métallique	+0.82 m
Profondeur équipée	21.3 m –129.3 m
Niveau piézométrique en fin	
Nombre d'électrodes dans le puits	73
N° de 1ere électrode connectée	1
Espace inter-électrodes	150 cm
Profondeur 1ere électrode	21.3 m
Alimentation	Secteur (220V)
Fréquence de mesures	quotidien
Fréquence de transfert de fichiers	quotidien

ILLUSTRATION 10 : RAPPORT FINAL D'INSTALLATION DE GDS2 (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, IMAGEAU)

Note : Les valeurs de profondeurs sont fonction du niveau du sol juste après la foration.

Equipement Westbay BAR1 (Lessard M.)

Introduction

Schlumberger Water Services (SWS) a installé pour Géosciences Montpellier un système Westbay pour la surveillance des eaux souterraines dans un puits ouvert sur le site du Barcarès, positionné à 5m au sud-ouest du forage équipé par imaGeau (Illustration 7). Ce rapport résume les travaux techniques réalisés lors de cette installation.

Personnel

Représentant SWS, M. Mark Lessard était sur place pour aider lors des activités d'installation du 28 novembre au 16 décembre 2011. Représentant Géosciences Montpellier, Mme Muriel Geeraert était



sur place pour superviser les activités de terrain. Un soutien sur place supplémentaire a été fourni par Ginger Groupe Ingénierie Europe (Ginger Groupe).

Installation

Activités précédentes

Selon les informations fournies par Géosciences Montpellier, un puits vertical de 150 m devait être foré par forage à la boue. Lors du forage, le tubage PQ s'est retrouvé coincé à 135 m. L'enregistrement par sonde Gamma Ray à l'intérieur du tubage a été effectuée par géosciences Montpellier. Le tubage a été ensuite coupé à la profondeur de 116 m. Le bout du tube de 116 m à 135 m a été laissé dans le puits. Le tubage au-dessus de 116 m a été libéré et utilisé comme tube de guidage temporaire lors de l'installation du Westbay. Le tube de guidage a été porté à 107 m avant l'installation du Westbay. Un résumé des détails de construction du forage en fonction des informations fournies par les géosciences Montpellier est présent dans le tableau 1 ci-dessous (Illustration 11).

Puits	Profondeur forée (m)	Nombre de zones	Diamètre intérieur Puits (mm)	Profondeur Casing de surface (m)
BAR1	135	10	140	25

ILLUSTRATION 11 : DETAILS DE CONSTRUCTION DU WESTBAY BAR1 (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, CNRS/SWS)

Au moment de l'installation, le niveau d'eau dans BAR1 était de 3,0 m par rapport au zéro de référence. La référence pour toutes les mesures était la côte supérieure du tubage de surface en acier.

Préparation de la conception du puits de surveillance

Les emplacements de la zone de surveillance pour le forage ont été fournis à Schlumberger Water Services par M. Philippe Pezard, la conception proposée le 1er Décembre 2011 a été approuvée par Philippe Pezard. Le puits de surveillance était configuré avec des zones de contrôle positionnées en fonction des zones d'intérêt demandé. Un port (ouverture possible vers l'extérieur) permettant la mesure a été inclus dans chacune des zones de surveillance pour fournir la capacité de mesurer des pressions de fluide et de recueillir des échantillons de fluide. Le Tableau 2 ci-dessous montre un résumé des composants Westbay installé (Illustration 12).

Puits instrumenté	Packers (0604)	Ports de mesure (0605)	Ports de pompage (0632)	Colliers magnétiques (0608)
BAR1	10	10	0	11

ILLUSTRATION 12 : RESUME DES COMPOSANTS WESTBAY INSTALLEES (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, SWS)



GRAIN D'SEL

Disposition des composants du système Westbay

L'assemblage du système Westbay approprié a été effectué et descendu au fur à mesure dans le puits. Des colliers de localisation magnétiques ont été fixés à 0,75 m au-dessous du haut de chaque port de mesure. Un collier de localisation magnétique supplémentaire a été placé à une profondeur de 4.4 m. Chaque composant de l'enveloppe a été inspecté visuellement, et les numéros de série pour chaque emballer et port mesure ont été enregistrés sur le journal d'installation du système Westbay.

Descente des composants du système Westbay

Les composants de boîtier Westbay ont été placés dans le trou de forage dans la séquence indiquée sur le journal d'installation du dispositif. Chaque joint de tubage a été testé pendant au moins une minute à une pression interne de 250 psi pour confirmer l'intégrité des joints hydrauliques. M. Philippe Pezard de Géosciences Montpellier a demandé de placer des filtres géotextiles sur le port de mesure. Le niveau d'eau dans BAR1 était 3 m au-dessous du niveau du sol, de sorte que les composants du système Westbay ont été abaissés à la main dans le puits de forage. L'eau fournie par Ginger Groupe a été ajoutée à l'intérieur du tube du Westbay si nécessaire pour contrer la flottabilité et a été utilisé pour les essais de joints d'étanchéité lors de la descente.

Test d'intégrité hydraulique

Après avoir descendu la colonne de tubage Westbay dans le puits, le niveau d'eau à l'intérieur du tubage du Westbay a été contrôlé à une profondeur différente par rapport au niveau d'eau du forage ouvert pendant une période minimale de 30 minutes pour confirmer l'intégrité hydraulique de l'enveloppe. Les données provenant du test d'intégrité hydraulique sont présentées dans le tableau ci-dessous (Illustration 13). Les données indiquent que les tubages Westbay étaient étanches.

Numéro du puits	Niveau d'eau dans le puits ouvert	Niveau d'eau dans le Westbay
BAR1	3.0 m	22.82 m

ILLUSTRATION 13 : NIVEAU D'EAU DANS LE FORAGE ET LE SYSTEME WESTBAY (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, SWS)

Positionnement des composants du système Westbay

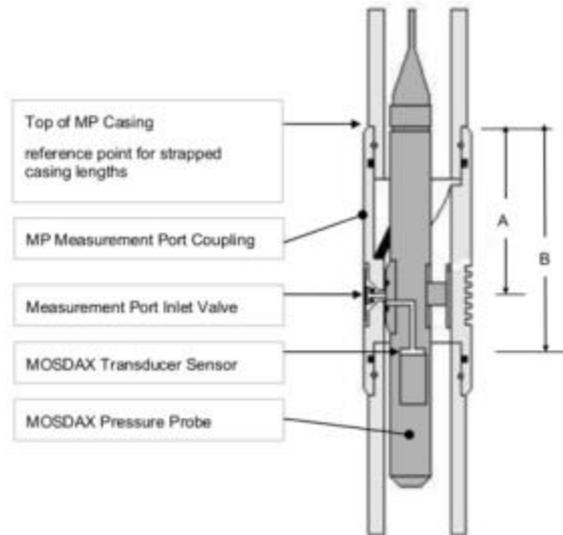
Après la descente des composants dans le puits et la confirmation de l'intégrité hydraulique du dispositif Westbay, la colonne de tubage Westbay a été positionnée comme indiqué sur le journal d'installation. La colonne de tubage Westbay a été soutenue dans cette position lors de l'inflation des packers. La figure ci-jointe (Illustration 14) intitulée « MOSDAX capteur de position " fournit les informations pour corréliser la position d'un capteur à transducteur MOSDAX à la position de référence au sommet du port de mesure. La figure ci-jointe (Illustration 15) intitulée « Dimensions des packers et des zones de surveillance " décrit les calculs utilisés pour déterminer les profondeurs des packers et la longueur de la zone.



GRAIN D'SEL

MOSDAX Transducer Position

In an MP System Measurement Port Coupling



System	Measurement Port Type	A	B
Plastic MP55 (2valve)	0605v4	6" (152.4 mm)	8" (203.2 mm)

ILLUSTRATION 14 : MOSDAX-CAPTEUR DE PRESSION (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, SWS)

Dimensions of Packer Seals and Monitoring Zones

Westbay System – Plastic 0604 Packers

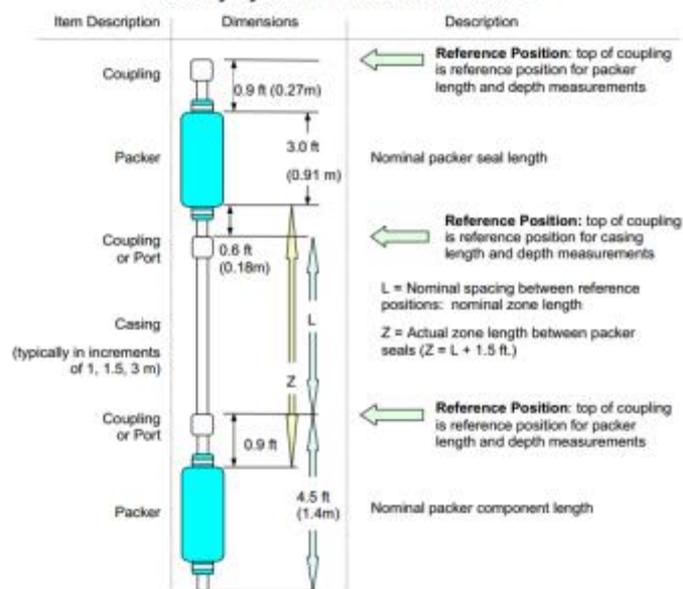


ILLUSTRATION 15 : DIMENSIONS DES PACKERS ET ZONES DE SURVEILLANCE (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, SWS)



GRAIN D'SEL

Profile Pré- inflation

Un profil de pression de pré -gonflage a été réalisée avant de gonfler les packers pour confirmer la bonne marche des opérations et la position des ports de mesure et des colliers magnétiques. Les données ont confirmé que les ports fonctionnaient correctement et étaient bien placés dans le puits.

L'inflation des packers du système Westbay

Les packers ont été gonflés avec de l'eau fournie par Ginger Groupe, dans l'ordre en commençant par celui placé le plus en profondeur. Après l'inflation du packer du fond (à 107 m), le tube de guidage a été remonté par palier (déterminés par géosciences Montpellier), En général, ces paliers ont été déterminés sur la base de la qualité de paroi du forage et le risque d'éboulement du puits. A chaque étape, les packers ont été gonflé avant le retrait des tubes de guidage. Pendant ces étapes, le poids du dispositif Westbay a été pris en charge par les packers gonflés. Tous les packers dans BAR1 semblaient gonfler avec succès. Les données pour le gonflage de chaque packer sont incluses dans le tableau récapitulatif (Illustration 16) montrant des informations clés sur les Packers et les ports de mesure. Un tableau récapitulatif du dispositif tel que construit (Illustration 17) affiche des informations sur chaque partie du Westbay.

Port No.	Measurement Port (m)	Pumping Port (m)	Packer (m)	Packer Internal Pressure (psi)	Packer Volume (L)	Top of Zone (m)	Bottom of Zone (m)
1	113.5	No Pumping Port	112.1	105	11.25	113.3	135.0
2	94.0	No Pumping Port	92.6	100	11.25	93.8	112.4
3	81.0	No Pumping Port	79.6	100	11.25	80.8	92.9
4	74.5	No Pumping Port	73.1	115	11.00	74.3	79.9
5	69.0	No Pumping Port	67.6	105	10.90	68.8	73.4
6	57.5	No Pumping Port	56.1	70	11.25	57.3	67.9
7	52.0	No Pumping Port	50.6	70	11.25	51.8	56.4
8	43.5	No Pumping Port	42.1	90	11.25	43.3	50.9
9	36.0	No Pumping Port	34.6	85	11.00	35.8	42.4
10	27.5	No Pumping Port	26.1	100	10.00	27.3	34.9

ILLUSTRATION 16 : DISPOSITION DU SYSTEME WESTBAY DANS LE FORAGE (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, IMAGEAU)



GRAIN D'SEL

Item No.	Casing P/N	Casing S/N	Coupling P/N	Coupling S/N	Accessory P/N	Mag Collar (m)	Depth (bgs) (m)
55	0603		0602				-1.1
54	060110		0602				-0.8
53	060110		0602				0.2
52	060110		0602				1.2
51	060115		0602				2.2
50	060115		0602		0608	0.75	3.7
49	060115		0602				5.2
48	060115		0602				6.7
47	060130		0602				8.1
46	060130		0602				11.2
45	060130		0602				14.2
44	060130		0602				17.2
43	060130		0602				20.2
42	060130		0602				23.2
41	0604	212	0602				26.2
40	060130		0605	1294	0608	0.75	27.5
39	060110		0602				30.6
38	060130		0602				31.6
37	0604	221	0602				34.6
36	060130		0605	1298	0608	0.75	36.0
35	060130		0602				39.1
34	0604	215	0602				42.1
33	060130		0605	1296	0608	0.75	43.5
32	060110		0602				46.6
31	060130		0602				47.6
30	0604	210	0602				50.6
29	060130		0605	1297	0608	0.75	52.0
28	060110		0602				55.1
27	0604	218	0602				56.1
26	060130		0605	1302	0608	0.75	57.5
25	060110		0602				60.6
24	060130		0602				61.6
23	060130		0602				64.6
22	0604	220	0602				67.6
21	060130		0605	1300	0608	0.75	69.0
20	060110		0602				72.1
19	0604	216	0602				73.1
18	060130		0605	1303	0608	0.75	74.5
17	060110		0602				77.6
16	060110		0602				78.6
15	0604	211	0602				79.6
14	060130		0605	1304	0608	0.75	81.0
13	060110		0602				84.1
12	060115		0602				85.1
11	060130		0602				86.6
10	060130		0602				89.6
9	0604	219	0602				92.6
8	060130		0605	1305	0608	0.75	94.0



Item No.	Casing P/N	Casing S/N	Coupling P/N	Coupling S/N	Accessory P/N	Mag Collar (m)	Depth (bgs) (m)
7	060130		0602				97.1
6	060130		0602				100.1
5	060130		0602				103.1
4	060130		0602				106.1
3	060130		0602				109.1
2	0604	217	0602				112.1
1	060115		0605	1301	0608	0.75	113.5
0	0603		0602				115.1

ILLUSTRATION 17 : CARACTERISTIQUES DU DISPOSITIF BAR1 (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, SWS)

Les mesures de pression du fluide

Après l'inflation des packers, des pressions de fluide ont été mesurées à chaque port de mesure. A ce stade, les pressions dans la formation in situ peuvent ne pas être revenues à la normale après la phase d'installation et de forage qui a modifié localement et temporairement le champ de pression. Le suivi à long terme peut être nécessaire pour établir des pressions de fluide représentatives. Les données ont été examinées pour vérifier le bon fonctionnement des ports de mesure et contrôler l'étanchéité entre des zones de surveillance.

Equipement Westbay BAR2 (Geeraert M. – 2)

La mise en place du Westbay BAR-2 a eu lieu le 1er Février 2012. Le forage atteint une profondeur de 20.2 m.

L'équipement installé :

- 4 tubes de 3 mètres
- 4 tubes de 1.5 mètres
- 3 tubes de 1 mètre
- 3 ports
- 2 bouchons
- 7 raccords

Le montage et l'assemblage se sont déroulés sans incident. Les trois ports ont été protégés par un géotextile maintenu en place par des colliers de serrage en plastique.

Après la mise en place des tubages du Westbay, le tubage métallique de protection a été sorti par l'équipe de forage. A la fin des opérations, le tube du Westbay dépassait du sol de 1.32 m. Ce qui positionne les trois ports de mesure à 4.4 m, 16.6 m et 19.2 m.



GRAIN D'SEL

En accord avec la loi sur l'eau, il avait été demandé que le tubage en acier qui protège les forages dépasse du sol de un mètre. Le tube du Westbay a donc été coupé à 0.8 m au-dessus du sol, puis protégé par un tube vert fermé par un couvercle à l'aide de vis et de boulons.

Les éléments du Westbay BAR-2 ont été assemblés comme suit (Illustration 18) :

	dim élément	profondeur	profondeur
		-1,32	
bouchon	0,124		
		-1,196	
tube 1,5	1,4		
		0,204	
raccord	0,105		
		0,309	
tube 1	0,9		
		1,209	
raccord	0,105		
		1,314	
tube 3	2,9		
		4,214	
port	0,241		4,425
		4,455	
tube 1,5	1,4		
		5,855	
raccord	0,105		
		5,96	
tube 1,5	1,4		
		7,36	
raccord	0,105		
		7,465	
tube 3	2,9		
		10,365	
raccord	0,105		
		10,47	
tube 3	2,9		
		13,37	
raccord	0,105		
		13,475	
tube 3	2,9		
		16,375	
port	0,241		16,586
		16,616	
tube 1,5	1,4		
		18,016	
raccord	0,105		
		18,121	
tube 1	0,9		
		19,021	
port	0,241		19,233
		19,262	
tube 1	0,9		
		20,162	
bouchon	0,124		
		20,286	

ILLUSTRATION 18 : POSITION DES POINTS DE PRELEVEMENTS WESTBAY DE BARCARES BAR-2 (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, CNRS)



Canet-en Roussillon

Le site de Canet-en-Roussillon est près du château d'eau, rue de l'Autan (Illustration 19). Ce site a été instrumenté avec (Illustration 20) :

- un SMD imaGeau de suivi de salinité sur une profondeur de 20.1 m, dénommé ci-après SMD GDS1.
- un SMD imaGeau de suivi de température et pression sur une profondeur de 13.1 m, dénommé ci-après SMD GDS1/PT
- un système d'échantillonnage Westbay court équipé de 5 m à 15.8 m.



ILLUSTRATION 19 : LOCALISATION DU SITE DE CANET EN ROUSSILLON (D'APRES GOOGLE MAP ; MAPS.GOOGLE.FR)



ILLUSTRATION 20 : EMPLACEMENT DES INSTRUMENTS EN FORAGE SUR LE SITE DE CANET EN ROUSSILLON (D'APRES GOOGLE MAP ; MAPS.GOOGLE.FR)

SMD imaGeau GDS1 (Neyens et al. -2)

Date d'installation 28/10/2011

Description du site

Adresse :

Intersection entre la rue de l'Autan et La Marende, sous le château d'eau

Emplacement du forage : sur le parking à l'ouest du château d'eau (illustration 20).

Latitude: 42° 41' 4.4124"N

Longitude : 3° 1' 49.4862"E

Participants

imaGeau : Loïc Baqué, Denis Neyens

Foreurs: Ginger Perpignan & Bruno Lenoir (Ginger Montpellier)

Résumé de la phase d'installation

Travaux précédant l'installation

Un forage de diamètre 143 mm a été foré jusqu'à une profondeur de 20.15m. Un tubage provisoire métallique a été installé à l'avancement sur toute la profondeur du puits pour assurer la stabilité du trou lors de l'installation de l'observatoire. Aucun échantillonnage n'a été réalisé de par la présence des forages de calibration carottés à proximité (Illustration 21).

Forage	Profondeur maximale (m)	Cimentation	Tubage Métallique	Diamètre (mm)	Formations rencontrées
GDS1	20.15	0-2m	aucun	143	Argiles/ Sables/Graviers/Vase

ILLUSTRATION 21 : CARACTERISTIQUES DU FORAGE GDS1 (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, IMAGEAU)

Installation de l'observatoire imaGeau GDS1

L'installation de l'observatoire s'est faite à l'intérieur du tubage métallique provisoire. L'observatoire a été inséré dans la formation jusqu'à 20.15 m de profondeur. Les électrodes de l'observatoire sont connectées au câble central et testées pour leur fiabilité.

Après complétion de l'installation, le tubage métallique provisoire est retiré, tout en vérifiant que l'observatoire reste bien inséré dans la formation. La profondeur finale atteinte par l'observatoire est de 20.10 m (Illustration 22, Illustration 23).

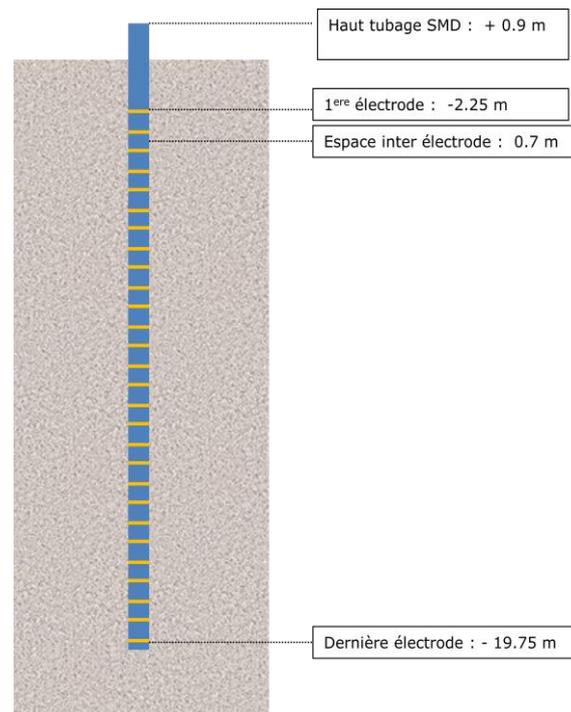


ILLUSTRATION 22 : SCHEMA DU SMD GDS1 – CONDUCTIVITE (©IMAGEAU)



Mission	Canet en Roussillon
Date	28/10/2011
Nom du site	Canet en Roussillon
Puits	GDS1
SMD	GDS1
Tubes	15 sur 20.1m
Bouchon fond de trou	1 sur 0.14 m
Offset tête métallique	+0.82 m
Profondeur équipée	1.9m –20.10m
Niveau piezo en fin d'installation	3 m
Nombre d'électrodes dans le puits	26
N° de 1ere électrode connectée	1
Espace inter-électrodes	70 cm
Profondeur 1ere électrode	1.9 m
Alimentation	Secteur (220V)
Fréquence de mesures	quotidien
Fréquence de transfert de fichiers	quotidien

ILLUSTRATION 23 : RAPPORT FINAL DE L'INSTALLATION DU SMD GDS2 (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, IMAGEAU)

SMD GDS1/PT (Pression & température)

Date: 19/11/2012

Description du site

Adresse :

Intersection entre la rue de l'Autan et La Marende, sous le château d'eau

Emplacement du forage : sur le parking à l'ouest du château d'eau (Illustration 20).

Latitude: 42° 41' 4.311"N

Longitude: 3° 1' 49.4472"E

Participants

imaGeau : Benoit De Mezzo, Denis Neyens

Foreurs: Ginger Perpignan & Bruno Lenoir (Ginger Montpellier)

Résumé de la phase d'installation

10h15, début du forage en 134/143

13h00, fin du forage avec pose du tube acier jusqu'à environ 13,30m. Un horizon vers 8-10m confirme la présence de roche de type « vase » (Illustration 24).

Forage	Profondeur maximale (m)	Cimentation	Tubage Métallique	Diamètre (mm)	Formations rencontrée
GS1/PT	13.30	aucune	non	143	Sables/Sables-Argileux

ILLUSTRATION 24 : CARACTERISTIQUES DU FORAGE GDS1/PT (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, IMAGEAU)

13h00-14h15, installation du tubage de l'observatoire GDS1/PT.



GRAIN D'SEL

14h15-15h30, extraction du tubage métallique. Lors de l'extraction l'observatoire est remonté avec le tubage métallique. Nous avons décidé d'appuyer légèrement sur le tubage PVC de l'observatoire avec la tête de foreuse pour le maintenir en place pendant l'extraction du tubage métallique. Ceci a permis en effet de retirer le tubage métallique en laissant en place l'observatoire.

15h30-18h30, pose de la tête de forage, pose de la gaine enterrée protégeant les câbles, raccourcissement des câbles, connexions des différents capteurs (Illustration 25, Illustration 27).

18h30-19h30, configurations logicielles, tests (Illustration 26).

Capteurs	type	plage mesure	profondeur (m)
C0	Pression	0-1 bar	5.00
C1	Pression	0-1 bar	5.52
C2	Pression	0-2 bar	5.57
C3	Pression	0-1 bar	9.48
C4	Pression	0-3 bars	9.58
Patmo	Pression	0.8-1.2 bars	0.00
T1	Température	0-100°C	5.48
T2	Température	0-100°C	9.68
Electrode PS	Potentiel Spontané	5-5000mV	5.72
Electrode PS	Potentiel Spontané	5-5000mV	6.42

ILLUSTRATION 25 : CARACTERISTIQUES ET POSITION DES CAPTEURS P/T DU SMD GDS1/PT (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, IMAGEAU)

Mission	Canet en Roussillon
Date	19/11/2012
Nom du site	Canet en Roussillon
SMD	GDS1/PT
Tubes	11 sur 13.1m
Offset tête métallique	+0.82 m
Profondeur équipée	5.00m – 9.68m
Niveau piezo en fin d'installation	1.79 m
Nombre d'électrodes dans le puits	2
N° de 1ere électrode connectée	38
Nombre de capteur de pression	6
Nombre de capteur de température	4
Profondeur 1ere électrode connectée	5.72 m
Alimentation	Secteur (220V)
Fréquence de mesures	15 mn
Fréquence de transfert de fichiers par GPRS	4 h

ILLUSTRATION 26 : RAPPORT FINAL DE L'INSTALLATION DU SMD GDS2/PT (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, IMAGEAU)



GRAIN D'SEL

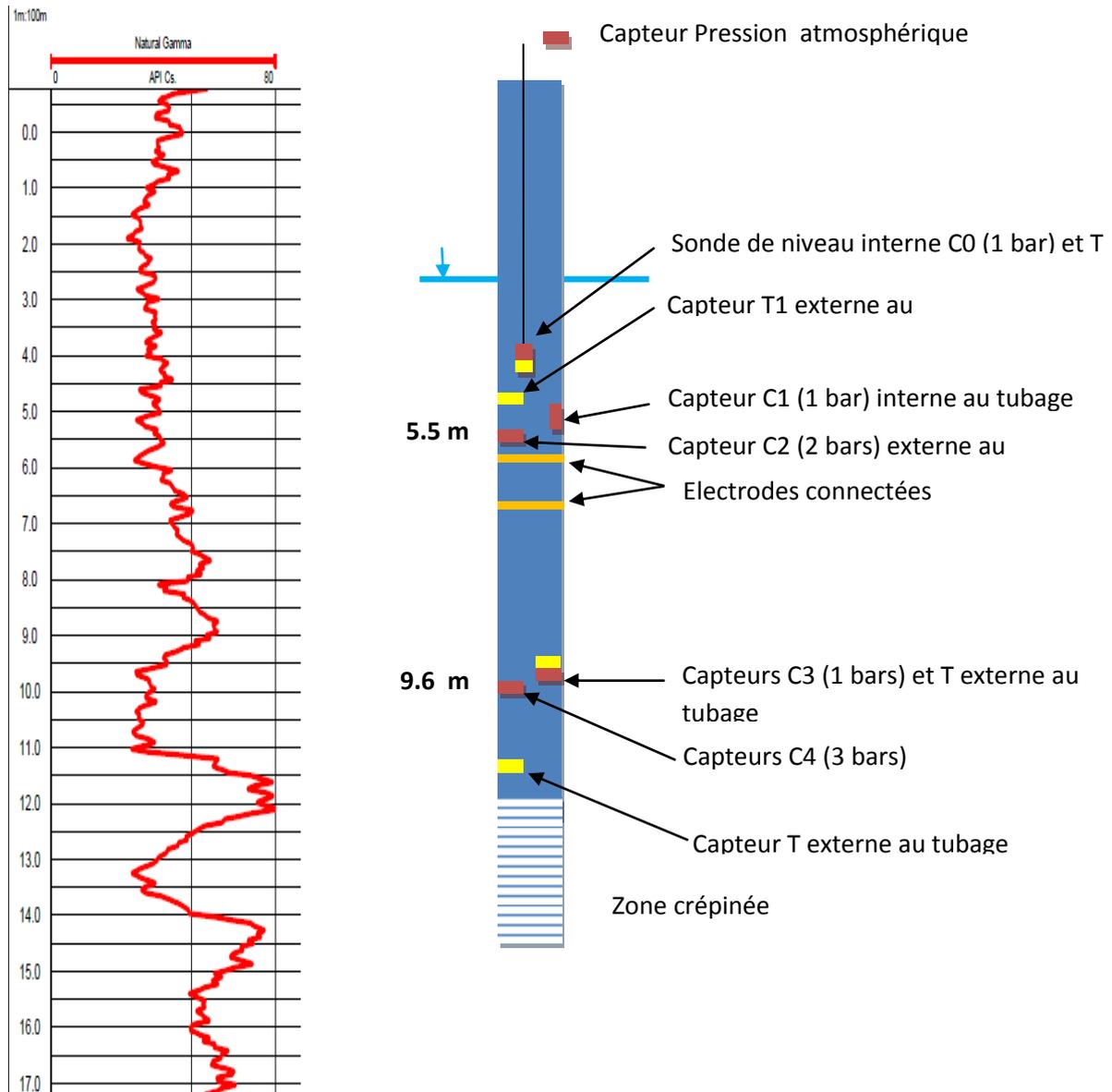


ILLUSTRATION 27 : SCHEMA DE L'OBSERVATOIRE GDS1/PT ET POSITION DES CAPTEURS P ET T (©IMAGEAU)

Equipement Westbay CAN1 (Geeraert M. -1)

La mise en place du Westbay de Canet-en-Roussillon à eu lieu le 14 novembre 2011. Le forage atteint 20 m de profondeur. Pour la complétion du Westbay, il a été utilisé :

- 5 tubes de 3.0 m
- 4 tubes de 1.5 m
- 3 ports de mesures

Le tubage dépasse de 1.5 m au dessus du sol.



GRAIN D'SEL

Les trois ports de mesures ont été protégés par un géotextile maintenu en place par des colliers de serrage en plastique. Les foreurs ont pu alors extraire le tubage métallique. Suite à cette opération, le Westbay dépasse de 1.2 m par rapport au niveau du sol, ce qui localise les 3 ports de mesures à 5.0 m, 12.4 m et 15.8 m (Illustration 28, Illustration 29). En surface, le tube du Westbay a été protégé par un tube vert fermé par un couvercle serti de vis et boulons.

Le 28 novembre 2011, nous avons procédé à l'enregistrement du premier profil de pression. Tous les ports ont fonctionné correctement, mais l'échantillonnage de fluide ne fut pas possible avec le port 2 (12.4 m). Afin d'essayer de libérer le port n°2, nous avons rempli la bouteille à 15.8 m, avec un fluide de 2.44 bars de pression. En remontant à 12.4 m où la pression du milieu n'est que de 2.13 bars, la vanne a été ouverte pour essayer de déboucher le port. Une fois la bouteille vidée en surface, un nouvel essai à 12.4 a échoué à nouveau car le port était toujours obstrué.

Le 30 novembre 2011, un second profil de pression a été enregistré avec Marc Lessard (ingénieur Schlumberger/WestBay), ainsi qu'une nouvelle tentative de prélèvement d'eau à 12.4 m. A nouveau, le port s'ouvre bien (lecture de pression cohérente) mais semble bouché, incapable de produire du fluide poral. Il est possible qu'il se trouve juste en face d'une mince couche d'argile.

Les éléments du Westbay CAN1 ont été assemblés comme suit (Illustration 28) :

	longueur élément (cm)	profondeur (m)	profondeur (m)
		-1,22	
bouchon	0,12		
		-1,10	
tube 1,5	1,40		
		0,30	
raccord	0,10		
		0,41	
tube 1,5	1,40		
		1,81	
raccord	0,10		
		1,91	
tube 3	2,90		
		4,81	
port	0,24		5,0
		5,06	
tube 1,5	1,40		
		6,46	
raccord	0,10		
		6,56	
tube 3	2,90		
		9,46	
raccord	0,10		
		9,56	
tube 3	2,90		
		12,46	
port	0,24		12,4
		12,71	
tube 3	2,90		
		15,61	



GRAIN D'SEL

port	0,24		15,8
		15,85	
tube 1,5	1,40		
		17,25	
raccord	0,10		
		17,35	
tube 3	2,90		
		20,25	
bouchon	0,12		
		20,38	
		21,60	

ILLUSTRATION 28 : POSITION DES POINTS DE PRELEVEMENTS WESTBAY DU CANET-EN-ROUSSILLON CAN1 (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, SWS/CNRS)

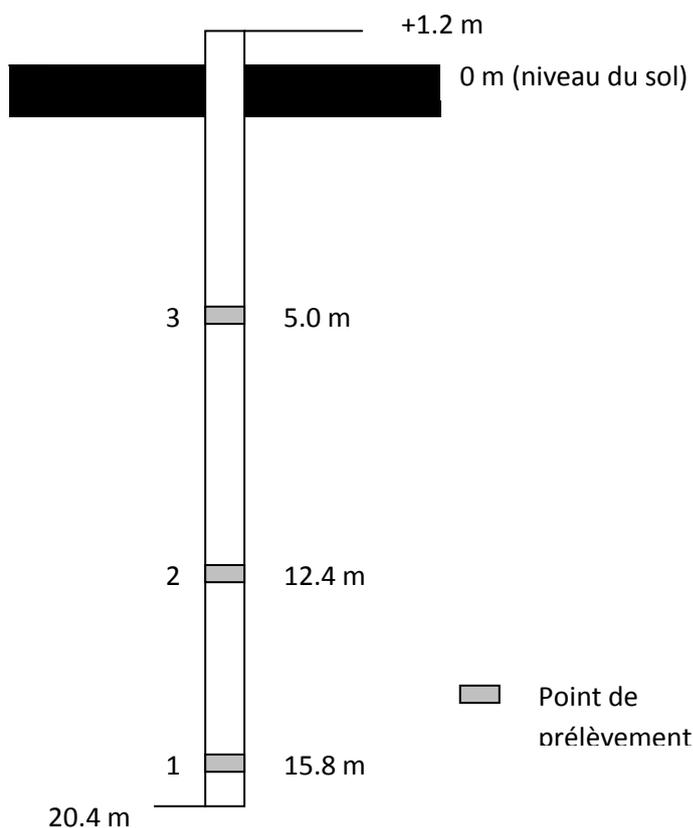


ILLUSTRATION 29 : POSITION DES PORTS DE MESURES DU WESTBAY CAN1 (D'APRES RAPPORT D'INSTALLATION, SWS/CNRS)

Afin de pouvoir comparer les mesures des différentes instrumentations mises en place dans les forages, la stratégie d'installation a été d'installer les SMD imaGeau et les systèmes Westbay dans des forages proche l'un de l'autre sur chacun des sites (distance < 5m).



3. Acquisition des données hydro-géophysiques en forage (BRGM, imaGeau, GM)

Acquisition géophysiques en forage (diagraphies)

Des profils et images géophysiques ont été réalisés juste après la foration (et avant équipement) dans l'ensemble des forages, afin de contribuer à définir les caractéristiques pétrophysiques et l'état initial de chacun des deux sites tests. Le programme des mesures qui ont été mises en œuvre par Géosciences Montpellier est le suivant:

- Diagraphies du terrain :
 - Rayonnement gamma naturel spectral ;
 - Résistivité électrique ;
 - Analyse du fluide en forage :
 - pression, température, conductivité, Eh et pH (avec le système « Idronaut »);

Le BRGM a assuré le suivi de la foration, avec repérage des niveaux d'arrivées d'eau (et mesure de conductivité et température pour connaître les niveaux salés et/ou saumâtre). En collaboration avec UPVD/IMAGES et le CNRS, le log géologique des ouvrages sur la base des carottes et des cuttings de forages a été établi (tâche 3). Les packers du Westbay ont été positionnés en fonction des profils géophysiques en forage, des résultats du log géologique, et des arrivées d'eau, afin de définir les horizons aquifères à isoler pour les mesures et les prélèvements.

Les diagraphies de forage sur les deux sites sont présentées ci-dessous et ont permis de définir les caractéristiques pétrophysiques (tâche3) et l'état initial de chacun des deux sites. Ces données sont étudiées et interprétées dans la tâche 3 (Illustration 30 à Illustration 36)



GRAIN D'SEL

Site de Barcarès

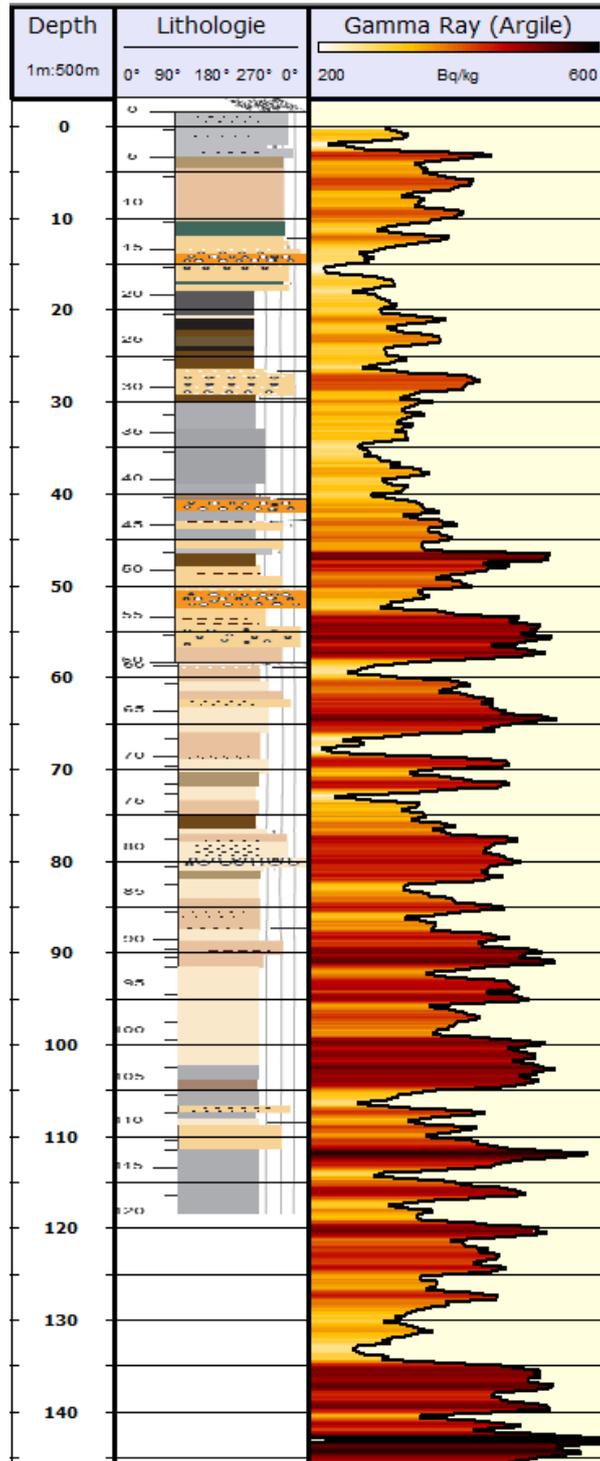


ILLUSTRATION 30 : PROFIL DE GAMMA RAY SPECTRAL (ARGILES) ET CALAGE SUR LA LITHOLOGIE REALISEE A PARTIR DES CAROTTES.- FORAGE WB ; STADE DU BARCARES (DELEAU ET AL.)



GRAIN D'SEL

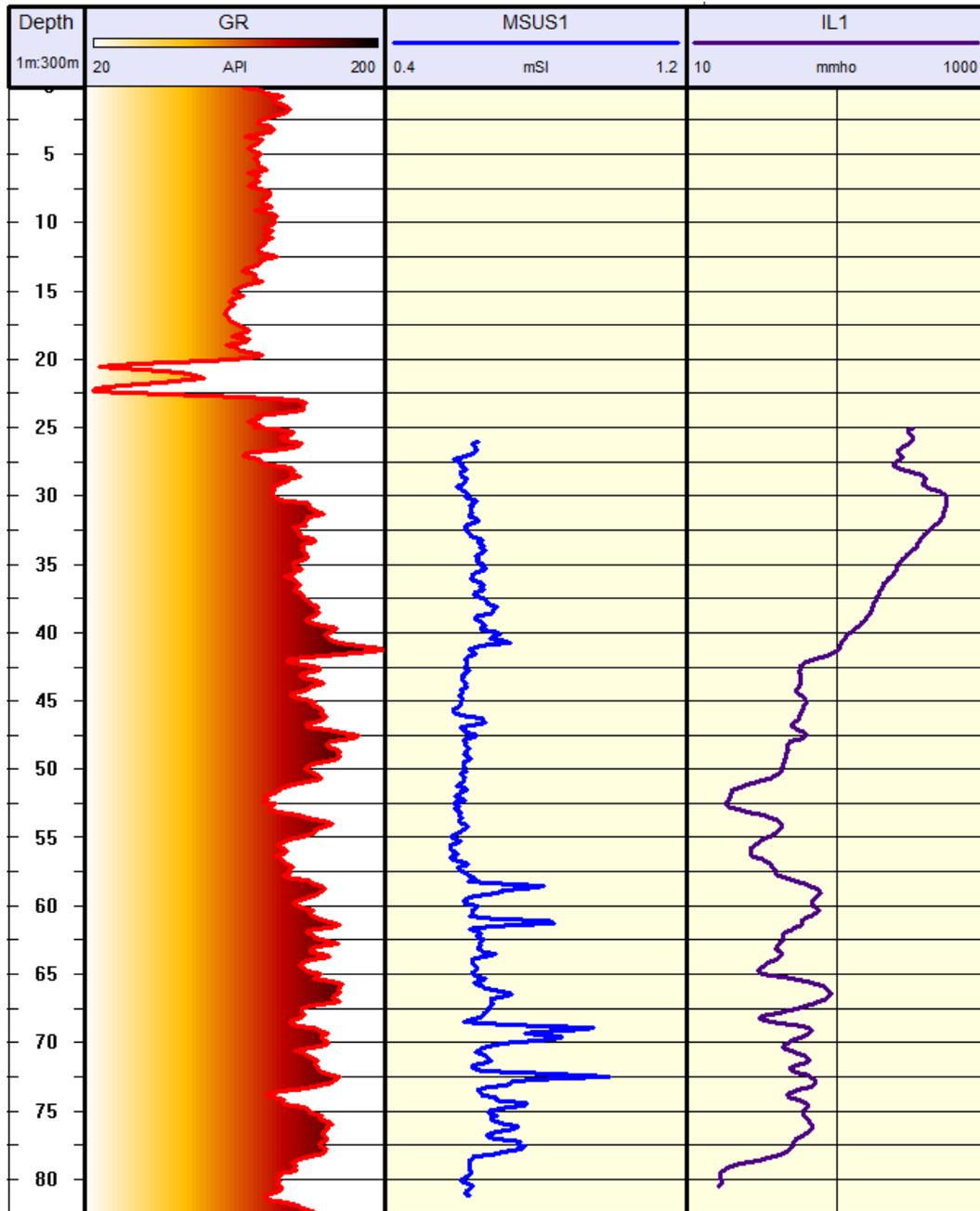


ILLUSTRATION 31 : PROFILS GAMMA RAY SPECTRAL SPECTRAL (ARGILES), SUSCEPTIBILITE MAGNETIQUE ET ELECTRIQUE – FORAGE P2 ; STADE DU BARCARES (D'APRES CNRS)



GRAIN D'SEL

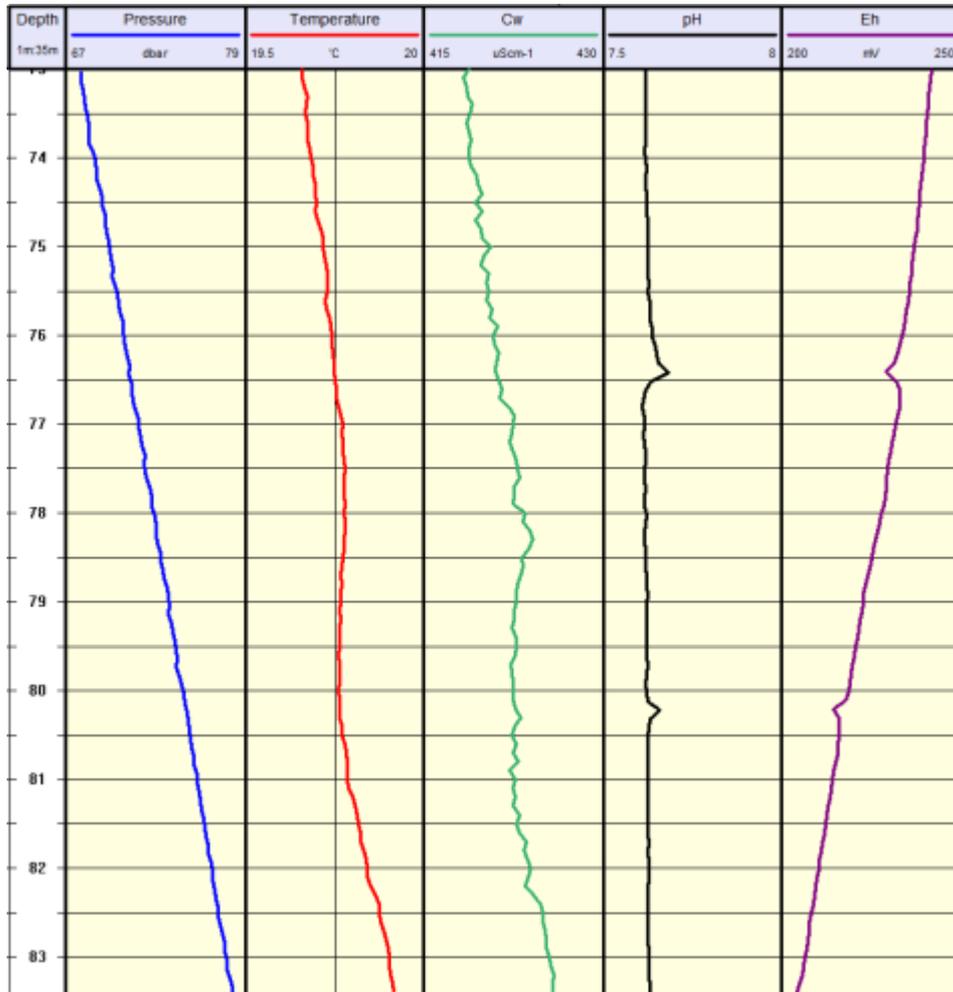


ILLUSTRATION 32 : PROFILS DES CARACTERISTIQUES DU FLUIDE EN FORAGE (PRESSION, TEMPERATURE, CONDUCTIVITE, PH, Eh) - FORAGE P2 ; STADE DU BARCARES (D'APRES CNRS)



GRAIN D'SEL

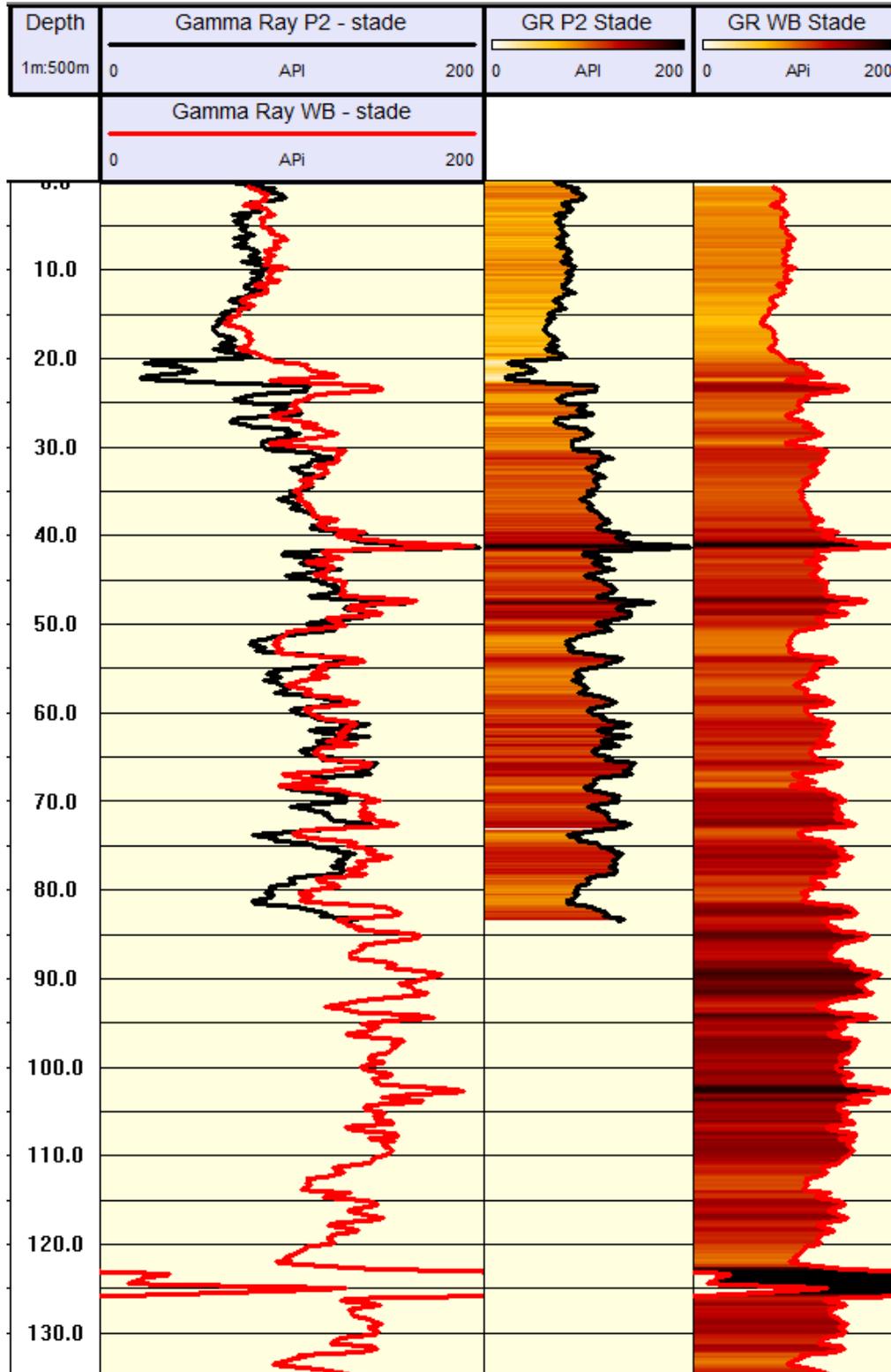


ILLUSTRATION 33 : COMPARAISON DES PROFILS DE GAMMA RAY SPECTRAL (ARGILES) SUR LES DEUX FORAGES PROCHES WB ET P2 ; STADE DE BARCARES (D'APRES CNRS)



GRAIN D'SEL

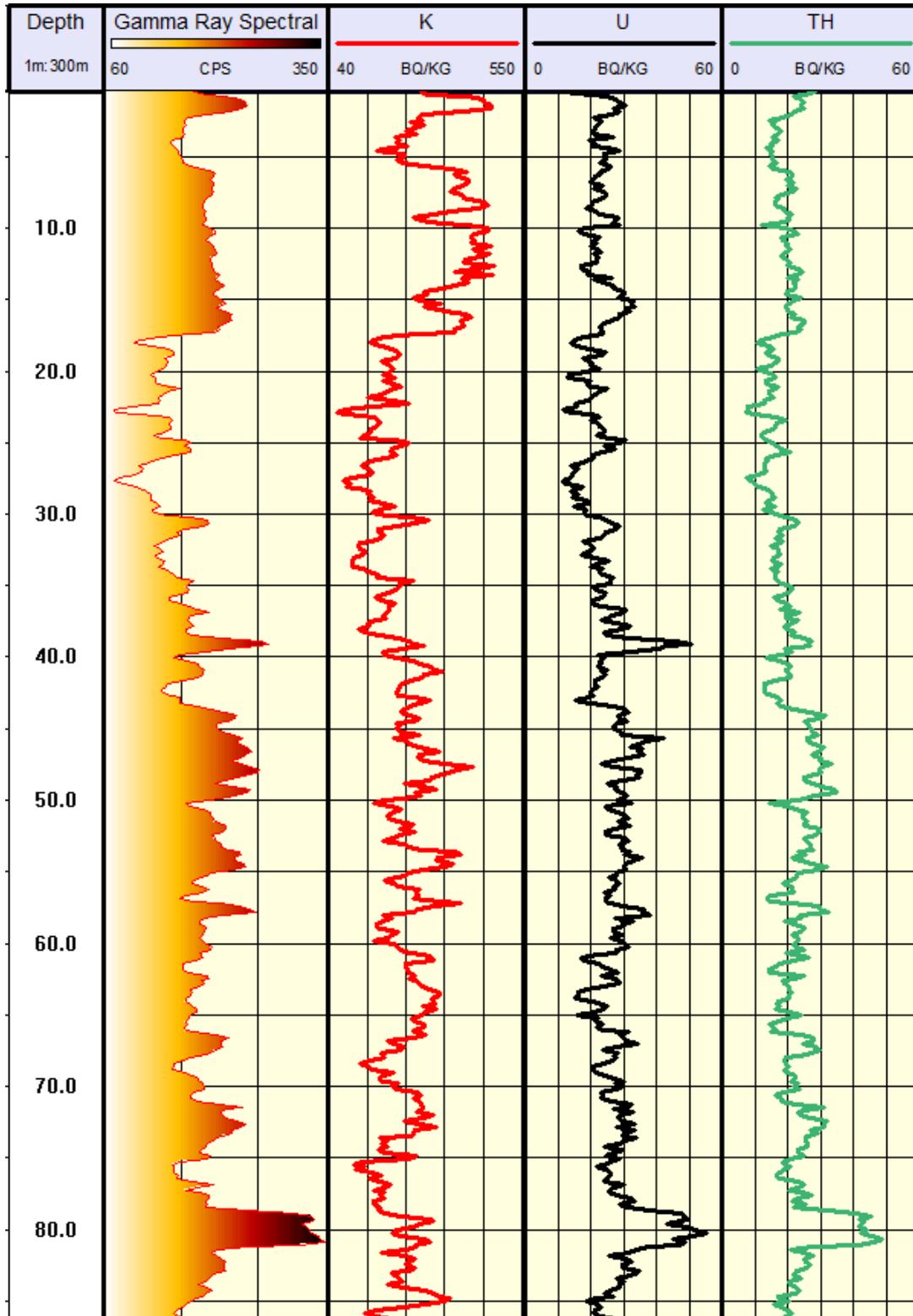


ILLUSTRATION 34 : PROFILS DE GAMMA RAY SPECTRAL ET TENEUR EN K, U, TH DES ARGILES – FORAGE P1 ; LITTORAL BARCARES (D'APRES CNRS)



GRAIN D'SEL

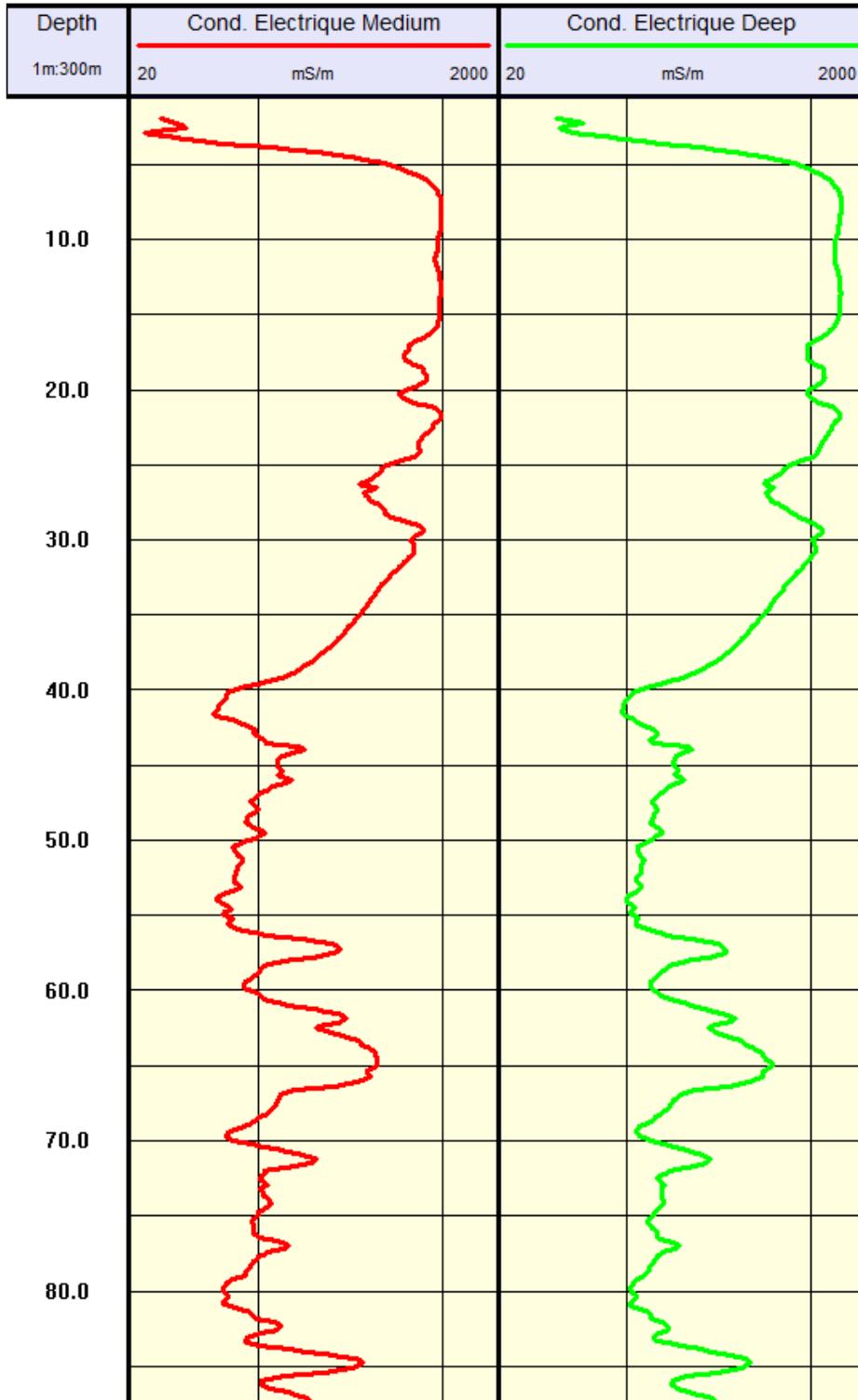


ILLUSTRATION 35 : PROFILS DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE TOTALE – FORAGE P1 ; LITTORAL BARCARES (D'APRES CNRS)



GRAIN D'SEL

Site de Canet en Roussillon

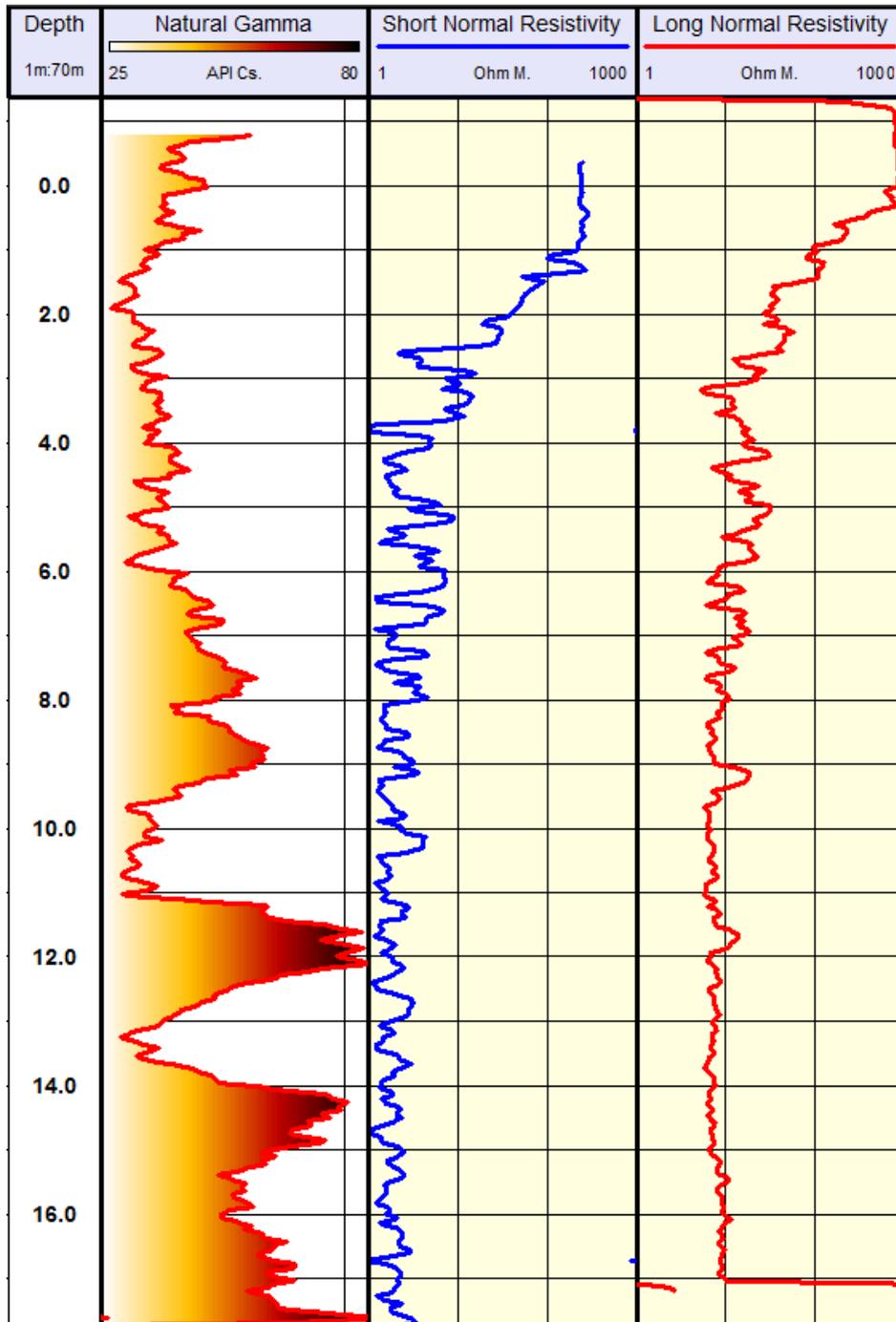


ILLUSTRATION 36 : PROFILS DE GAMMA RAY SPECTRAL (ARGILES), RESISTIVITE ELECTRIQUE – FORAGE CANET (D'APRES CNRS)



Acquisition en continu des données hydro-géophysique des SMD (imaGeau)

Après mise en place, les SMD imaGeau permettent d'obtenir une distribution verticale fine (pas d'espace de 1 à 2 m) et continue de la résistivité équivalente du terrain, qui est ensuite traduit en conductivité électriques de l'eau porale et salinité par l'intermédiaire d'une calibration initiale basée sur une étude pétrophysique du site d'installation (tâche 3).

Le protocole d'acquisition des données pour les SMD de mesure de conductivité a été établi initialement avec un pas de temps d'acquisition quotidien (un profil de résistivité/conductivité vertical par jour). Pour le SMD de mesure de pression et température, le pas d'acquisition a été choisi à 15 mn afin de suivre l'évolution discrète de la température et de la pression sur le site de Canet en corrélation des pompages proches et des effets de marées.

Les données ont été envoyées automatiquement après chaque acquisition par réseau 3G sur le serveur imaGeau, où elles ont été stockées et sauvegardées et traitées pour mise à disposition des partenaires.

Pour les SMD de conductivité, la résistivité équivalente du terrain dépend de plusieurs facteurs (nature géologique de la formation, teneur en argile, porosité matricielle, structure topologique de la porosité, degré de saturation, minéralisation et salinité de l'eau contenue, etc.), et une calibration à partir des mesures pétrophysiques en forage et sur carottes a permis de convertir les données initiales de résistivité apparente en conductivité et salinité de l'eau porale à chaque niveau (cf. tâche 3). Cette conversion, une fois définie, se réalisait automatiquement sur le serveur d'imaGeau

Site de Barcarès

Le SMD du site de Barcarès a permis d'acquérir un profil vertical de résistivité électrique (convertie en conductivité et salinité du fluide poral) de 30 m à 130 m, en effectuant une mesure tous les 1,5m. Ce profil a été enregistré quotidiennement du 15 mars 2012 au 31 octobre 2012.

En novembre 2012, 8 mois après l'installation du SMD sur site, la flûte en forage présentait des dysfonctionnement entre les profondeurs 60 et 130 m. Après Plusieurs missions de tests et d'analyses sur site ont permis d'identifier un problème d'étanchéité a priori sur le système sans en trouver la cause (défaut de fabrication, détérioration durant l'installation...), la conclusion d'une perte de continuité de la flûte d'électrodes en forage à partir de 60 m de profondeur s'est imposée.

A priori, l'étanchéité assurée par des jonctions en résine au niveau des électrodes a été mise à l'épreuve. Cette flûte a été développée à ces profondeurs pour ce projet, représentant donc un prototype. Cette déconvenue au niveau de l'étanchéité des électrodes au-delà de 60 m de profondeur a permis de repenser et concevoir de nouveau un moyen d'assurer une étanchéité globale sur la flûte à des profondeurs supérieure à 60 m.



Dans ce cadre, imaGeau a travaillé à améliorer ce prototype en proposant une solution permettant de renforcer la robustesse mécanique des flûtes en immersion en faisant évoluer le montage des électrodes sur la flûte (Illustration 37).

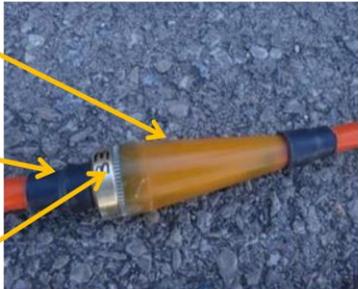
Prototype installé en 2012	Amélioration apportées en 2013
<p>Electrode montée sur câble en 2012</p> 	<p>Amélioration technique sur l'électrode</p>  <p>Longueur et recouvrement de résine augmentées</p> <p>Étanchéité renforcée en bout d'électrode</p> <p>Manchon d'étanchéité vissé sur l'électrode et non plus collé</p>

ILLUSTRATION 37 : AMELIORATION TECHNIQUE SUR LES ELECTRODES POUR ASSURER L'ETANCHEITE EN IMMERSION PROFONDE (©IMAGEAU)

En tout, sur l'ensemble de la période, et sur les profondeurs indiquées, le système imaGeau a permis d'enregistrer plus de 650 jours de profils verticaux de données (jusqu'au 31 décembre 2013), entre 30 m et 130 m de mars à novembre 2012, et de 30m à 60 m de décembre 2012 à décembre 2013.

Les données acquises ont été, après transfert sur le serveur, traitées et filtrées des artefacts inhérents à la mesure en général.

A partir de ces données des graphes permettant de visualiser l'évolution de la salinité (ou conductivité) du fluide en fonction du temps ont été réalisées (Illustration 38 ; explication dans la tâche 3).

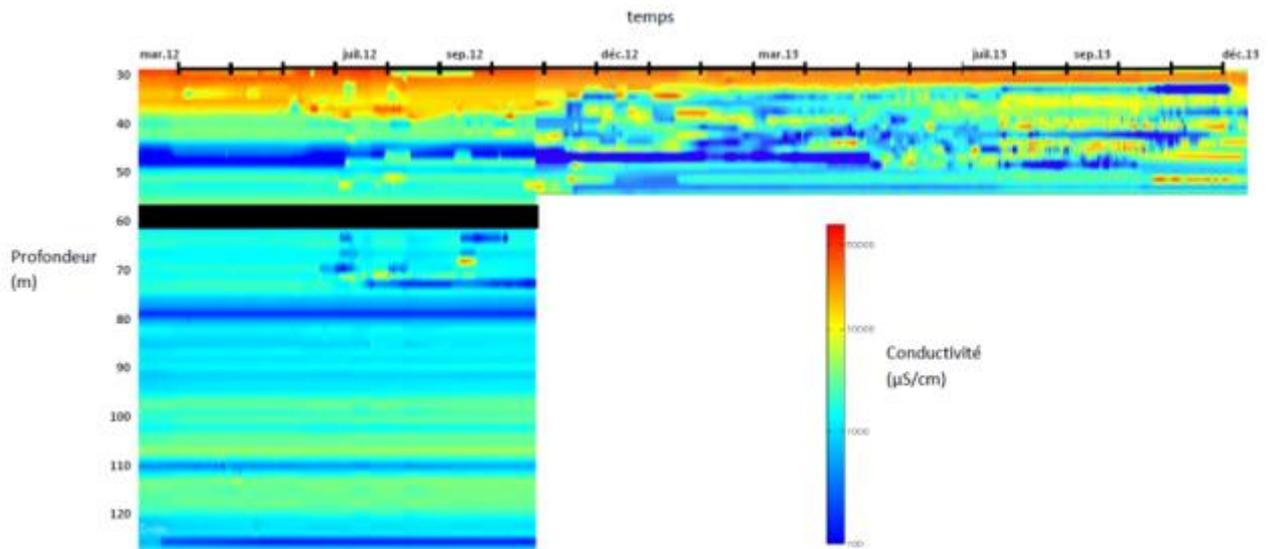


ILLUSTRATION 38 : EVOLUTION DANS LE TEMPS DE MARS 2012 A DECEMBRE 2013 DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE EN PROFONDEUR DELIVREE PAR LE SMD GDS2; SITE DE BARCARES (©IMAGEAU)

Site de Canet en Roussillon

Sur le site de Canet, deux SMD complémentaires ont été installés. Un SMD de mesure de résistivité (GDS1) et un SMD de mesure de pression et température (GDS1/PT).

SMD de conductivité

Le SMD de conductivité a permis d'acquérir un profil vertical de résistivité électrique (convertie en conductivité et salinité du fluide poral) de 2 m à 20 m, en effectuant une mesure tous les 70 cm. Ce profil a été enregistré quotidiennement à partir du 5 avril 2012 à 31 octobre 2012.

Durant juin 2012, le SMD a été temporairement désactivé et testé afin de comprendre certains phénomènes de bruit sur la mesure dus apparemment à une polarisation électrique provoquée par la présence d'une couche de 8 à 10 m de vase.

Les données acquises ont été, après transfert sur le serveur, traitées et filtrées des artefacts inhérents à la mesure en général.

Au total, sur l'ensemble de la période, et sur les profondeurs indiquées, le système imaGeau a permis d'enregistrer plus de 620 jours de profils verticaux de données (jusqu'au 31 décembre 2013).

A partir de ces données des graphes permettant de visualiser l'évolution de la salinité (ou conductivité) du fluide en fonction du temps ont été réalisées à partir de la transformation de la résistivité apparente délivrée par le SMD et la calibration pétrophysique établie dans la tâche 3 (Illustration 39).

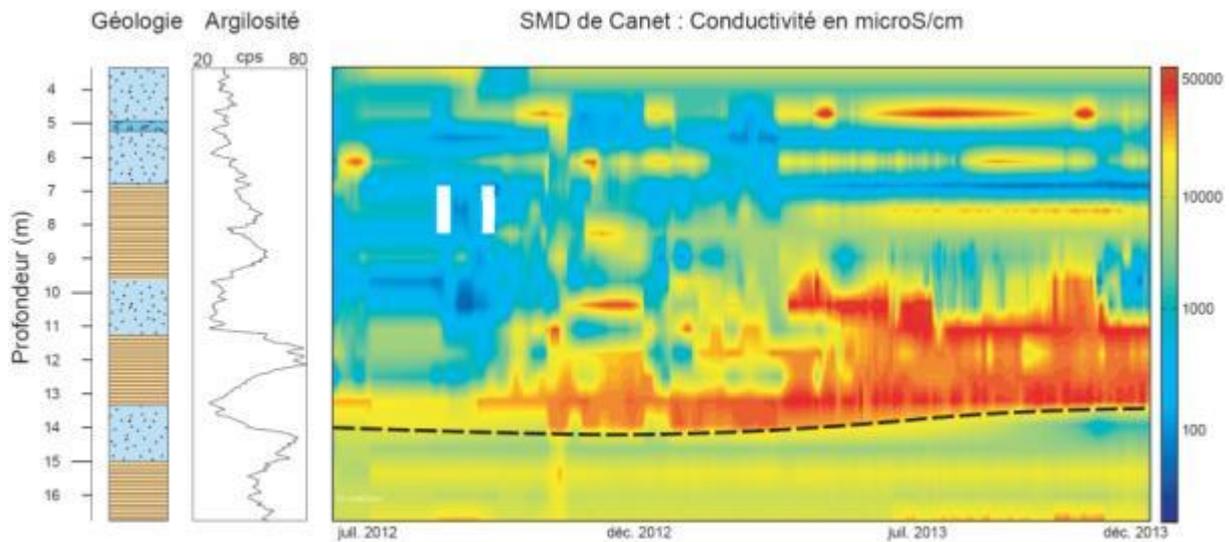


ILLUSTRATION 39 : EVOLUTION DANS LE TEMPS DE JUIN 2012 A DECEMBRE 2013 DE LA CONDUCTIVITE ELECTRIQUE DELIVREE PAR LE SMD GDS1 EN PROFONDEUR – UN PROFILE DE RESISTIVITE APPARENTE / JOUR (©IMAGEAU)

SMD de Pression et température

Afin de mieux appréhender les phénomènes d'évolutions de salinité sur le site, imaGeau a proposé d'installer un SMD complémentaire permettant d'enregistrer des pressions (hauteur de nappes) et des températures à différents niveaux.

Ce SMD installé en novembre 2012 a permis d'enregistrer en continu les températures sur deux niveaux différents et des pressions sur 4 niveaux différents toutes les 15 minutes (Illustration 40). Ces données sont représentées sur des graphes permettant d'obtenir des corrélations et de mieux comprendre les phénomènes en cours (tâche 3).



GRAIN D'SEL

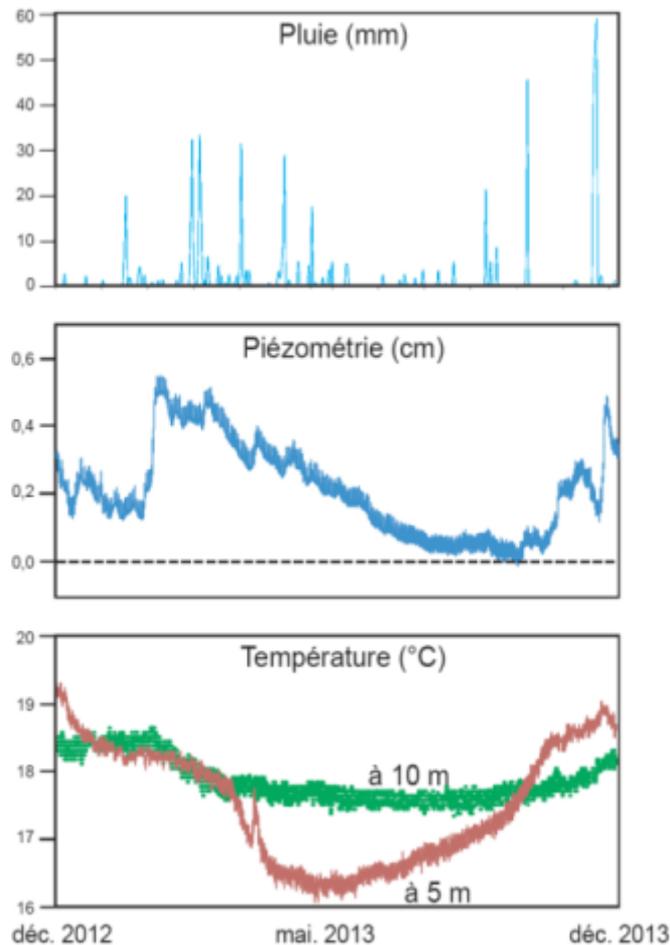


ILLUSTRATION 40 : CORRELATION DE LA PIEZOMETRIE ET DE LA TEMPERATURE ENREGISTREE PAR LE SMD GDS1/PT A DIFFERENTES PROFONDEURS SUR UN AN AVEC LA PLUVIOMETRIE (©IMAGEAU)

Acquisition des données hydrodynamiques et d'échantillonnage par Westbay

L'espace central du système Westbay permet le passage de navettes spécifiques pour effectuer, dans chacun des niveaux isolés par les packers, (i) des mesures de pression, température et conductivité du fluide (MODSAX® Pressure probe) et (ii) des prélèvements d'eau souterraine (MODSAX® Sampler Probe) sans nécessité de pompage engendrant une faible perturbation du milieu.

Un protocole d'acquisition des données a été établi pour les deux sites équipés du système :

- des mesures de pression et température de fluide ont été effectuées dans les horizons aquifères isolés entre packers (avec passage de la navette MODSAX® Pressure probe), à fréquence mensuelle (23 missions de mesures sur site), afin d'obtenir des chroniques de données par niveau ;



- des prélèvements d'eau ont été effectués dans certains des horizons aquifères isolés entre packers (avec passage de la navette MODSAX® Sampler Probe) à fréquence trimestrielle (8 missions de prélèvements en tout), pour assurer un suivi précis de l'évolution temporelle de la salinité des différents horizons et un suivi hydrogéochimique. Ces prélèvements ont permis ainsi d'obtenir des mesures de conductivités de l'eau et de pH et ont été envoyés au BRGM pour analyse géochimiques.

Les données mesurées (pression, températures, conductivité électrique et pH) sont rassemblées dans les tableaux en Annexe 2 : missions de mesures et prélèvements WestBay (par le CNRS)

4. Réalisation et essais de pompage

Cette partie a fait l'objet d'un rapport autonome que l'on trouvera en Annexe 3 : rapport sur la réalisation des essais de pompage

5. Conclusion et perspectives

Les points positifs du projet, pour une PME comme imaGeau

- 1- développements et améliorations techniques sur les prototypes de SMD imaGeau ;
- 2- développement de méthodes rapide et à moindre coût de calibration des SMD (transformation des mesures de résistivité apparente en conductivité de l'eau) ;
- 3- validation des mesures effectuées par le SMD imaGeau par comparaison avec d'autres méthodes de mesure de conductivité (WestBay) ;
- 4- développement, tests et validation d'autres types de SMD basés sur des mesures de température et de pression in-situ.

Développements et améliorations techniques sur le prototype de SMD imaGeau

Du fait de l'hétérogénéité du milieu (alternance de bancs argile/ sables), le prototype de SMD développé initialement ne permettait pas d'acquérir des mesures fiables, le comportement des mesures électriques dans ces types de faciès étant très différents de celui des milieux investigués jusqu'à ce projet. imaGeau a alors développé des algorithmes d'apprentissage intelligents permettant à la mesure et au niveau d'injection du courant électrique de s'adapter en fonction du milieu rencontré. Ces développements ont permis de faire évoluer le logiciel d'acquisition propre à imaGeau fonctionnant de manière autonome sur le système d'acquisition piloté par Pc embarqué.



GRAIN D'SEL

Par ailleurs, des dysfonctionnements récurrents sur l'un des SMD (site de Canet) lors du début du projet ont révélé une sensibilité de l'électronique de mesure aux champs électromagnétiques parasites. Ce constat a amené des développements afin de protéger l'électronique de mesure à l'intérieur du boîtier du système d'acquisition autonome (boîtier externe en tête de puits) afin de lutter contre ses champs parasites.

Enfin, en novembre 2012, suite à la perte d'étanchéité sur le flûte en forage sur le site de Barcarès (à 60 m de profondeur, ~6 bars), imaGeau a travaillé pour améliorer la tenue en pression des flûtes en forage en faisant évoluer la connectique sur la flûte, ainsi que son maintien mécanique.

Développement de méthodes de calibration des SMD

En partenariat avec le CNRS (Géosciences Montpellier), une analyse croisée des données de géophysiques en forage, des mesures sur carottes et de modélisation a permis à imaGeau de développer une méthode rapide et robuste de transformation des données brutes des SMD (la résistivité apparente du milieu) en conductivité électrique du fluide poral.

Cette méthode s'appuie sur des corrélations entre le taux d'argile présent dans la formation (information fournie par des mesures de diagraphie en forage par Gamma Ray Spectral - GRS) et la conductivité surfacique du milieu (mesures effectuées sur carottes au sein du projet). Ces corrélations ont permis d'établir des formules prenant en compte le GRS, l'espacement des électrodes de mesures et permettant d'évaluer la conductivité surfacique d'un niveau.

Cette méthode, élaborée et testée au sein du projet, est maintenant incorporée dans le processus du SMD développé et installé par imaGeau sur d'autres sites. Elle permet de s'affranchir de mesures sur carottes (souvent chères et délicates), de diminuer les coûts, et d'adapter l'espacement entre électrodes de mesure à la problématique rencontrée.

Validation des mesures effectuées par le SMD imaGeau versus mesures sur échantillons

L'un des objectifs du projet était de coupler différentes méthodes de mesures de la conductivité électrique (ou la salinité) de l'eau des aquifères sans perturbations, dans son état 'naturel'.

Les deux méthodes utilisées, mesures ponctuelles sur échantillons récupérés sur système WestBay et mesures en continue et autonomes in situ par SMD imaGeau, montrent des résultats similaires, ce qui permet de valider l'approche innovante des SMD imaGeau, tant d'un point de vue technique (mesures électriques) que scientifique (transformation de la donnée brutes en conductivité).



Développement, tests et validation d'autres types de SMD/PT

Non prévu initialement, mais intégré dans le projet avec l'accord de l'ensemble des partenaires pour l'intérêt du projet, imaGeau a souhaité installer et tester un autre type de SMD basé sur des mesures de température et de pression in-situ, avec la même philosophie de profils verticaux, en continu et in-situ (en s'affranchissant des biais susceptibles d'être apportés par le forage).

Ce type de monitoring en continu permet d'apporter un regard plus acéré sur la dynamique de la nappe et sur les possibles interactions avec des phénomènes externes (pluie, marée, pompage...).

Les résultats apportés par ce SMD permettent de valider :

- l'approche
- la technologie utilisée
- les développements effectués sur l'électronique de mesure

Ce prototype de SMD/PT installé sur le site de Canet, au vu de ces résultats positifs, a permis à imaGeau d'élargir son offre de monitoring en continu, en proposant en plus de la conductivité de l'eau, la température et la pression.

Ce type d'approche a permis notamment de répondre positivement à la demande d'un client et de passer du prototype au SMD 'industriel' et final installé sur site. Il ouvre un nouveau marché à imaGeau (échanges nappe-rivière) actuellement très demandeur.

Les apports d'imaGeau dans le projet

Malgré les contraintes et les aléas rencontrés lors du projet (géologie très hétérogène, site à l'hydrogéologie très complexe, choix de la géométrie du SMD mal adapté, perte d'étanchéité sur une partie du SMD en forage), les résultats apportés par le SMD permettent d'amener des informations essentielles sur la nature et la dynamique d'un aquifère littoral :

- une compartimentation en 4 sous-réservoirs, démontrée par la discrétisation verticale sur 130m, ce qui a permis de lever des incertitudes majeures de la géologie régionale ;
- la coexistence de phénomènes hautes fréquences (1 semaine) et de phénomènes basses fréquences (saison voire année) traduisant une évolution complexe de ces systèmes souterrains démontrée par le suivi en continu sur la verticale.



6. Références bibliographiques

Archie G.E., 1942, The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics. *Petroleum Transactions of AIME* 146: 54–62.

Bailly-Comte V. avec la collaboration de Ph. Pezard et J.Ph. Bellot, 2014, Rapport de fin de travaux des forages expérimentaux de BARCARES et du CANET pour la mise en place des Observatoires hydrogéologiques sur la Plaine du Roussillon. Rapport BRGM/RP-63269-FR, 15 p., 9 fig., 1 tab.

Barry S., 2012, rapport d'installation Graind'Sel le Barcarès, imaGeau

Deleau A., Pezard P., 2012, rapport technique coupes des forages de Barcarès et Canet en Roussillon février 2012, CNRS/géoscience Montpellier

Geeraert M., 2012, installation du WestBay CAN-1 à Canet en Roussillon (Pyrénées orientales), CNRS/géoscience Montpellier

Geeraert M., 2012, installation du WestBay BAR-2 au Barcarès (Pyrénées orientales), CNRS/géoscience Montpellier

Lessard M., 2012., "Completion Report, Monitoring Well: BAR1, Barcarès, France", WB869 BAR1 Completion Report, Schlumberger Water Services

Neyens D, Baqué L., 2011, fonctionnement et caractéristiques du SMD, imaGeau

Neyens D., 2012, rapport d'installation Graind'Sel Canet, imaGeau

Waxman M.H., Smits L.J.M., 1968, Electrical conductivities in oil-bearing shaly sands, *SPE Journal* 8 (2): 107–122



7. Annexe

Annexe 1 : rapport de fin de travaux des forages expérimentaux de Barcarès et du Canet pour la mise en place des observatoires hydrogéologiques sur la plaine du Roussillon



Document public



**Rapport de fin de travaux des forages
expérimentaux de BARCARES et du CANET
pour la mise en place des Observatoires
hydrogéologiques sur la Plaine du Roussillon**



Rapport final

BRGM/RP-63269-FR
Février 2014

V. Bailly-Comte
Avec la collaboration de
Ph. Pezard, JPh. Bellot





GRAIN D'SEL

Annexe 2 : missions de mesures et prélèvements WestBay (par le CNRS)

Géosciences Montpellier									
		date: 28/11/2011							
		lieu: canet							
		Puits:							
		sonde: 4252							
		opérateur: geeraert							
Heure debut		pression atmospherique debut:							
Heure fin		pression atmospherique fin:							
profondeur (m)	port	vide appliqué (bar)	pression dans le westbay (bar)	pression de la zone avant prélèvement (bar)	pression de la zone après prélèvement (bar)	temps de remplissage	température (C)	pression dans le westbay après prélèvement (bar)	commentaire
15,8	1	246	2,701	2,446	2,438	54s	15,32	2,701	
15,8	1	236	2,686	2,439	2,439	52s	15,86	2,686	echantillon N°1
12,6	2	248	2,376	2,133					pas d'eau
5	3	250	1,618	1,384	1,384	3min55s	18,26	1,618	
5	3	240	1,617	1,384	1,384	3min21s	18,16	1,617	echantillon N°2
12	2	253	2,376	2,132					pas d'eau
15			2,676	2,439	2,438				remplissage de la bouteille
12			2,376	2,138	2,365				ouverture de la vanne la pression reste stable
12		263	2,358	2,141					pas d'eau
12		252	2,357	2,132					pas d'eau
*(entre 3 et 4 PSI) (206 mbar et 275 mbar)						1 bar = 14,504 PSI			

MESURE DE PRESSIONS ET ECHANTILLONNAGE SUR LE SYSTEME WESTBAY DU SITE DE CANET LORS DE LA MISSION DU 28 NOVEMBRE 2011 (D'APRES CNRS)



date: 30/11/2011
 lieu: canet
 Puits:
 sonde: 4254
 opérateur: geeraert/ Lessard
 Heure debut _____ pression atmospherique debut:
 Heure fin _____ pression atmospherique fin: _____

profondeur (m)	port	pression dans le westbay (bar)	pression de la zone (bar)	température (C)	commentaire
15,817	1	2,643	2,435	16,62	
12,67		2,335	2,128	17,25	
5		1,584	1,379	17,72	

*(entre 3 et 4 PSI) (206 mbar et 275 mbar) 1 bar = 14,504 PSI

MESURE DE PRESSIONS ET ECHANTILLONNAGE SUR LE SYSTEME WESTBAY DU SITE DE CANET LORS DE LA MISSION DU 30 NOVEMBRE 2011 (D'APRES CNRS)



GRAIN D'SEL

		Ca	Mg	K	Na	Fe	Al	Mn	Cl	S	Si
Port	Profondeur (m)	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
1	15,8 m	357,6	313,7	33,7	3156,5	0,27	0,37	5,08	5784,0	359,0	5,92
3	4,7 m	56,40	24,05	11,64	442,30	0,16	0,16	0,55	751,20	25,64	3,99

RESULTATS D'ANALYSE GEOCHIMIQUES DES ECHANTILLONS PRELEVES SUR LE SYSTEME WESTBAY DE CANET LORS DE LA MISSION DU 28 NOVEMBRE 2011 (D'APRES CNRS)

profondeur (m)	atmos	4,4	16,5	19,5	27,5	36,0	43,5	52,0	57,5	69,0	74,5	81,0	94,0	113,5
date														
27/03/2012	1,026									7,703	8,227	8,865	10,149	12,069
28/03/2012	1,025	1,290	2,501	2,766	3,591	4,449	5,205	6,038	6,577					
31/05/2012	1,022							5,975	6,513	7,651	8,180	8,827	10,121	12,052
01/06/2012	1,016				3,581	4,403	5,133							
27/06/2012	1,018	1,285	2,495											
31/07/2012	1,018	1,282	2,494	2,760	3,563	4,220	4,942	5,779	6,323	7,485	8,012	8,648	9,989	14,560
02/10/2012	1,017	1,298	2,509	2,775	3,584	4,364	5,102	5,939	6,476	7,565	8,108	8,745	10,008	11,929
13/11/2012		1,310	2,522											
14/11/2012	1,022				3,598	4,425	5,169	6,002		7,655				
15/11/2012	1,02								6,543		8,189	8,828	10,069	11,975
12/12/2012		1,288	2,501	2,766										
13/12/2012	1,012				3,585	4,428	5,181	6,015	6,556	7,669	8,204	8,847	10,101	11,994
17/01/2013	1,009	1,342	2,496	3,360	3,577	4,448	5,185	6,022	6,562	7,677	8,218	8,860	10,121	12,629
12/02/2013	1,007	1,283	2,497	2,763	3,280	4,115	4,852	5,689	6,224	7,352	7,891	8,530	9,803	11,713
27/03/2013	1,003	1,292	2,507	2,773	3,273	4,108	4,844	5,679	6,215	7,344	7,884	8,520	9,797	11,706
17/04/2013	1,021	1,299	2,513	2,780	3,592	4,452	5,189	6,024	6,563	7,697	8,233	8,869	10,151	12,068
16/05/2013	0,997				3,571	4,226	5,138	5,973	6,512	7,634	8,179	8,823	10,112	12,043
19/06/2013	1,01				3,579	4,376	5,110	5,954	6,493	7,620	8,158	8,799	10,093	12,033
20/06/2013	1,017	1,351	2,552	2,780										
12/09/2013	1,021	1,284	2,760	2,500	3,477	4,223	4,859	5,771	6,336	7,424	7,958	8,615	9,891	11,813
17/09/2013	1,015	1,272	2,492	2,758	3,557	4,288	5,027	5,864	6,403	7,132	7,358	7,962	9,906	11,896
07/11/2013	1,013	1,299	2,505	2,771	3,579	4,397	5,141	5,976	6,514	7,617	8,140	8,779	10,038	11,934
07/01/2014	1,018				3,595				6,558				10,099	

MESURES DE PRESSION (BAR) DANS LE SYSTEME WESTBAY PROFOND DU SITE DE BARCARES AUX DIFFERENTES PROFONDEURS LORS DES NOMBREUSES MISSIONS SUR SITE DURANT LE PROJET

profondeur (m)	surface	4,4	16,5	19,5	27,5	36,0	43,5	52,0	57,5	69,0	74,5	81,0	94,0	113,5
date														
27/03/2012	19,79									17,980	18,190	18,470	19,040	19,730
28/03/2012	19,63	16,800	16,740		17,650	17,710	17,900	18,120	19,440					
31/05/2012								18,160	18,670	18,840	18,940	19,280	19,870	20,720
01/06/2012	25,74				17,410	17,600	17,880							
27/06/2012		17,300	19,800											
31/07/2012		17,530	17,890	18,430	18,100	18,360	18,650	18,880	19,140	19,630	19,990	20,450	20,910	21,300
02/10/2012		17,750	19,820	16,930	17,320	17,670	17,940	18,230	18,490	18,830	19,090	19,430	20,050	20,840
13/11/2012		18,400												
14/11/2012					17,290	17,500	17,830	18,160		19,050				
15/11/2012									18,340		19,050	19,190	20,040	
12/12/2012		16,800	16,710	16,710										
13/12/2012					18,000	18,270	18,580	18,850	19,000	19,390	19,860	20,210	20,570	20,710
12/02/2013		16,270	16,390	16,430	17,500	17,880	18,170	18,500	18,630	19,040	19,440	19,670	20,170	20,230
27/03/2013		15,830	16,700	16,670	17,440	17,820	18,150	18,400	18,720	19,000	19,380	19,700	20,170	20,550
17/04/2013		15,520	16,880	16,980	17,260	17,640	17,950	18,260	18,530	18,960	19,280	19,640	20,290	20,830
16/05/2013					17,110	17,660	17,910	17,930	17,920	18,970	18,730	19,400	19,330	20,630
19/06/2013					17,670	17,810	18,130	18,210	18,440	18,700	19,000	19,220	19,730	21,110
20/06/2013		16,700	16,810	16,810										
17/09/2013		17,580	16,940	16,840	17,850	18,110	18,360	18,680	18,940	19,180	19,470	19,340	20,380	20,530
07/11/2013		17,480	17,170	17,410	17,690	17,830	18,140	18,360	18,590	19,040	19,290	19,650	20,140	20,800
07/01/2014					17,000				18,140				19,450	



GRAIN D'SEL

MESURES DE TEMPERATURE (° C) DANS LE SYSTEME WESTBAY PROFOND DU SITE DE BARCARES AUX DIFFERENTES PROFONDEURS LORS DES NOMBREUSES MISSIONS SUR SITE DURANT LE PROJET

profondeur (m)	4,4	16,5	19,5	27,5	36,0	43,5	52,0	57,5	69,0	74,5	81,0	94,0	113,5
date													
01/06/2012				43000	9390	5350	3120	1520	2190	2180	926	1470	1868
13/11/2012	214												
14/11/2012				46600	35300	14960	1216		1176				1483
15/11/2012								967		1827	687	687	
16/05/2013				46200				985				744	
19/06/2013				48600	22900	6150	1099	855	1112	1666	804	742	1388
20/06/2013	2360	56800											
07/01/2014				48900				722				654	

MESURES DE CONDUCTIVITE ELECTRIQUE (µS/CM) SUR LES ECHANTILLONS RECUPERES DANS LE SYSTEME WESTBAY PROFOND DU SITE DE BARCARES AUX DIFFERENTES PROFONDEURS LORS DES NOMBREUSES MISSIONS SUR SITE DURANT LE PROJET

profondeur (m)	4,4	16,5	19,5	27,5	36,0	43,5	52,0	57,5	69,0	74,5	81,0	94,0	113,5
date													
01/06/2012				7,45	7,56	7,84	8,12	8,01	7,69	7,59	8,09	7,66	8,05
13/11/2012	7,30												
14/11/2012				7,22	7,04	7,23	7,92		7,67				
15/11/2012								7,69		7,44	7,83	7,68	7,83
16/05/2013				7,60				8,10				8,14	
19/06/2013				7,45	7,52	7,94	8,31	8,06	7,94	7,83	8,09	8,01	8,37
20/06/2013	7,63	7,76											
07/01/2014				7,32				6,86				7,99	

MESURES PH SUR LES ECHANTILLONS RECUPERES DANS LE SYSTEME WESTBAY PROFOND DU SITE DE BARCARES AUX DIFFERENTES PROFONDEURS LORS DES NOMBREUSES MISSIONS SUR SITE DURANT LE PROJET



Annexe 3 : rapport sur la réalisation des essais de pompage

Faire un lien vers le rapport de Vincent

ANR
AGENCE
NATIONALE
DE LA
RECHERCHE

GRAIN D'SEL



ANR
AGENCE
NATIONALE
DE LA
RECHERCHE

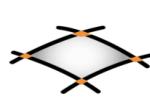
GRAIN D'SEL



 Géosciences pour une Terre durable
brgm


BURGEAP

 *Géosciences*
Montpellier • **imaGeau**

 **UPVD**
Université de Perpignan Via Domitia **CEFREM**