



Forages de Canet-en-Roussillon et Pollestres (66) Dossier des Ouvrages Exécutés

Production #22a du projet Dem'Eaux Roussillon

BRGM/RP-70300-FR

Juin 2022

Réalisée avec le concours financier de l'Etat et de la Région Occitanie (dans le cadre du Contrat de Plan Etat-Région 2015-2020), du FEDER, de l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, de Perpignan Méditerranée Métropole et de Conseil Départemental des Pyrénées Orientales

Y. Caballero, P. Vigouroux, B. Dewandel, P. Pezard



Vérificateur :

Nom : J.-C. Marechal
RU NRE
Date : 28/06/2022
Signature :

Approbateur :

Nom : Ariane Blum
Directrice régionale Occitanie
Date : 29/06/2022

Signature :

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : qualite@brgm.fr



Mots-clés : Forage, Reconnaissance, Géologie, hydrogéologie, Pollestres, Canet-en-Roussillon, Eaux souterraines.

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

Caballero Y., Vigouroux P., Dewandel B., Pezard, P., (2022) - Forages de Saint-Cyprien et Pollestres (66) - Dossier des Ouvrages Exécutés - Production #22a du projet Dem'Eaux Roussillon. BRGM/RP-70300-FR, 56 p., 39 ill., **8 ann.**.

Synthèse

Le présent rapport fait office de Dossier d'Ouvrage Exécuté (DOE) pour les 10 forages de reconnaissance géologique réalisés sur les communes de Canet-en-Roussillon et Pollestres, dans le département des Pyrénées Orientales (66) dans le cadre du projet Dem'Eaux Roussillon. Les dix forages, réalisés sur deux communes distinctes, ont été enregistrés dans la Banque des données du Sous-Sol (BSS) du BRGM sous les références suivantes :

Commune de Canet-en-Roussillon :

- DEM'Mer0 (carotté) – n° BSS = BSS003JHRE
- DEM'Mer1 (25 m) – n° BSS = BSS004CDDS
- DEM'Mer2 (41 m) – n° BSS = BSS004CDDT
- DEM'Mer3 (86 m) – n° BSS = BSS004CDDU
- DEM'Mer4 (249 m) – n° BSS = BSS004CDDV
- DEM'Mer5_bis (305 m) – n° BSS = BSS004DGLK

Commune de Pollestres

- DEM'Terre0 (carotté) – n° BSS = BSS003JHJM
- DEM'Terre1 (13 m) – n° BSS = BSS004CDDC
- DEM'Terre2 (58 m) – n° BSS = BSS004CDDF
- DEM'Terre3 (108 m) – n° BSS = BSS004CDDH

Les dix forages du projet DEMEAUX-Roussillon ont été réalisés par plusieurs entreprises : la société FORACO (34), la société MASSE (17) et la société AQUAFORAGE (66). Les travaux se sont déroulés entre mars 2018 et juin 2019. Les techniques de foration utilisées ont varié selon les ouvrages compte tenu des contraintes géologiques et des exigences du projet de recherche. Ainsi deux ouvrages ont été carottés alors que les autres ont été réalisés au rotary boue.

Les deux forages carottés ont été rebouchés avec un coulis benthonique après équipement sur toute la profondeur de sondes de résistivité et de température à haute résolution verticale et temporelle. Les autres ouvrages ont été équipés de tubage PVC crépiné, à différentes hauteurs, pour la réalisation d'essais hydrauliques et le prélèvement d'échantillons d'eau, puis équipés de sondes de mesure de pression, conductivité et température pour le suivi temporel.

Les différents ouvrages ont fait l'objet d'essais de pompage et de nombreuses mesures géophysiques (diagraphies, RMP) et analyses pétrophysiques (minéraux, porosité) dont les résultats sont synthétisés dans le présent rapport.

Des appareils de mesure installés dans les piézomètres en flute de pan permettent le suivi des niveaux piézométriques, conductivités et températures dans les formations du Quaternaire et à différentes profondeurs dans le Pliocène.

Ces sites constituent désormais les observatoires Dem'Mer (Canet) et Dem'Terre (Pollestres).

Sommaire

1. Contexte général de l'opération.....	9
1.1. AVANT PROPOS	9
1.2. CONDITIONS D'IMPLANTATION DES OUVRAGES.....	12
2. Travaux réalisés	13
2.1. OPERATIONS DE FORATION.....	13
2.1.1. Chantier de Pollestres	13
2.1.2. Chantier de Canet-en Roussillon.....	13
2.2. COUPES GEOLOGIQUES.....	14
2.3. COUPES TECHNIQUES	16
2.3.1. Ouvrages du site « Terre » à Pollestres	16
2.3.2. Ouvrages du site « Mer » à Canet-en Roussillon.....	16
2.4. AMENAGEMENTS DE FIN DE TRAVAUX	18
2.5. SYNTHESE DES ESSAIS PAR POMPAGE	19
2.5.1. Site Dem'Ter.....	19
2.5.2. Site Dem'Mer.....	24
3. Equipement des sites en termes de mesures hydrogéophysiques	29
3.1. SUIVI DES NIVEAUX, TEMPERATURES ET CONDUCTIVITES SUR LES SITES	29
3.2. SUIVI HAUTE-RESOLUTION DES RESISTIVITES ET TEMPERATURES EN FORAGE.....	34
4. Mesures géophysiques en forage et pétrophysique	37
4.1. MESURES GEOPHYSIQUES EN FORAGE.....	37
4.2. INTERPRETATION DES RESULTATS.....	39
Structure géologique.....	39
Calage des profils sismiques en mer	40
Mesures géophysiques au cours des essais de pompage	42
Structure hydrodynamique du sous-sol	42
Caractérisation des paramètres physico-chimiques du fluide en forage	44
Conductivité électrique des eaux porales dans les aquifères	44
Calcul de la perméabilité à partir des mesures RMP.....	47
Mesures géologiques et pétrophysiques sur carottes et échantillons	48
5. Conclusion.....	53

6. Références55

Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte de situation des sites « Terre » et « Mer » dans la plaine du Roussillon (66).	9
Illustration 2 : Carte de situation du site « Terre » à Pollestres et « Mer » au nord de Saint-Cyprien.....	10
Illustration 3 : Principales références des dix forages réalisés.	11
Illustration 4 : Position des deux sites de reconnaissance par forage sur une coupe géologique transversale de la plaine du Roussillon.	12
Illustration 5 : Vues du chantier de forage (carotté à gauche et rotary à droite).....	13
Illustration 6 : Log géologique du forage DEM'TER0 (Duvail et al., 2021).....	14
Illustration 7 : Log géologique du forage DEM'MER0 (Duvail et al., 2021).....	15
Illustration 8 : Coupes techniques des trois forages rotary du site de Pollestres.....	16
Illustration 9 : Coupes techniques des cinq forages rotary du site de Canet-en-Roussillon.....	17
Illustration 10: Margelle de protection hors sol des ouvrages du site de Pollestres et conteneurs de recueil du matériel de mesure et de transmission de données sur Pollestres (haut) et Canet-en-Roussillon (bas) et site de Canet (bas, gauche).....	18
Illustration 11 : Position relative des ouvrages sur les deux sites du projet.....	19
Illustration 12 : modèle choisi pour interpréter les essais sur Dem'Ter1 et Dem'Ter3. Modèle à effet de drainance d'un aquifère supérieur, anisotropie de perméabilité 3-D, jusqu'à quatre limites étanches orthogonales, captage partiel du puits (ou du piézomètre). Notons que les effets de limites et de captage partiel n'ont pas été utilisés ici, et que pour Dem'Ter1 il n'a pas été nécessaires de prendre en compte de phénomène de drainance. Modification de la solution de Hunt et Scott (2007).....	21
Illustration 13: modèle choisi pour interpréter les essais sur Dem'Ter2. Modèle à effet de drainance d'un aquifère supérieur avec cours d'eau sur l'aquifère de surface. Modification de la solution de Ward et Lough (2011).	21
Illustration 14: synthèse des propriétés hydrodynamiques de l'aquifère du Plio-Quaternaire déduites des essais sur Dem'Ter1, 2 et 3.	23
Illustration 15 : modèle choisi pour interpréter les essais. Modèle à effet de drainance d'un aquifère supérieur, anisotropie de perméabilité 3-D, jusqu'à quatre limites étanches orthogonales, captage partiel du puits (ou du piézomètre).....	25
Illustration 16 : synthèse des propriétés hydrodynamiques de l'aquifère du Plio-Quaternaire déduites des essais sur Dem'Mer1, 3, 4 et 5.	27
Illustration 17 : Equipement des ouvrages pour le suivi des processus d'écoulement des eaux souterraines sur les sites Dem'Ter et Dem'Mer.	29
Illustration 18 : Vue d'ensemble des sites Dem'Ter (haut) et Dem'Mer (bas), avec des détails du matériel d'acquisition et de transmission des données installé dans les bungalows.....	30
Illustration 19 : Chroniques de niveaux piézométriques (m NGF), de conductivité et de température pour les piézomètres de Dem'Mer.	32
Illustration 20 : Chroniques de niveaux piézométriques (m NGF), de conductivité et de température pour les piézomètres de Dem'Terre.....	33
Illustration 21 : Exemple de visualisation des données de conductivité acquises par le dispositif SMD d'IMAGEAU et visualisable sur la plateforme Follow Roussillon pour le site	

de Dem'Ter, en continu sur tout le profil (haut) et à des profondeurs différentes (bas).....	34
Illustration 22 : Exemple de visualisation des données de température acquises par le dispositif K-FBG de KLOE et visualisable sur la plateforme Follow Roussillon pour le site de Dem'Ter, en continu sur tout le profil (haut) et à des profondeurs différentes (bas).....	35
Illustration 23 : Exemple de visualisation des données de conductivité (haut) et de température (bas) acquises par le dispositif SMD d'IMAGEAU et visualisable sur la plateforme Follow Roussillon pour le site de Dem'Mer, en continu sur tout le profil.	36
Illustration 24 : Interventions de terrain effectuées par GM pour les mesures géophysiques en forage.....	38
Illustration 25 : <i>Mesures géophysiques en forage enregistrées par le CNRS (2018-2022)</i>	39
Illustration 26 : Structure géologique et mesures géophysiques en forage (Dem'MER-5).	40
Illustration 27 : (A gauche) : Analyse combinée des trains d'ondes acoustique dans les puits Dem'MER 4 et 5 pour les récepteurs RX1 et RX2. En couleur, intensité du signal acoustique. (A droite) : Profil de vitesses des ondes P déduit de l'analyse des trains d'ondes (Dem'MER 5).....	41
Illustration 28 : Suivi temporel de conductivité électrique de la formation dans l'ouvrage Dem'MER3 lors des essais de pompage réalisés par le BRGM en juillet 2019 dans un ouvrage voisin.....	42
Illustration 29 : Principe d'analyse des temps de relaxation des atomes d'hydrogène par méthode RMP en forage. A chaque niveau de mesure, l'histogramme des temps de relaxation génère (en haut à droite) un partitionnement entre « eau libre » (en bleu), « eau liée » (en vert clair) et eau dans les argiles (en kaki) dont la somme donne la porosité totale.	43
Illustration 30 : Comparaison de la porosité obtenue par RMP avec les mesures sur carottes.	43
Illustration 31 : Radioactivité gamma naturelle (courbe verte, avec échelle inversée, à droite) indiquant la présence de couches argileuses (au-delà de 300 cps). Conductivité électrique totale mesurée in-situ par induction (courbe orange) et conductivité de surface calculée sur la base du volume d'argile Vsh (courbe marron). En bleu, conductivité du fluide poral.	45
Illustration 32 : Pour les 3 sites, calcul de Cw avec différentes valeurs de Cse comparé aux données issues du suivi permanent et pour une valeur de m fixe de 1,75. Le profil de radioactivité naturelle gamma est utilisé comme référence lithologique afin de mettre en évidence les passées argileuses.....	46
Illustration 33 : Calcul des perméabilités k pour les 3 sites en faisant varier le facteur m (1,50 ; 1,75 et 2,00). Ksdr en violet et Ktc (en rose) correspondent respectivement à la méthode de calcul Schlumberger et de Timur-Coates. Le profil de radioactivité naturelle gamma est utilisé comme référence lithologique afin de mettre en évidence les passées argileuses.	47
Illustration 34 : Comparaison de Cw obtenu par inversion de la résistivité et de k venant des mesures RMP pour les 3 sites, avec une valeur de m fixe (1,75) et trois valeurs de Cse différentes.....	48
Illustration 35 : Laboratoire de terrain pour la préparation et l'analyse géologique des carottes.....	48
Illustration 36 : Echantillonnage de 20 niveaux (carottes du forage Dem'MER0) pour mesures en laboratoires. Les sables sont représentés en jaunes et les argiles en vert.....	49
Illustration 37 : Premiers résultats des mesures pétrophysiques sur carottes du site Dem'Mer.	49
Illustration 38 : Premiers résultats des mesures pétrophysiques sur carottes du site Dem'Ter.	50
Illustration 39 : Analyse semi-quantitative par diffraction RX de la minéralogie des deux échantillons issus des carottes du forage Dem'MER-0.	51

Illustration 40 : Analyse géochimiques des éléments majeurs par ICP-OES pour les échantillons issus des carottes du forage Dem'MER-0. 51

Liste des annexes

Annexe 1 Autorisation de l'Autorité Environnementale pour la réalisation des travaux.....	57
Annexe 2 Autorisation de travaux de la DDTM66	59
Annexe 3 Autorisation de l'Autorité Environnementale pour la réalisation des travaux de reprise DM5	61
Annexe 4 Convention Conseil Départemental des Pyrénées Orientales / BRGM.....	64
Annexe 5 Coupes techniques de tous les ouvrages	71
Annexe 6 Modélisation des essais par pompage.....	81
Annexe 7 Equipement des piézomètres en flûte de pan des sites Dem'Mer et Dem'Ter en matériel de mesure du niveau, de la conductivité et de la température (Hydroservices).....	99
Annexe 8 Equipement des ouvrages DemTer0 et DemMer0 avec le matériel d'IMAGEAU et KLOE	100
Annexe 9 Exemple de résultats d'analyses des minéraux des carottes par diffraction RX	101
Annexe 10 Relations directes ou inverses entre divers éléments, du pôle sableux au pôle argileux	103

1. Contexte général de l'opération

1.1. AVANT PROPOS

Les dix forages présentés dans ce rapport ont été réalisés dans le cadre du projet Dem'Eaux Roussillon, dont les résultats sont disponibles ici : <https://www.brgm.fr/fr/reference-projet-acheve/dem-eaux-mieux-connaître-volumes-eau-pouvant-etre-prelevés-manière-durable>.

Les ouvrages ont été réalisés sur deux sites distincts situés respectivement sur les communes de Pollestres et de Canet-en-Roussillon (66). Ces sites ont été nommés « Dem'Terre » pour Pollestres et « Dem'Mer » pour Canet-en-Roussillon. Le site de Canet-en-Roussillon est situé à proximité immédiate de la commune de Saint-Cyprien, au nord de celle-ci, en bordure de la mer.

L'objectif de ces forages était l'acquisition de données géologiques et hydrogéologiques et leur équipement pour permettre un suivi fin des processus d'écoulement des eaux souterraines.

La réalisation des travaux pour ces dix forages a fait l'objet d'un dossier de demande d'autorisation pour sa réalisation auprès de l'AE (Autorité Environnementale). La décision positive de l'AE en date du 22/12/2017 est présentée en Annexe 1. Ces travaux ont, par ailleurs, fait l'objet d'un dossier au titre de la Loi sur l'Eau. Les travaux ont été autorisés par courrier de la DDTM des Pyrénées Orientales en date du 18 janvier 2018 (Cf. Annexe 2). Fin 2021, il a été procédé à un nouveau forage de 300 m de profondeur pour remplacer l'un de ceux réalisés précédemment (DM5), qui a été rebouché. Une nouvelle décision positive de l'AE, en date du 22/10/2021 a été obtenue, présentée en Annexe 3.

Les cartes des illustrations 1 et 2 ci-après permettent de préciser la position des deux sites de travaux de forage du projet à Canet-en-Roussillon et à Pollestres.



Illustration 1 : Carte de situation des sites « Terre » et « Mer » dans la plaine du Roussillon (66).

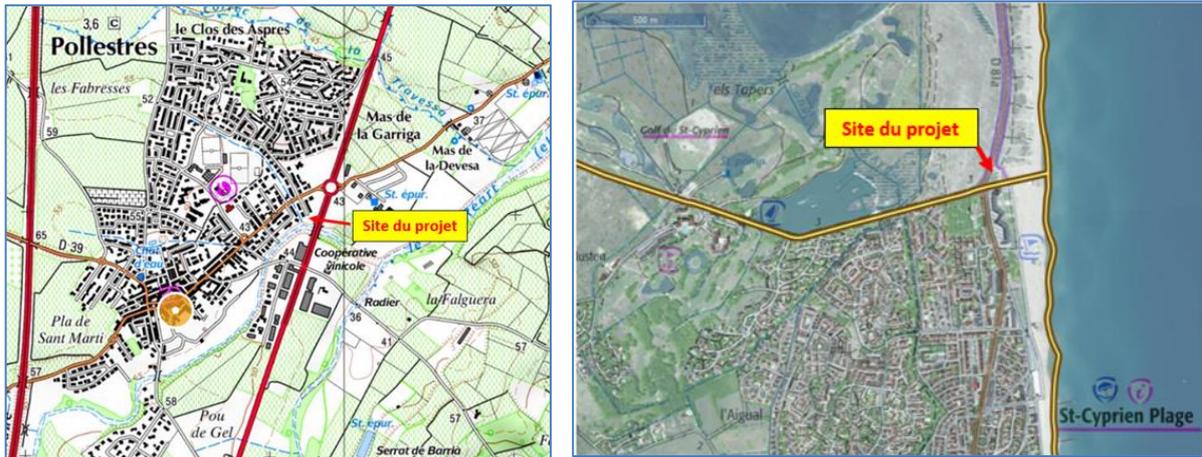


Illustration 2 : Carte de situation du site « Terre » à Pollestres et « Mer » au nord de Saint-Cyprien.

Les dix forages du projet DEMAUX-Roussillon sont implantés sur deux parcelles appartenant au Conseil Départemental des Pyrénées Orientales. Les parcelles de référence sont respectivement AO367 pour Pollestres et AV72 pour Canet-en-Roussillon. Une convention de mise à disposition du terrain a été signée entre le Conseil Départemental des Pyrénées Orientales et le BRGM pour la réalisation des dix forages sur ces deux parcelles (Cf. Annexe 4).

Les références géographiques et techniques des dix forages de reconnaissance réalisés par le projet sont spécifiées sur le tableau de l'illustration 3 ci-après.

Commune	Dénomination	Entreprise forage	Type d'ouvrage	Date réalisation	Profondeur (m/sol)		Crépine (m/sol)	Coordonnées (Lambert 93)			NS		CodeBSS
					Forée	Equipée		X (m)	Y (m)	Z (m)	m/bride	date	
Pollestres (site Terre)	DEM'TER 0	FORACO	Carotté / rebouché	03/05/2018 à 10/05/2018	120 m	rebouché	rebouché	689729,81	6171173,79	39,90	Carotté / rebouché		BSS003JHJM
	DEM'TER 1	Aquaforage	piézomètre	04/10/2018 à 08/10/2018	15 m	13 m	3 - 10	689732,58	6171172,54	40,39	4,54	08/10/2018	BSS004CDDC
											4,70	20/02/2019	
											3,78	01/03/2019	
	DEM'TER 2	Aquaforage	piézomètre	17/09/2018 à 03/10/2018	60 m	58 m	40 - 55	689721,61	6171177,52	40,34	18,75	03/10/2018	BSS004CDDF
											16,40	20/02/2019	
	DEM'TER 3	Aquaforage	piézomètre	03/09/2018 à 16/09/2018	111 m	108 m	65 - 105	689726,72	6171184,34	40,33	14,03	01/10/2018	BSS004CDDH
											11,40	20/02/2019	
											11,36	01/03/2019	
	Canet-en-Roussillon (site Mer)	DEM'MER 0	FORACO	Carotté / rebouché	26/03/2018 à 23/04/2018	292 m	rebouché	rebouché	702714,57	6171236,65	2,50	Carotté / rebouché	
DEM'MER 1		Aquaforage	piézomètre	11/04/2019 à 16/04/2019	28 m	25 m	7 - 22	702714,23	6171242,36	2,48	2,70	16/04/2019	BSS004CDDS
DEM'MER 2		FORACO	piézomètre	05/03/2018 à 22/03/2018	55 m	41 m	30 - 40	702725,22	6171239,83	2,39	1,85	03/04/2019	BSS004CDDT
DEM'MER 3		Aquaforage	piézomètre	01/04/2019 à 11/04/2019	90 m	86 m	48 - 83	702710,22	6171235,06	2,52	1,29	11/04/2019	BSS004CDDU
DEM'MER 4		MASSE	piézomètre	11/09/2018 à 25/10/2018	249 m	249 m	116 - 179 209 - 243	702713,79	6171233,50	3,09	1,13	03/04/2019	BSS004CDDV
DEM'MER 5		MASSE	piézomètre	30/10/2018 à 13/12/2018	320 m	rebouché	rebouché	702723,43	6171235,67	3,19	artésien	03/04/2019	BSS004CDDW
DEM'MER 5_bis		MASSE	piézomètre	04/10/2021 à 13/01/2022	320 m	305 m	284-313	702718,00	6171233,00	3,19	artésien	13/01/2022	BSS004DGLK

Illustration 3 : Principales références des dix forages réalisés.

1.2. CONDITIONS D'IMPLANTATION DES OUVRAGES

Les dix forages de reconnaissance ont été réalisés pour répondre, notamment, aux trois objectifs suivants :

- caractérisation précise d'Ouest et Est de l'ensemble des horizons géologiques qui constituent la plaine du Roussillon. Les deux coupes géologiques très détaillées obtenues grâce aux deux forages carottés sur chacun des sites « Terre » et « Mer » ont répondu à cet objectif ;
- évaluation des caractéristiques hydrodynamiques des différents horizons productifs. La précision obtenue par le carottage a permis d'identifier les horizons à capter et de dimensionner les huit forages rotary selon ces horizons. La caractérisation des niveaux productifs a ainsi pu être réalisée (essai de pompage¹) ;
- mise à disposition d'équipes scientifiques d'un démonstrateur afin de tester divers techniques en forages. A ce titre, le matériel expérimental mis en place dans les forages carottés est testé pour assurer un suivi en continu de certains paramètres physico-chimiques.

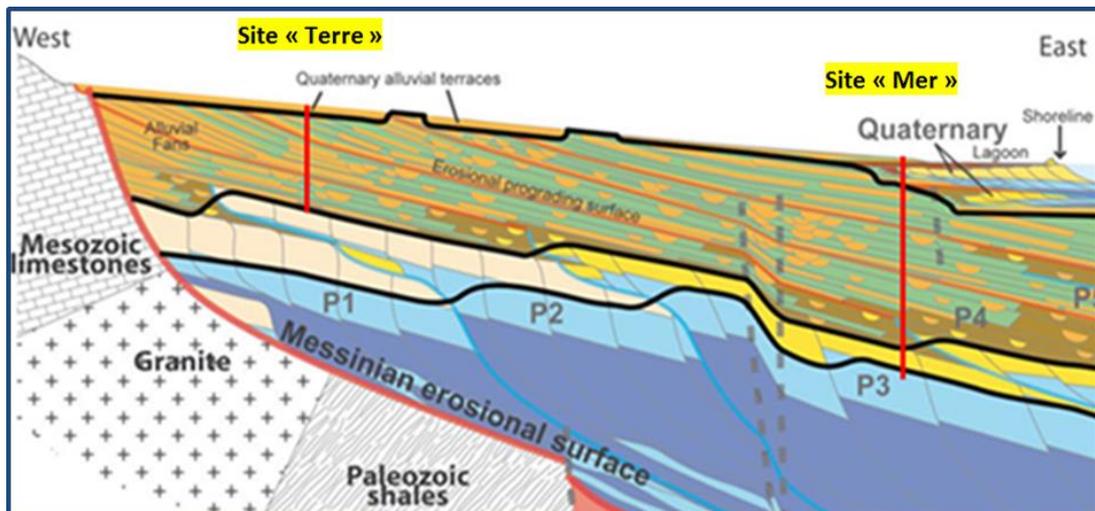


Illustration 4 : Position des deux sites de reconnaissance par forage sur une coupe géologique transversale de la plaine du Roussillon.

¹ Les résultats des tests et essais divers réalisés sur les dix forages de reconnaissance réalisés ne sont pas présentés en détail dans le présent rapport. Ils sont édités dans le cadre des rapports scientifiques édités par le projet.

2. Travaux réalisés

2.1. OPERATIONS DE FORATION

Trois sociétés de forage sont intervenues pour les travaux :

- Société « FORACO » de Lunel (34400) ;
- Société « FORAGE MASSE » de Chantemerle-sur-la-Soie (17380) ;
- Société « AQUAFORAGE » de Elne (66200).



Illustration 5 : Vues du chantier de forage (carotté à gauche et rotary à droite).

2.1.1. Chantier de Pollestres

Le chantier s'est déroulé selon les étapes principales suivantes :

- du 3 mai au 10 mai 2018 : foration carotté de DEM'TER0 réalisée par Foraco ;
- du 3 sept. au 16 sept. 2018 : foration rotary de DEM'TER3 réalisé par Aquaforage ;
- du 17 sept. au 3 oct. 2018 : foration rotary de DEM'TER2 réalisée par Aquaforage ;
- du 4 oct. au 8 oct 2018 : foration rotary de DEM'TER1 réalisée par Aquaforage ;
- printemps 2019 : aménagement des têtes d'ouvrage.

2.1.2. Chantier de Canet-en Roussillon

Le chantier s'est déroulé selon les étapes principales suivantes :

- du 5 mars au 22 mars 2018 : foration rotary de DEM'MER2 réalisée par Foraco ;
- du 26 mars au 23 avril 2018 : foration carotté de DEM'MER0 réalisée par Foraco ;
- du 11 sept. au 25 oct. 2018 : foration rotary de DEM'MER4 réalisé par Massé ;
- du 30 oct. au 13 déc. 2018 : foration rotary DEM'MER5 réalisée par Massé ;
- du 01 avril au 11 avril 2019 : foration rotary DEM'MER3 réalisée par Aquaforage ;
- du 11 avril au 16 avril 2019 : foration rotary DEM'MER1 réalisée par Aquaforage ;
- printemps 2019 : aménagement des têtes d'ouvrage.
- du 04/10/2021 au 13/01/2022 : foration rotary DEM'MER5_bis et rebouchage DEM'MER5 (défaut d'étanchéité) réalisé par Massé.

2.2. COUPES GEOLOGIQUES

Les coupes géologiques pour les deux forages carottés sont présentées dans les illustrations 6 et 7, pour chacun des deux sites prospectés. Une description détaillée est consultable dans Duval et al., (2021).

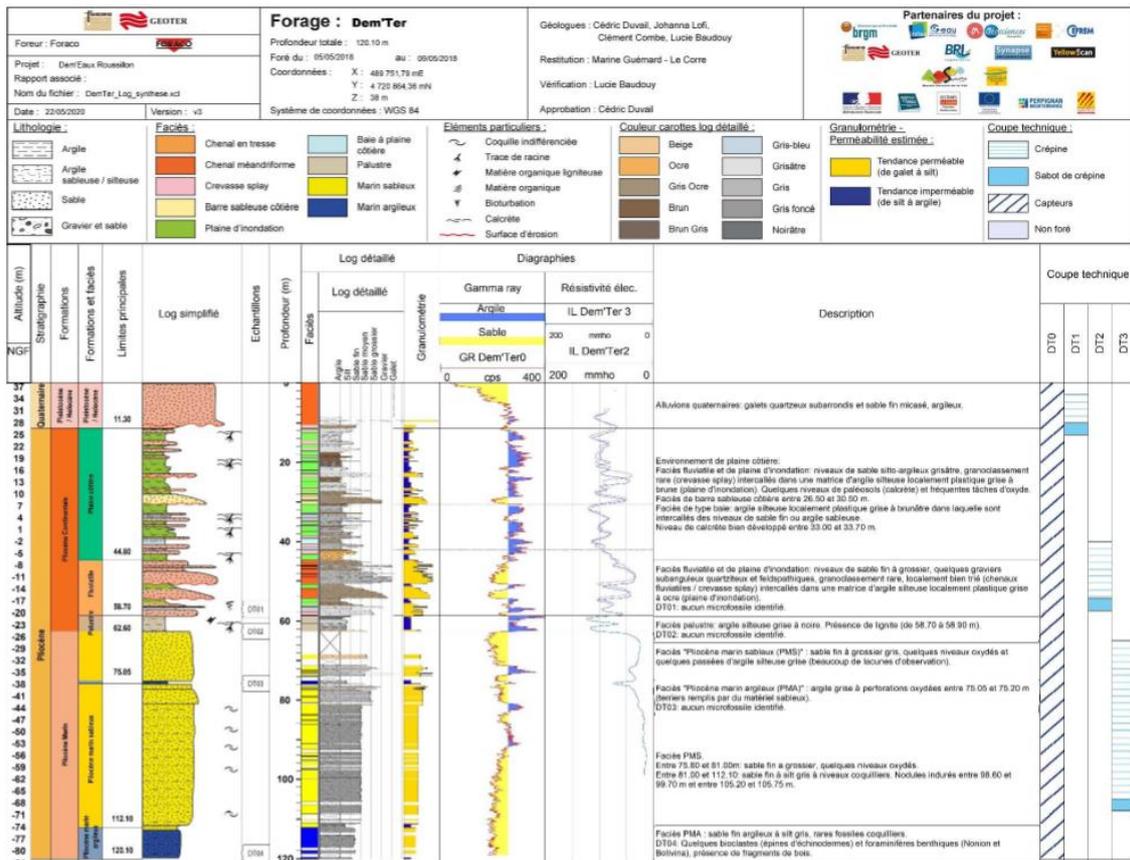


Illustration 6 : Log géologique du forage DEM'TER0 (Duval et al., 2021²).

² Duval, C., Bauduy, L., Fioravanti, A., (2021) – Synthèse géologique des forages Dem'Mer et Dem'Ter Roussillon (Pyrénées-Orientales), Production #4 du projet Dem'Eaux Roussillon, Fugro Document No.: GTR/BRGM/0620-1836, BRGM/RP-71472-FR, 22 p.

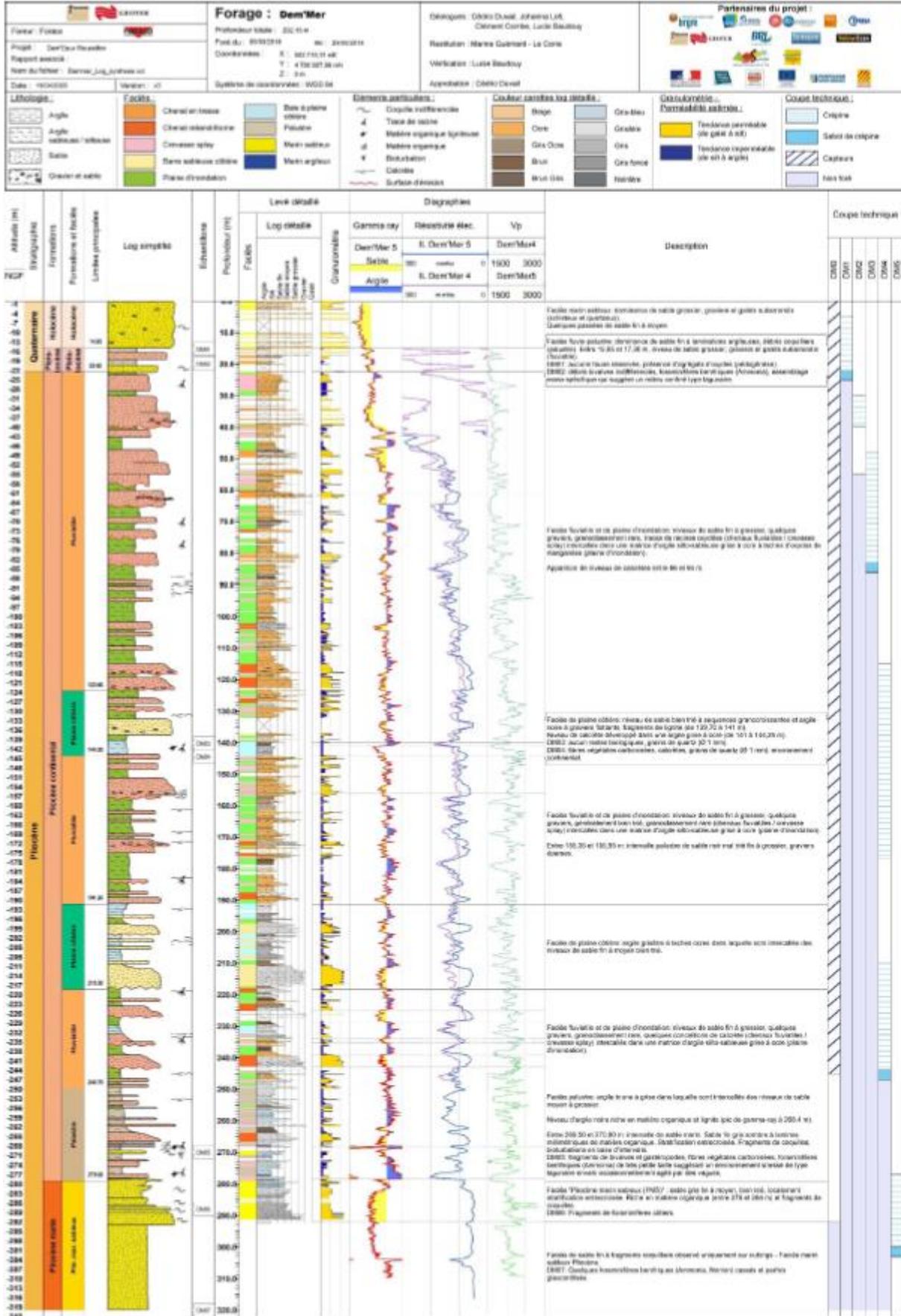


Illustration 7 : Log géologique du forage DEM'MER0 (Duvail et al., 2021).

2.3. COUPES TECHNIQUES

Les caractéristiques techniques (équipement) des dix forages sont schématisées par les illustrations 8 et 9 ci-après pour chacun des deux sites. Les coupes techniques fournies dans les rapports de forage pour chaque ouvrage sont présentées en Annexe 5.

2.3.1. Ouvrages du site « Terre » à Pollestres

Après réalisation du forage carotté qui a permis de disposer d'une coupe géologique très détaillée, les trois forages rotary qui ont été réalisés sur le site de Pollestres ont capté des niveaux différents selon le schéma de l'illustration 8 ci-après.

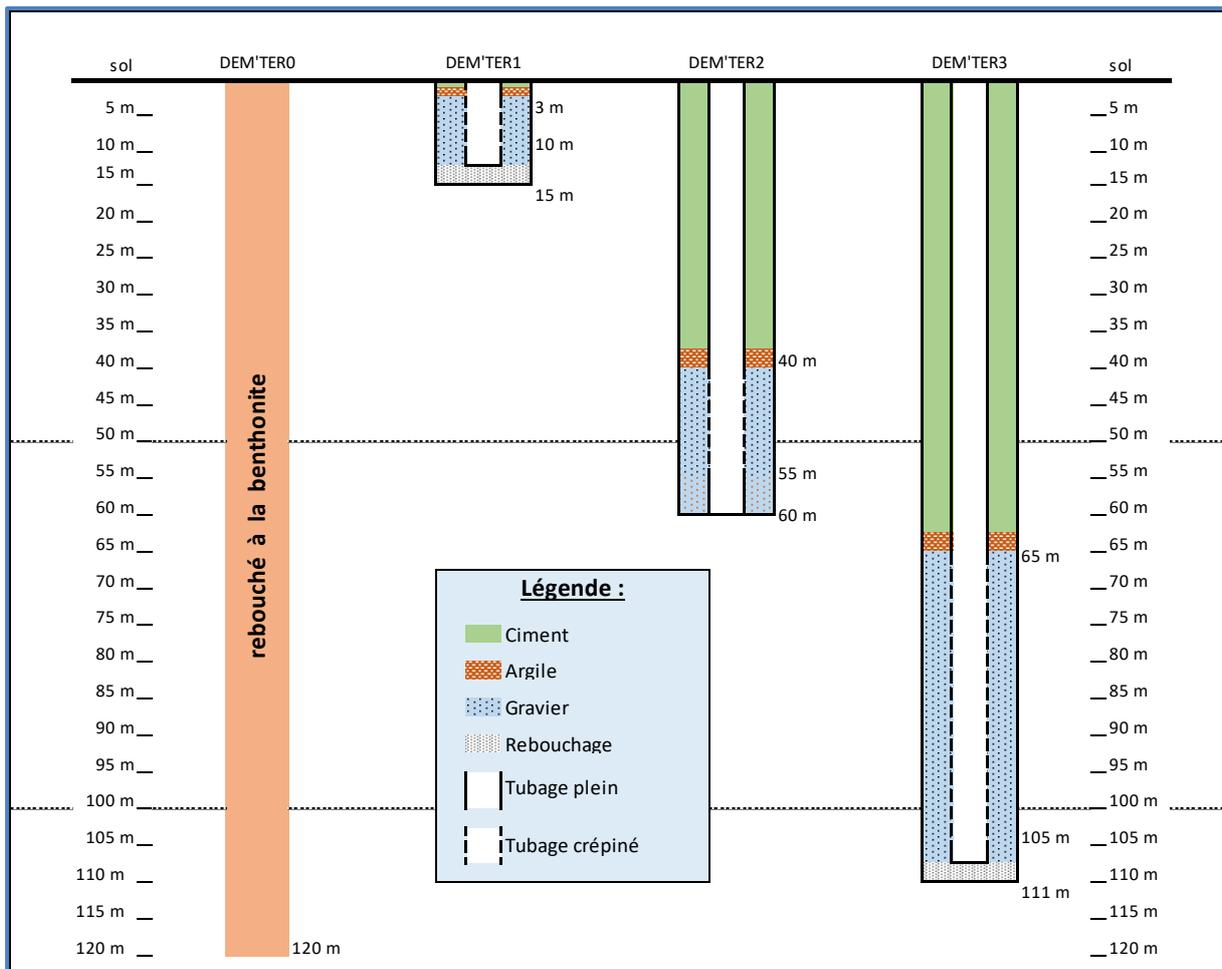


Illustration 8 : Coupes techniques des trois forages rotary du site de Pollestres

2.3.2. Ouvrages du site « Mer » à Canet-en Roussillon

De même qu'à Pollestres, après réalisation du forage carotté qui a permis de disposer d'une coupe géologique très détaillée, les cinq forages rotary qui ont été réalisés sur le site de Canet-en-Roussillon ont capté des niveaux différents selon le schéma de l'illustration 9 ci-après.

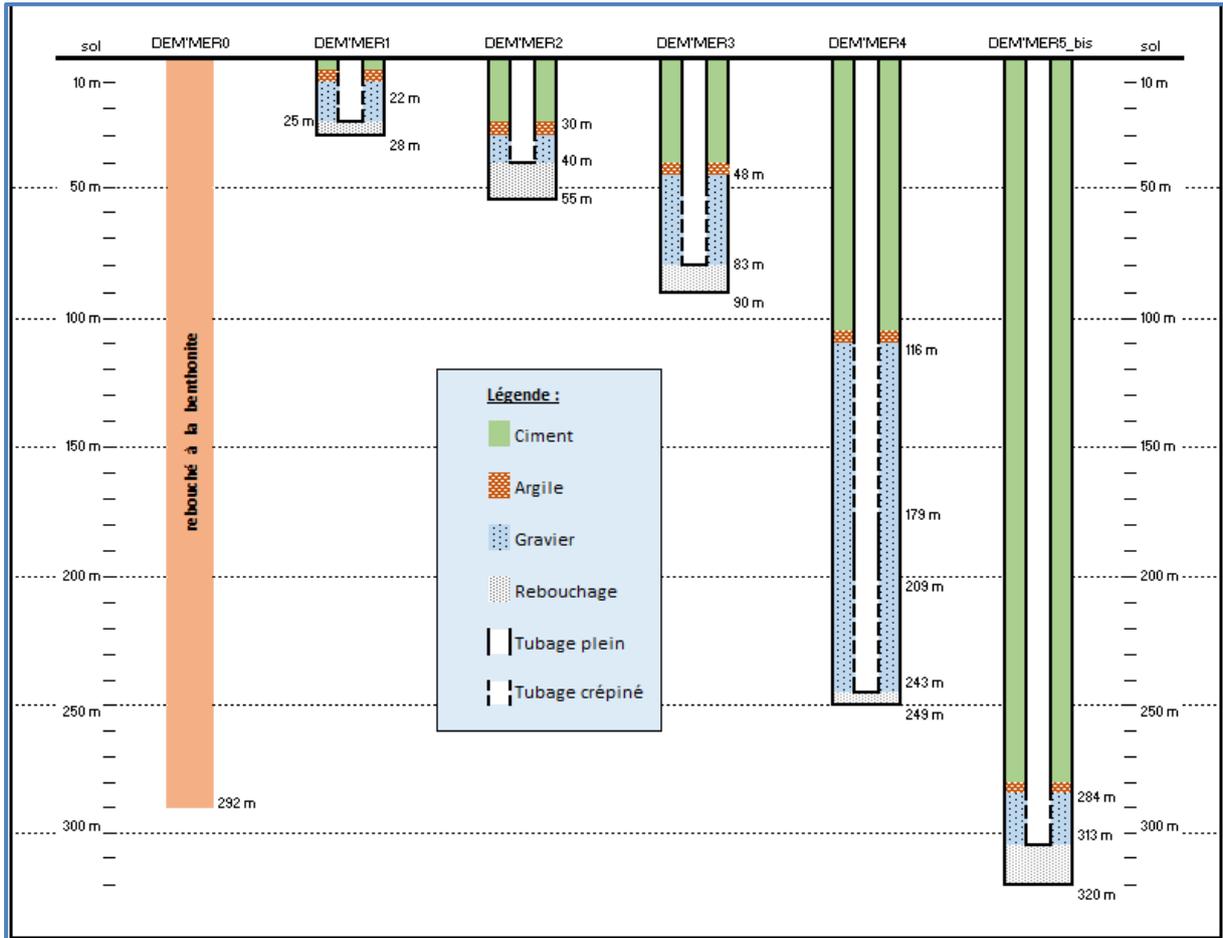


Illustration 9 : Coupes techniques des cinq forages rotary du site de Canet-en-Roussillon

2.4. AMENAGEMENTS DE FIN DE TRAVAUX

En fin de chantier, pour chacun des deux sites de Pollestres et de Canet-en-Roussillon, les têtes de forage ont été sécurisées par une margelle constituée d'une buse béton fermée par une plaque métallique. À l'intérieur de ces buses, chaque forage est fermé par une bride acier boulonnée. Les margelles du site de Canet-en-Roussillon sont enterrées (sauf celle de Dem'Mer5_bis qui est artésien) alors que les margelles du site de Pollestres dépassent du sol d'environ 50 cm. Les différentes instrumentations mises en place dans les forages sont raccordées à un conteneur métallique qui contient tout le matériel de mesure et de transmission des données qui a été mis en place sur ce site expérimental par le projet DEM'EAUX-Roussillon.

L'illustration 10 ci-après permet d'apprécier le type d'aménagement hors sol réalisé sur les deux sites. Pour ce qui est du site de Canet-en-Roussillon, compte tenu du fait que les margelles sont enterrées, les photos de l'aménagement final ne sont pas présentées car rien n'est observable sur site sinon le petit conteneur qui abrite l'appareillage du projet.



Illustration 10: Margelle de protection hors sol des ouvrages du site de Pollestres et conteneurs de recueil du matériel de mesure et de transmission de données sur Pollestres (haut) et Canet-en-Roussillon (bas) et site de Canet (bas, gauche).

Concernant la position relative des différents ouvrages sur les deux sites, elle est précisée par les schémas de l'illustration suivante (Cf. illustration 11).

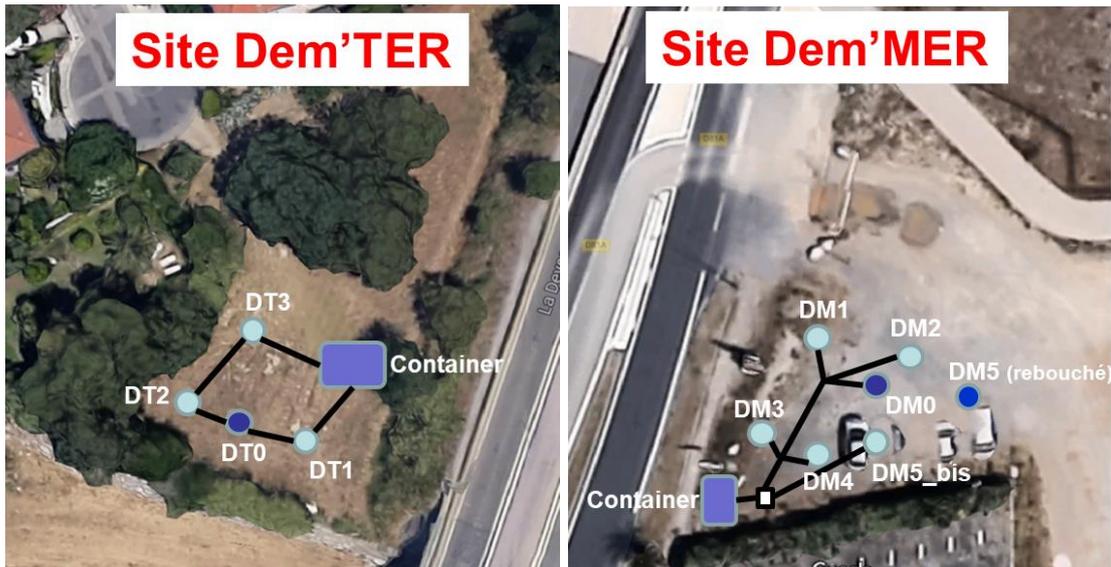


Illustration 11 : Position relative des ouvrages sur les deux sites du projet.

2.5. SYNTHÈSE DES ESSAIS PAR POMPAGE

2.5.1. Site Dem'Ter

Cette section présente une synthèse des résultats des essais de pompage réalisés sur les deux sites. Le détail des résultats est présenté en Annexe 6, ainsi que dans Dewandel et al., (2022).

Le Tableau 1 présente l'ensemble des tests par pompage réalisés sur le site Dem'Ter.

Ouvrage pompé	Essais par paliers de débit		Pompages de longue durée	
	date	débits	date	débits
DemTer1	pas d'essai	pas d'essai	10/03/2021	Essai court de 6 h, 88 à 200l/h; suivi des niveaux sur DemTer2, DemTer3 et 10964X0295/F4 (à 1,3km)
DemTer2	11-12/03/2021	3 paliers non-enchainés; 1h pompage /1h remontée (10.51, 14.96,23.76 m ³ /h)	15-18/03/2021 (70.5 h)	15.2 à 16.6 m ³ /h (moy.:15.3 m ³ /h); suivi des niveaux sur DemTer1, DemTer3, 10964X0156/F2 (à 0,91 km), 10971X0202/F3 (à 0,49km) et 10964X0295/F4 (à 1,3km)
DemTer3	23/03/2021	4 paliers non-enchainés; 1h pompage /1h remontée (10.06, 24.70,39.49 m ³ /h)	24-29/03/2021 (123.9 h)	35.9 à 37.8 m ³ /h (moy.: 36.5 m ³ /h); suivi des niveaux sur DemTer1, DemTer2, 10964X0156/F2 (à 0,91 km), 10971X0202/F3 (à 0,49km) et 10964X0295/F4 (à 1,3km)

Tableau 1 : liste des essais par pompage réalisés sur le site Dem'Ter.

Sur le forage Dem'Ter1 (Quaternaire), seul un essai de courte durée (6 heures) à débit variable a été réalisé (le 10/03/2021 ; débit 88 à 22 l/h). Les autres forages du site n'ont pas réagi à cet essai.

Sur le forage Dem'Ter2 (Pliocène continental), un essai par paliers de débit et un essai de longue durée ont été réalisés du 11 au 18/03/2021 (débit de 10,5 à 23,8 m³/h). L'ensemble des ouvrages ont été suivis et il a été noté une légère réaction de quelques centimètres sur DemTer1, notamment durant les essais par paliers de débit. Il n'a pas été noté de réaction sur Dem'Ter3. Il est à noter que les ouvrages Dem'Ter1 et Dem'Ter2 sont fortement influencés par les ouvrages exploités de Pollestres engendrant sur ces forages des fluctuations du niveau

piézométrique de l'ordre d'une dizaine de centimètres, ceci explique l'absence d'une réponse nettement observable du pompage en Dem'Ter2 sur Dem'Ter1 lors de l'essai de longue durée. Les forages captant le Pliocène continental, F2 entre 35,5 et 50,6 m de profondeur et situé à 910 m (n°BSS : 10964X0156/F2), F3 captant des sables entre 69 et 95 m de profondeur et situé à 490 m (n°BSS : 10971X0202/F3, crépiné de 69 à 115 m) et F4 entre 50 et 70 m de profondeur et situé à 1,3 km (n°BSS : 10964X0295/F4), n'ont pas non plus réagi aux essais sur Dem'Ter2. Les forages F2 et F3 sont des ouvrages exploités pour l'AEP de Pollestres. Le forage F4 est un ouvrage plus récent, en cours d'installation pour être exploité pour l'AEP de Pollestres (coupe technique présentée en Annexe 6).

Sur le forage Dem'Ter3 (Pliocène marin), un essai par paliers de débit et un essai de longue durée ont été réalisés du 23 au 29/03/2021 (débit de 10,1 à 39,5 m³/h). L'ensemble des ouvrages ont été suivis, le forage Dem'Ter2 a légèrement réagi à cet essai (rabattement maximal de 0,3 m) ainsi que les forages F2 (Pliocène continental, n° BSS : 10964X0156/F2, rabattement maximal de l'ordre de 0,8 m), F3 (Pliocène continental, n° BSS : 10971X0202/F3, rabattement maximal de l'ordre de 0,4 m) et F4 (Pliocène continental, n° BSS : 10964X0295/F4, rabattement maximal de 0,4 m). Notons que l'estimation des rabattements maximaux sur F2 et F3 n'est qu'approximative puisque ceux-ci sont exploités, une figure en Annexe 6 présente l'évolution des niveaux et des débits d'exploitation au cours des pompages sur Dem'Ter2 et Dem'Ter3. Dem'Ter1 n'a montré aucune réaction.

La modélisation des essais a été réalisée après un diagnostic, ce qui a permis de choisir quel était le modèle mathématique le mieux approprié pour l'interprétation. Les diagnostics ont montré : pour Dem'Ter1, le comportement d'un aquifère homogène, pour Dem'Ter2 des comportements de drainance a priori en provenance de l'aquifère de surface et du cours d'eau (Canterrane) et pour Dem'Ter3, un comportement de drainance en provenance, a minima, des autres niveaux perméables du Pliocène non captés par l'ouvrage. Les modèles choisis sont donc des modèles : homogène (Dem'Ter1), multicouche avec drainance entre aquifère (Dem'Ter1 et Dem'Ter3, Illustration 12), et multicouche avec drainance entre aquifère et cours d'eau (Dem'Ter2, Illustration 13). La modélisation de l'ensemble des essais est disponible en Annexe 6.

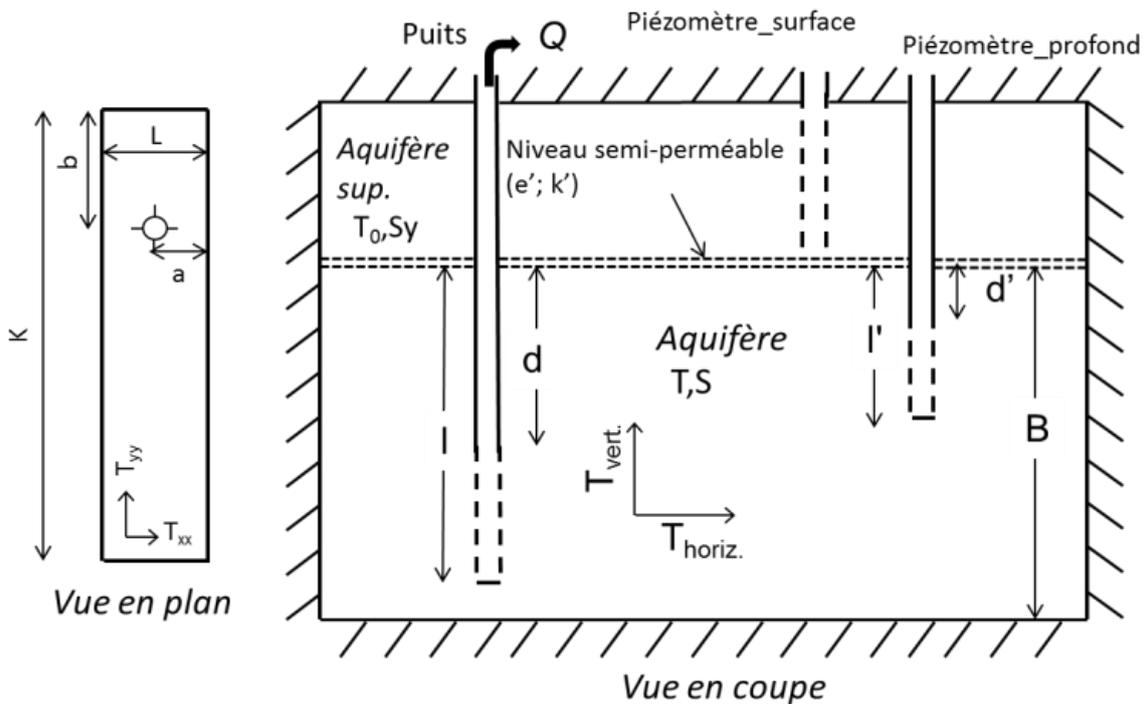


Illustration 12 : modèle choisi pour interpréter les essais sur Dem'Ter1 et Dem'Ter3. Modèle à effet de drainance d'un aquifère supérieur, anisotropie de perméabilité 3-D, jusqu'à quatre limites étanches orthogonales, captage partiel du puits (ou du piézomètre). Notons que les effets de limites et de captage partiel n'ont pas été utilisés ici, et que pour Dem'Ter1 il n'a pas été nécessaires de prendre en compte de phénomène de drainance. Modification de la solution de Hunt et Scott (2007).

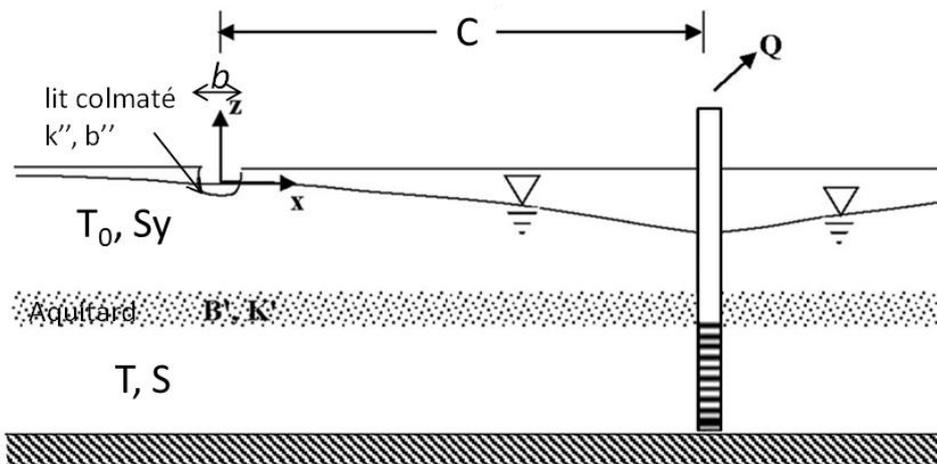


Illustration 13: modèle choisi pour interpréter les essais sur Dem'Ter2. Modèle à effet de drainance d'un aquifère supérieur avec cours d'eau sur l'aquifère de surface. Modification de la solution de Ward et Lough (2011).

a) Dem'Ter1

L'aquifère capté par cet ouvrage, des argiles sableuses, entre 3 et 10 m de profondeur, est caractérisé par une transmissivité faible de l'ordre de $6 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$. Son emmagasinement n'a pas pu être évalué de façon fiable faute de suivi sur un piézomètre d'observation. Le forage est caractérisé par de très fortes pertes de charge ($> 4 \times 10^9 \text{ m}^{-5}\text{s}^2$), montrant le mauvais état de l'ouvrage (en partie colmaté probablement). L'essai n'a pas été assez long pour pouvoir mettre en évidence une influence du cours d'eau.

b) Dem'Ter2

L'aquifère capté par cet ouvrage, des sables pliocènes continentaux intercalés de niveaux moins perméables, entre 40 et 55 m de profondeur, est caractérisé par une transmissivité de $3,6 \times 10^{-4}$ m²/s et un emmagasinement d'environ 5×10^{-4} . Cet aquifère est soumis à des effets de drainance en provenance, à minima du niveau aquifère sus-jacent du Quaternaire (cf. réaction de Dem'Ter1 captant le Quaternaire). La perméabilité de l'éponte semi-perméable est estimée à 2×10^{-4} m/s (pour une épaisseur b' unitaire). Les paramètres de l'aquifère de surface sont estimés à 10^{-5} m²/s pour la transmissivité (T_0) et 8×10^{-2} pour l'emmagasinement (S_y). Il est à noter que la modélisation sur Dem'Ter1 est complexe et n'a pas pu être faite avec exactement les mêmes paramètres hydrogéologiques qu'au puits de pompage. Il est possible que le colmatage du puits ait amorti la fluctuation du niveau expliquant de ce fait la faible valeur déduite de perméabilité d'éponte (10^{-7} m/s) pour ce cas. Le cours d'eau de la Canterrane a été intégré à la modélisation : il est situé à 10 m du puits de pompage et un facteur d'échange nappe-rivière de 10^{-4} m/s a été nécessaire pour caler les données. Ceci indique qu'il y a effectivement une connexion hydraulique avec le Pliocène mais que celle-ci est faible, une connexion parfaite aurait conduit à un paramètre d'échange infini. L'impact sur la Canterrane durant l'essai en terme de débit soustrait est présenté en Annexe 6 et il est de 65% du débit pompé en fin d'essai. Il est noté que durant les essais, la Canterrane était quasi sèche, cependant les diverses opérations de nettoyage réalisées avant les essais avaient constitué des flaques d'eau en son lit et l'exhaure des pompages était située à distance des puits, mais également dans le lit de la Canterrane. Il est donc fort probable qu'une partie de l'impact de type cours d'eau constaté durant les essais proviennent des eaux d'exhaure des forages (nettoyage et pompage). Cela ne remet cependant pas en cause la connexion hydraulique qui existe entre le Pliocène continental et le cours d'eau sur ce site. Sur cet essai, aucun effet de limite d'aquifère (limite étanche) n'a été mis en évidence.

c) Dem'Ter3

L'aquifère capté par cet ouvrage, des sables pliocènes marins intercalés de niveaux moins perméables, entre 65 et 105 m de profondeur, est caractérisé par une transmissivité de $9,5 \times 10^{-4}$ m²/s et un emmagasinement de l'ordre de 3×10^{-4} . Cet aquifère est soumis à des effets de drainance en provenance, à minima, des niveaux aquifères sus-jacents dans le Pliocène continental. La perméabilité de l'éponte semi-perméable est estimée à 10^{-7} m/s (pour une épaisseur b' unitaire). Les paramètres de l'aquifère de surface sont estimés à $3,6 \times 10^{-4}$ m²/s pour la transmissivité (T_0) et de 5×10^{-4} pour l'emmagasinement (S_y), ce qui correspond à ceux évalués au droit de Dem'Ter2. La modélisation des niveaux sur Dem'Ter2 (Pliocène continental sous-jacent), s'est faite dans l'aquifère supérieur avec des paramètres différents de ceux estimés au puits de pompage, ceci peut s'expliquer par la difficulté d'estimer correctement le rabattement, induit sur Dem'Ter2 par les perturbations occasionnées sur les niveaux de cet ouvrage par les autres ouvrages d'exploitation sur la commune de Pollestres. Il est aussi possible que la connexion hydraulique entre le Pliocène continental et le Quaternaire sus-jacent ait contribué à atténuer l'amplitude du rabattement sur Dem'Ter2, d'où la forte valeur d'emmagasinement déduite ($S_y : 8 \times 10^{-2}$). Les modélisations au niveau des ouvrages exploités F2 (n°BSS : 10964X0156/F2) et F3 (n°BSS : 10971X0202/F3), distants de 910 m et 489 m respectivement, ont aussi été réalisées dans l'aquifère de surface avec des paramètres proches de ceux estimés au puits de pompage Dem'Ter3.

Concernant la modélisation sur le forage d'observation F4 (n°BSS : 10964X0295/F4), captant le Pliocène continental entre 50 et 70 m de profondeur, celle-ci a aussi été réalisée dans l'aquifère de surface avec les mêmes paramètres que pour le puits de pompage Dem'Ter3, excepté pour les paramètres de l'aquifère de surface et notamment pour la transmissivité ($T_0 : 2 \times 10^{-3}$ m²/s et $S_y : 2,5 \times 10^{-4}$). Cette plus forte transmissivité, apparente, témoigne d'une probable limite de compartimentation au sein du Pliocène continental. En effet, la modélisation des essais sur cet ouvrage a montré l'existence d'une limite à environ 200 m de F4 (valeur

approximative), suggérant qu'entre le site Dem'Ter et cet ouvrage, le Pliocène pourrait être compartimenté (secteur Dem'Ter T_PlioCont. : 4×10^{-4} m²/s et secteur F4 : T_PlioCont. : 2×10^{-3} m²/s). Les modélisations des essais sur cet ouvrage sont présentées en Annexe 6.

Dans ce cas, aucun effet de limite alimentée (Canterrane) n'a été identifié de façon formelle (essai trop court), mais vu que les aquifères du Pliocène continental et marin sont connectés et que le continental est connecté au cours d'eau, il est évident que sur le long terme des pompages sur le Pliocène marin impacteront eux aussi le cours d'eau de la Canterrane. Sur cet essai aucun effet de limite d'aquifère (limite étanche) n'a été mis en évidence.

d) Synthèse site Dem'Ter

L'illustration 14 synthétise les propriétés hydrodynamiques déduites des essais sur le site Dem'Ter. On notera la connexion hydraulique avec le cours d'eau la Canterrane pour les ouvrages Dem'Ter1 et Dem'Ter2 (au travers du Quaternaire), dans une moindre mesure pour Dem'Ter3, ainsi que les connexions hydrauliques entre le Pliocène Marin et le Pliocène continental et entre le Pliocène continental et le Quaternaire.

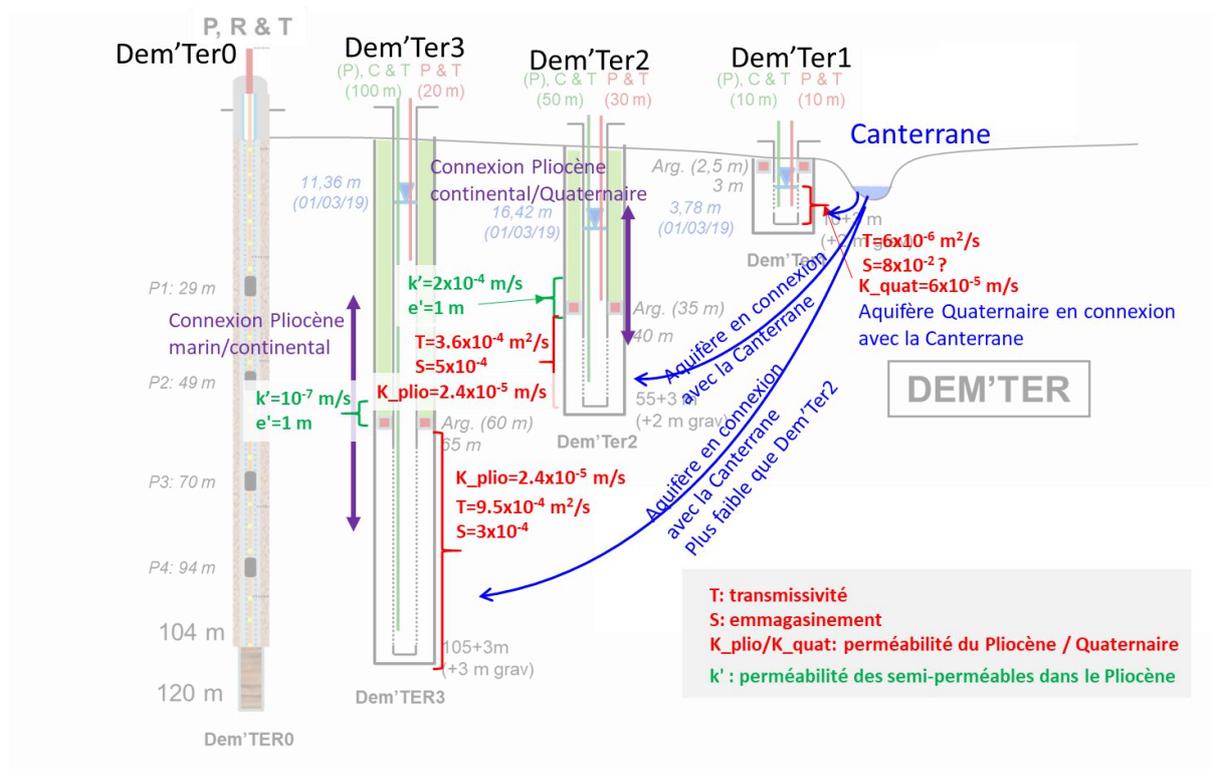


Illustration 14: synthèse des propriétés hydrodynamiques de l'aquifère du Plio-Quaternaire déduites des essais sur Dem'Ter1, 2 et 3.

2.5.2. Site Dem'Mer

Le Tableau 1 présente l'ensemble des tests par pompage réalisés sur le site Dem'Mer.

Sur le forage Dem'Mer1 (Quaternaire), seul un essai de courte durée (1 heure) à débit variable a été réalisé (le 19/07/2019 ; débit 14,7 à 54 m³/h). Les autres forages du site n'ont pas réagi à cet essai.

Sur le forage Dem'Mer3 (Pliocène), un essai par paliers de débit et un essai de longue durée ont été réalisés du 22 au 27/07/2019 (débit de 6,8 à 40 m³/h). L'ensemble des ouvrages ont été suivis, mais seul le forage Dem'Mer2 et un piézomètre situé à 1 150 m (forage du golf de St Cyprien, 1079X0098/F1) ont réagi à l'essai de longue durée.

Sur le forage Dem'Mer4 (Pliocène), un essai par paliers de débit et un essai de longue durée ont été réalisés du 02 au 10/07/2019 (débit de 18,6 à 70 m³/h). L'ensemble des ouvrages ont été suivis, mais seul le piézomètre situé à 1 150 m (forage du golfe de St Cyprien, 1079X0098/F1) a réagi à l'essai de longue durée.

Les forage Dem'Mer 2 (Pliocène) n'a pas fait l'objet de pompage, son diamètre réduit ne permettant pas le passage d'une pompe. On notera aussi que les capteurs de pression situés dans l'ouvrage Dem'Mer0 (forage carotté) ont aussi réagi aux essais, mais les mesures n'ont pas pu être interprétées à cause du positionnement des capteurs, noyés dans la bentonite (signal de pression amorti par la bentonite).

Le forage du golfe de St Cyprien (1079X0098/F1) est profond de 197 m et capte les formations du Pliocène entre 70 et 143 m de profondeur, soit les niveaux recoupés par les forages Dem'Mer3 et Dem'Mer4. Des essais historiques sur cet ouvrage sont disponibles en BSS et ont été réinterprétés afin de compléter l'analyse hydrogéologique (voir en Annexe 6). Ces essais ont été réalisés en janvier 1975 sur des durées de 2 h à 32 h pour des débits variant de 70 à 200 m³/h.

Ouvrage pompé	Essais par paliers de débit		Pompages de longue durée	
	date	débits	date	débits
DemMer1	19/06/2019	3 paliers enchainés d'env. 20' (14.7, 27.9, 54 m ³ /h)	pas d'essai	-
DemMer3	22/07/2019	4 paliers non-enchainés; 1h pompage /1h remontée (6.8, 11.7, 17.1, 29.5 m ³ /h)	23-29/07/2019 (148 h)	30 à 40 m ³ /h (moy.: 34.4 m ³ /h); suivi des niveaux sur les DemMer + ouvrages de St Cyprien (10972X0098/FE1)
DemMer4	02/07/2019	4 paliers non-enchainés; 1h pompage /1h remontée (18.6, 33.8, 49.9, 70.2 m ³ /h)	04-10/07/2019 (150 h)	70 à 64 m ³ /h (moy.: 63.9 m ³ /h); suivi des niveaux sur les DemMer + ouvrages de St Cyprien (10972X0098/FE1)
DemMer2	pas d'essai	-	pas d'essai	-
DemMer5	pas d'essai	-	pas d'essai	-

Tableau 2 : liste des essais par pompage réalisés sur le site Dem'Mer.

La modélisation des essais a été réalisée après un diagnostic, ce qui a permis de choisir quel était le modèle mathématique le mieux approprié. Les diagnostics ont montré un comportement de drainance en provenance, a minima, des autres niveaux perméables du Pliocène non captés par les ouvrages. Le modèle choisi est donc un modèle multicouche avec drainance entre aquifère (cf Illustration 15). La modélisation de l'ensemble des essais est disponible en Annexe 6.

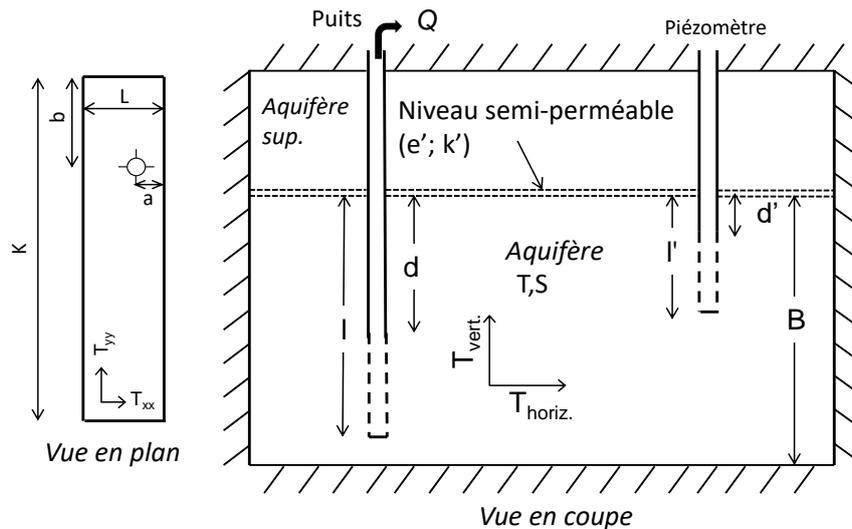


Illustration 15 : modèle choisi pour interpréter les essais. Modèle à effet de drainance d'un aquifère supérieur, anisotropie de perméabilité 3-D, jusqu'à quatre limites étanches orthogonales, captage partiel du puits (ou du piézomètre).

e) Dem'Mer1

L'aquifère capté par cet ouvrage, des cailloutis quaternaires, entre 4 et 22 m de profondeur, est caractérisé par une transmissivité de $4,5 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$. Son emmagasinement n'a pas pu être évalué de façon fiable faute de suivi sur un piézomètre d'observation. L'essai est soumis à des effets de drainance, très probablement liés à la proximité du rejet des eaux d'exhaure du pompage (quelques dizaines de mètres) et non aux formations du Pliocène. Ils montrent la forte connexion hydraulique de cet aquifère avec la surface.

f) Dem'Mer3

L'aquifère capté par cet ouvrage, des sables pliocènes intercalés de niveaux moins perméables, entre 48 et 83 m de profondeur, est caractérisé par une transmissivité de $1,9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et un emmagasinement de 5×10^{-3} . Cet aquifère est soumis à des effets de drainance en provenance, à minima des niveaux aquifères sus-jacents dans le Pliocène (cf. réaction de Dem'Mer2 captant le Pliocène de 30 à 40 m de profondeur). La perméabilité de l'éponte semi-perméable est estimée à $4 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ (pour une épaisseur b' unitaire). Les paramètres de l'aquifère de surface sont estimés à $10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ pour la transmissivité (T_0) et 10^{-3} pour l'emmagasinement (S_y). Il est à noter que les interprétations aux deux piézomètres n'auraient pas été possibles sans inclure les effets de drainance sur le long terme. Aucun effet de limite, étanche ou alimentée n'a été identifié, comme on aurait pu s'y attendre vu la proximité de la mer.

g) Dem'Mer4

L'aquifère capté par cet ouvrage, des sables pliocènes intercalés de niveaux moins perméables, entre 115 et 244 m de profondeur, est caractérisé par une transmissivité de $1,9 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ et un emmagasinement de $1,5 \times 10^{-4}$. Le forage ne capte pas tout l'aquifère (cf. écoulement sphérique identifié lors du diagnostic) ; les modélisations indiquent possiblement une extension d'environ 25 m supplémentaire. A priori, l'aquifère s'étendrait de 115 à 270 m. L'anisotropie de perméabilité de cet aquifère est évaluée à 5,0 (kh/kr). Cet aquifère est soumis à des effets de drainance en provenance, à minima des niveaux aquifères sus-jacents dans le Pliocène. Cependant, celle-ci s'établissant sur le long terme, aucune réaction n'a été visible

sur les ouvrages plus en surface (Dem'Mer3). Notons néanmoins que l'interprétation au forage de St Cyprien n'aurait pas été possible sans inclure les effets de drainance. La perméabilité de l'éponte semi-perméable est estimée à 5×10^{-9} m/s (pour une épaisseur b' unitaire). Les paramètres de l'aquifère de surface sont estimés à 2×10^{-5} m²/s pour la transmissivité (T_0) et de 10^{-3} à 10^{-4} pour l'emmagasinement (S_y). Afin de bien reproduire l'essai sur le long terme (>6 000 min de pompage) il a été nécessaire de prendre en compte des limites étanches, 4 limites orthogonales formant un aquifère clos d'environ 70 km². Même si ce chiffre est discutable, car approximatif, il montre la grande superficie qu'occupe cet aquifère.

A nouveau, aucun effet de limite alimentée n'a été identifié, comme on aurait pu s'y attendre vu la proximité de la mer.

Dem'Mer5

L'aquifère capté par cet ouvrage, des sables pliocènes marins entre 284 et 332 m de profondeur, est caractérisé par une transmissivité de $2,6 \times 10^{-3}$ m²/s. Son emmagasinement, évalué à 10^{-4} , n'a pas pu être évalué de façon fiable faute de suivi sur un piézomètre d'observation. Cet aquifère est soumis à des effets de drainance en provenance à minima des niveaux aquifères sus-jacents dans le Pliocène. Cependant, celle-ci s'établissant sur le long terme aucune réaction n'a été visible sur les ouvrages plus en surface (Dem'Mer3 ou 4). La perméabilité de l'éponte semi-perméable est estimée à $3,5 \times 10^{-9}$ m/s (pour une épaisseur b' unitaire). Les paramètres de l'aquifère de surface sont estimés à 8×10^{-5} m²/s pour la transmissivité (T_0) et à $1,5 \times 10^{-4}$ pour l'emmagasinement (S_y). Par ailleurs, des effets de limites de l'aquifère (étanches) arrivent relativement rapidement durant l'essai, une limite durant les premières minutes de l'essai à 4 min, et une seconde, parallèle à la première, mais plus tardive vers 400 min. Faute d'une estimation fiable de l'emmagasinement de l'aquifère, la distance entre le puits de pompage et ces limites n'est que très approximative, à environ 160 m pour la première et environ 1600 m pour la seconde, formant potentiellement un chenal large d'environ 1,5 à 2 km.

Là encore, aucun effet de limite alimentée lié à la proximité de la mer n'a été identifié.

h) Synthèse

L'illustration 16 synthétise les propriétés hydrodynamiques déduites des essais dans le Pliocène marin (Dem'Mer5, le Pliocène continental (Dem'Mer3 & 4) et dans le Quaternaire (Dem'Mer1). On notera que les essais au forage du golfe de Saint Cyprien (situé à plus 1 100 m du site) donnent des valeurs de propriétés hydrodynamiques similaires ($T=1,7 \times 10^{-3}$ m²/s ; $K: 2,3 \times 10^{-5}$ m/s ; $S: 2 \times 10^{-4}$), montrant une relativement faible variation des propriétés hydrodynamiques à l'échelle kilométrique au sein du Pliocène continental.

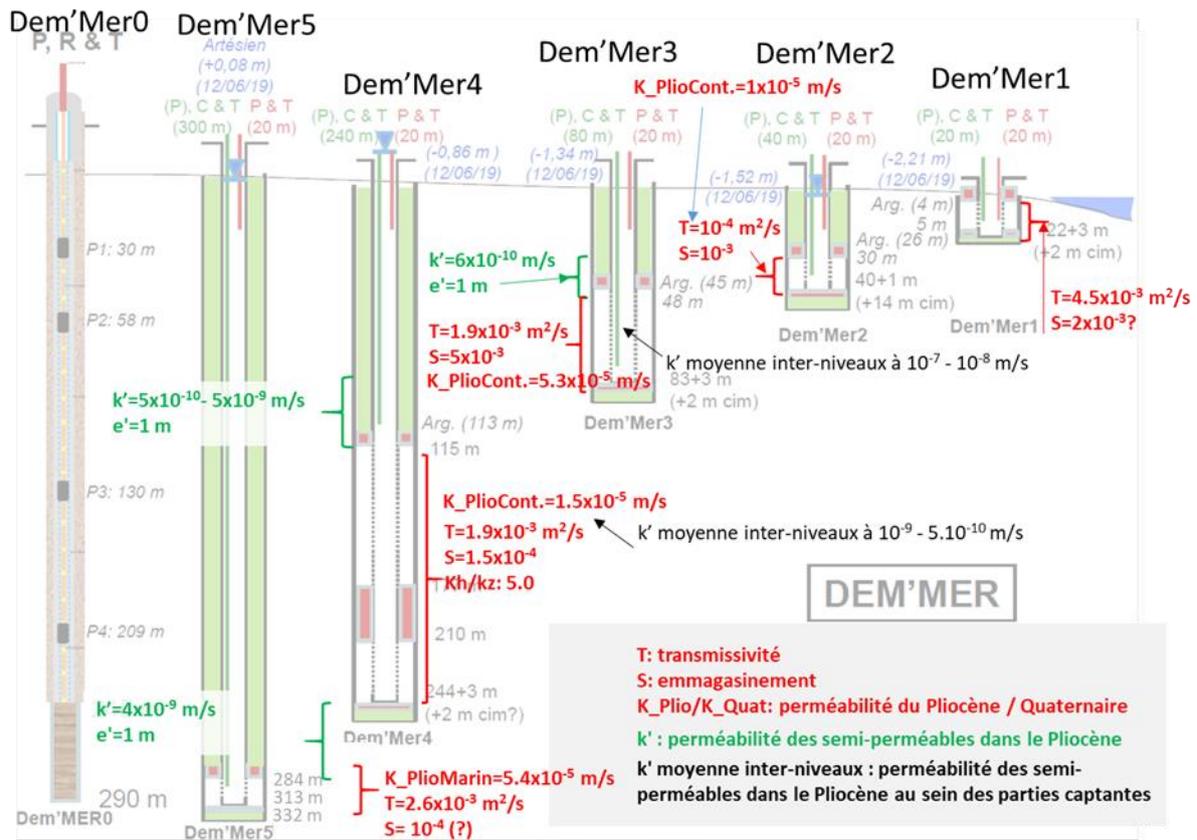


Illustration 16 : synthèse des propriétés hydrodynamiques de l'aquifère du Plio-Quaternaire déduites des essais sur Dem'Mer1, 3, 4 et 5.

3. Equipement des sites en termes de mesures hydrogéophysiques

3.1. SUIVI DES NIVEAUX, TEMPERATURES ET CONDUCTIVITES SUR LES SITES

Sur chacun des sites, les ouvrages réalisés ont été équipés pour permettre un suivi des processus contrôlant l'écoulement des eaux souterraines spécifiques au contexte dans lequel ils se situent (Dem'Terre : processus de recharge ; Dem'Mer : processus de recharge et d'intrusions salines).

Des appareils de suivi du niveau des nappes (sondes de pression) et de leur état qualitatif (sondes de conductivité et de température) ont également été installés dans les piézomètres au droit des zones crépinées (Illustration 17). Ainsi, ce dispositif de surveillance installé dans les piézomètres en mode « flûte de pan », nous permettra d'étudier en détail les écoulements verticaux et latéraux des eaux souterraines.

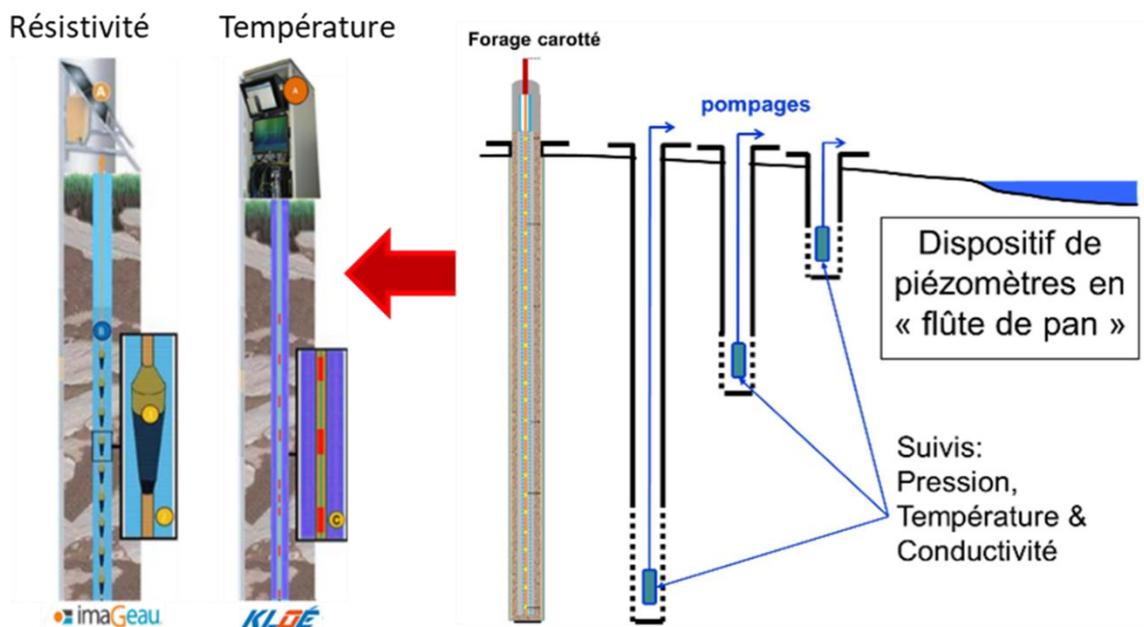


Illustration 17 : Equipement des ouvrages pour le suivi des processus d'écoulement des eaux souterraines sur les sites Dem'Ter et Dem'Mer.

Sur chaque site, les appareils de mesure installés sont reliés à une centrale d'acquisition spécifique à chaque type de matériel installé, placé dans un bungalow sécurisé (Illustration 18). Les centrales d'acquisition sont dotées du matériel nécessaire à la transmission des données, qui sont déposées sur un serveur FTP dédié, au BRGM. La donnée ainsi bancarisée est ensuite expertisée avant d'être exportée vers la plateforme web de diffusion « Follow Roussillon » construite dans le cadre du projet Dem'Eaux Roussillon et maintenue par Synapse Informatique (Raynaud, 2022), pour permettre la visualisation et l'export libre et gratuit des données acquises.



Illustration 18 : Vue d'ensemble des sites Dem'Ter (haut) et Dem'Mer (bas), avec des détails du matériel d'acquisition et de transmission des données installé dans les bungalows.

Grâce aux sondes installées dans chaque piézomètre et reliées à la centrale d'acquisition sur chaque site, nous avons pu constituer des chroniques de piézométrie, conductivité et de température de l'eau souterraine à différentes profondeurs sur une durée de plus de 2 ans. Ces acquisitions seront maintenues à la fin du projet sous la responsabilité du Syndicat Mixte des Nappes de la Plaine du Roussillon. Le détail des installations effectués pour ces appareils est présenté en Annexe 7.

Ces suivis ont globalement montré les situations suivantes :

Pour Dem'Mer (Illustration 19): Les niveaux piézométriques dans les différents ouvrages sont proches de la surface et les uns des autres (moins de 2 m de différence entre le niveau le plus élevé - Pliocène marin sableux et le plus bas - Quaternaire). Ils augmentent depuis la surface vers la profondeur, atteignant les valeurs les plus élevées dans le Pliocène marin sableux (qui est artésien), ce qui suppose un potentiel flux ascendant sur toute la colonne de formations surveillées au droit de ce site. Les températures de l'eau souterraine augmentent avec la profondeur avec des valeurs proches de 18° dans les formations Quaternaires (avec une fluctuation saisonnière de moins de 1°C) pour atteindre 26°C dans le Pliocène le plus profond. En termes de conductivité, les eaux du Quaternaire et du Pliocène continental superficiel sont salées avec des conductivités de l'ordre de 40 mS/cm. Celle-ci diminue avec la profondeur pour atteindre des valeurs représentatives de l'eau douce dans les formations du Pliocène continental profond (DM4, < 1000 µS/cm).



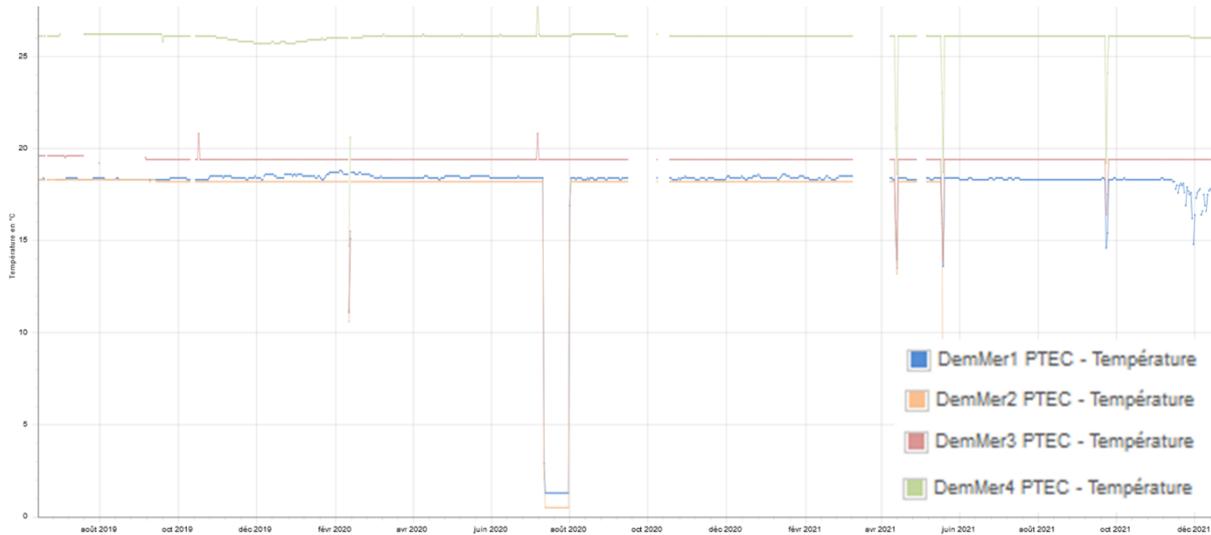
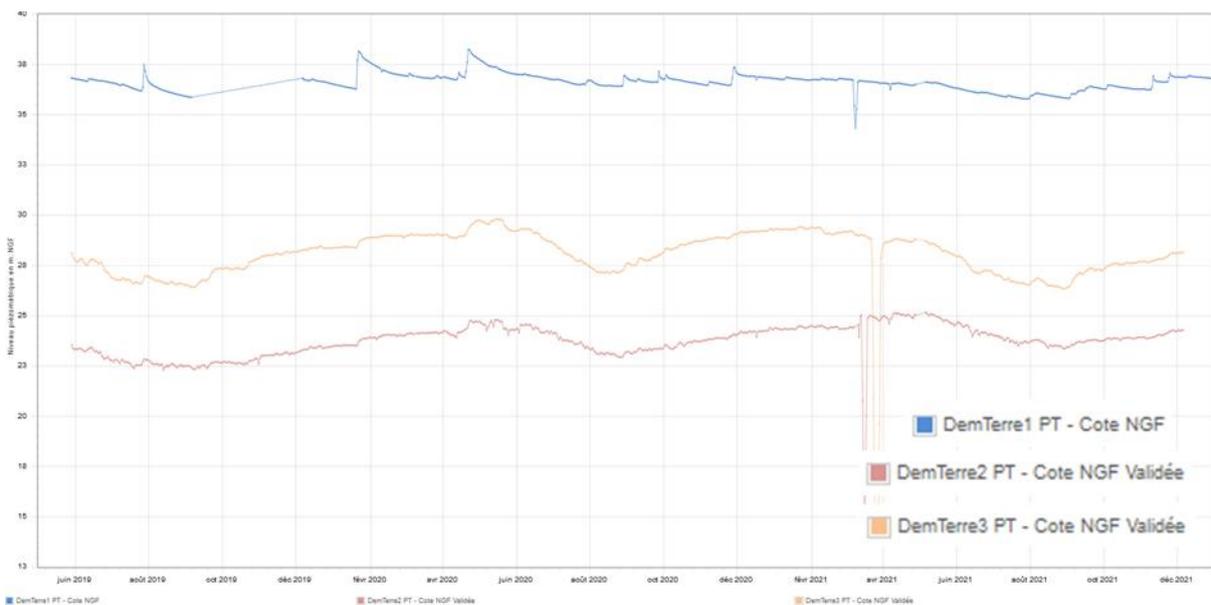


Illustration 19 : Chroniques de niveaux piézométriques (m NGF), de conductivité et de température pour les piézomètres de Dem'Mer.

Pour Dem'Terre (Illustration 20): Le niveau piézométrique dans les formations du Quaternaire est globalement plus haut que celui mesuré dans les formations du Pliocène de l'ordre de 5 m. Au sein du Pliocène, le niveau piézométrique dans les formations du Pliocène marin sableux (le plus profond) est de l'ordre de 4 m plus élevé que celui mesuré dans les formations du Pliocène continental. La conductivité de l'eau dans le Quaternaire est relativement élevée et fluctue entre 600 et 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Elle semble impactée par les épisodes de recharge au cours desquels sa valeur diminue. La conductivité dans les formations du Pliocène continental (Dem'Ter 2) est plus élevée que dans le Quaternaire et dans les formations du Pliocène marin sableux. Relativement constante dans le temps avec une valeur située autour de 1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$, elle présente une variation de haute-fréquence probablement provoquée par les pompages situés à proximité (cf. §2.5.1). La température de l'eau dans les formations du Quaternaire fluctue entre 15°C et 18°C. Celle de l'eau dans les formations du Pliocène est stable tout au long de l'année, logiquement plus chaude dans le Pliocène marin sableux (18,5°C) que dans le Pliocène continental (17,5°C).



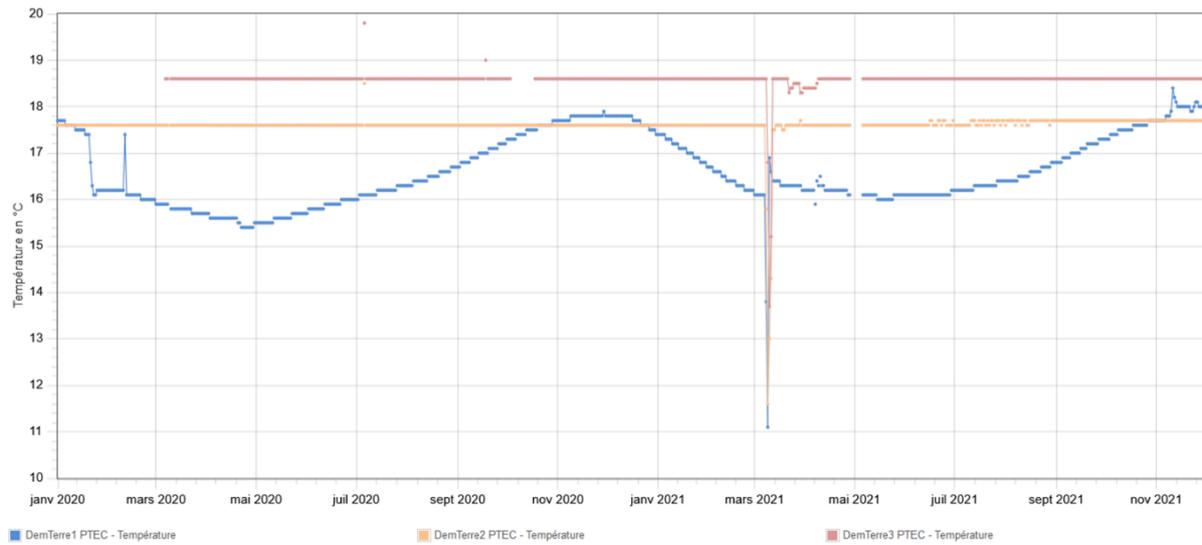
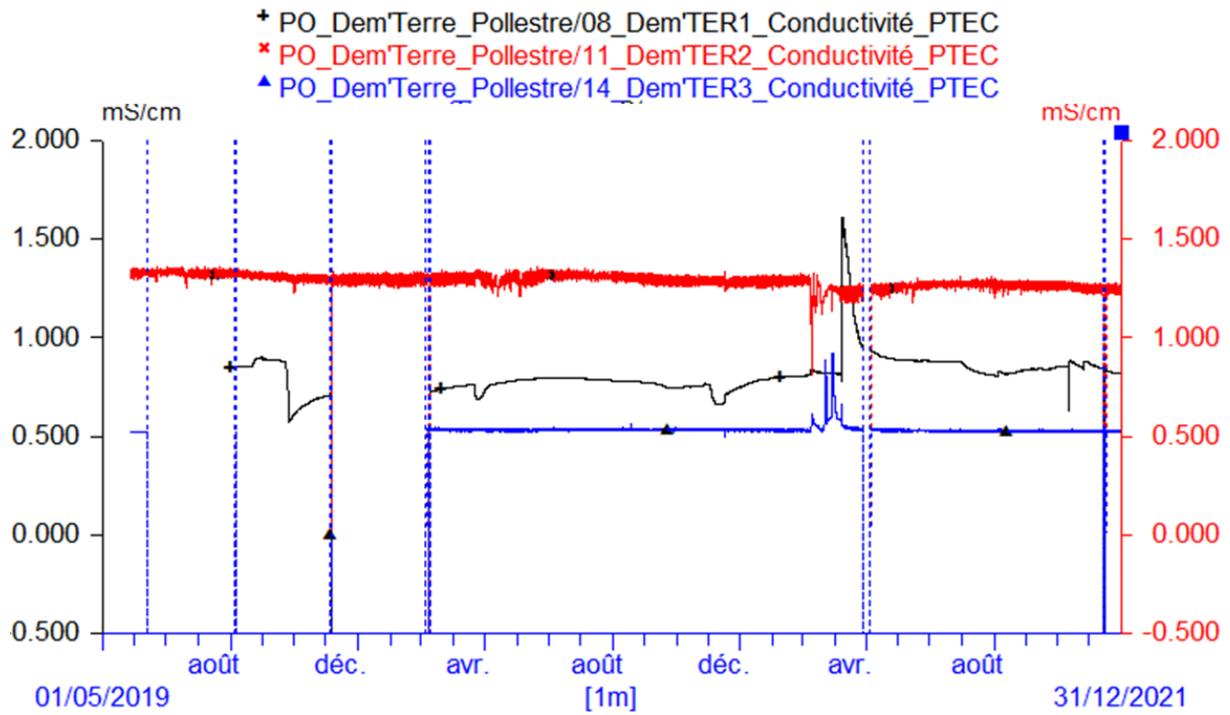


Illustration 20 : Chroniques de niveaux piézométriques (m NGF), de conductivité et de température pour les piézomètres de Dem'Terre.

3.2. SUIVI HAUTE-RESOLUTION DES RESISTIVITES ET TEMPERATURES EN FORAGE

Les forages carottés Dem'Ter0 et Dem'Mer0 ont été équipés avec un dispositif SMD (société IMAGEAU) de mesure de la résistivité de l'environnement proche du forage et un dispositif K-FBG (Société KLOE) de la température sur tout leur profil vertical, avec des sondes de résistivité tous les 3 m et une fibre optique contenant des capteurs de température tous les 5 m (Illustration 17). Le détail des équipements installés et des travaux réalisés pour la calibration est présenté en Annexe 8. Ces dispositifs permettent de suivre en continu les évolutions de la conductivité (et donc de la salinité) et de la température des eaux souterraines sur tout le profil vertical au droit de chaque site. Les données sont par ailleurs visualisables sur le plateforme Follow Roussillon (Illustration 21, Illustration 22 et Illustration 23).

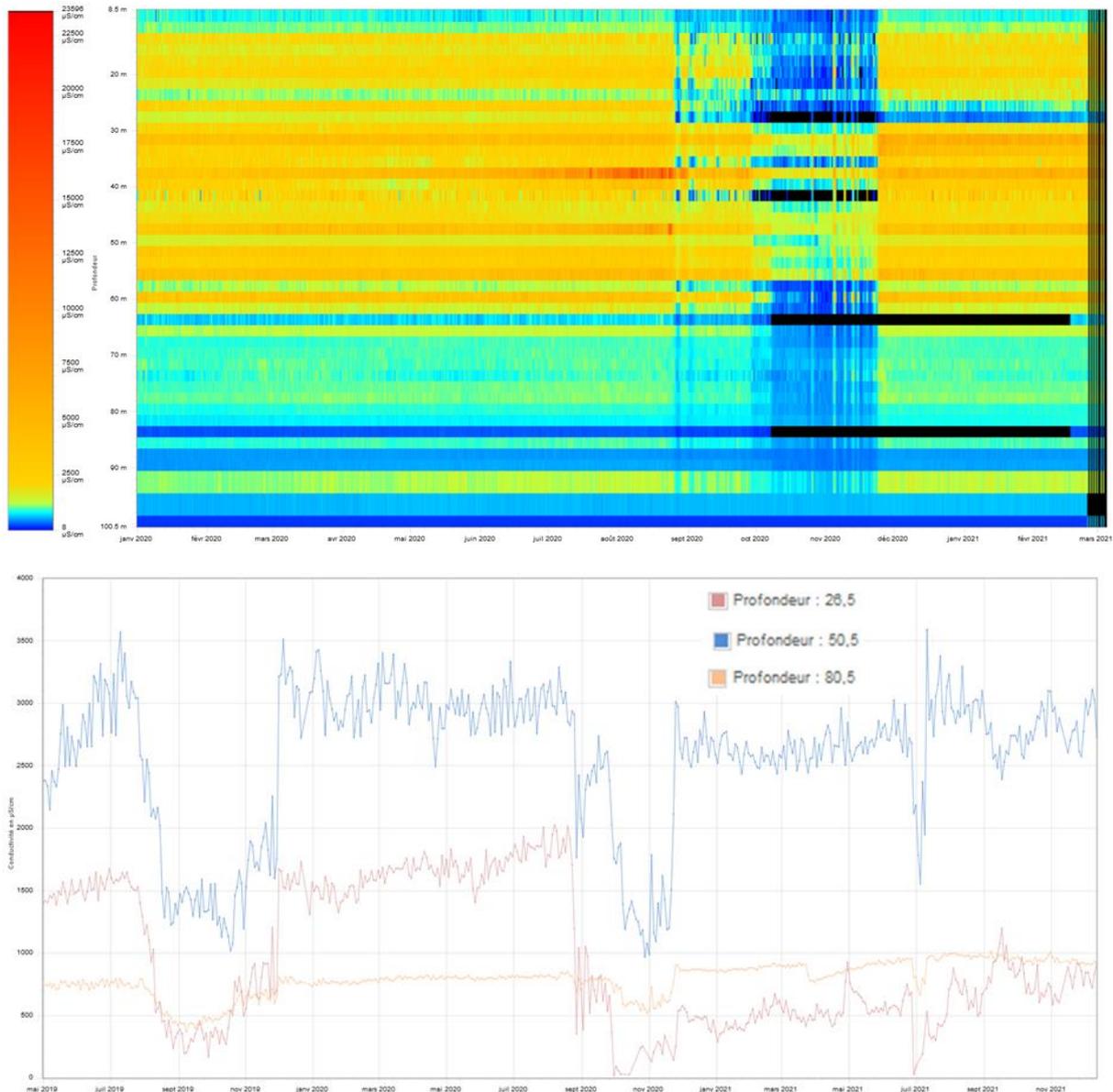


Illustration 21 : Exemple de visualisation des données de conductivité acquises par le dispositif SMD d'IMAGEAU et visualisable sur la plateforme Follow Roussillon pour le site de Dem'Ter, en continu sur tout le profil (haut) et à des profondeurs différentes (bas).

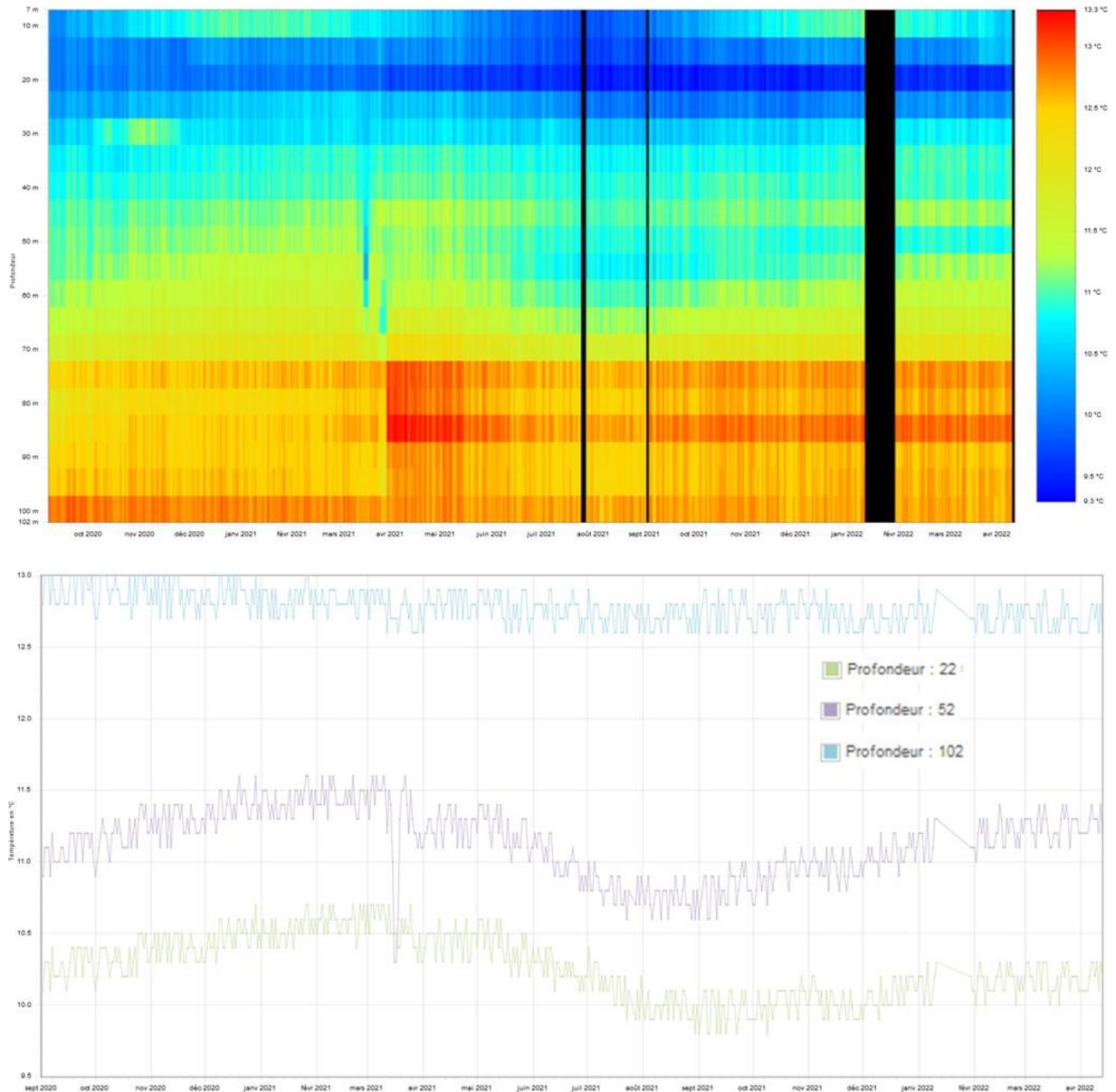


Illustration 22 : Exemple de visualisation des données de température acquises par le dispositif K-FBG de KLOE et visualisable sur la plateforme Follow Roussillon pour le site de Dem'Ter, en continu sur tout le profil (haut) et à des profondeurs différentes (bas).

Les suivis sur le site de Dem'Ter permettent d'observer que la minéralisation des eaux souterraines qui s'écoulent dans les différents compartiments est plus élevée en surface qu'en profondeur. Cette minéralisation ne dépasse cependant pas les 5 mS/cm. L'occurrence des précipitations observées entre septembre et décembre 2020 semble provoquer une recharge avec l'arrivée d'eau peu minéralisée qui perturbe toute la colonne observée. En termes de température, on observe une assez grande stabilité sur toute la période d'observation, avec une augmentation logique avec la profondeur.

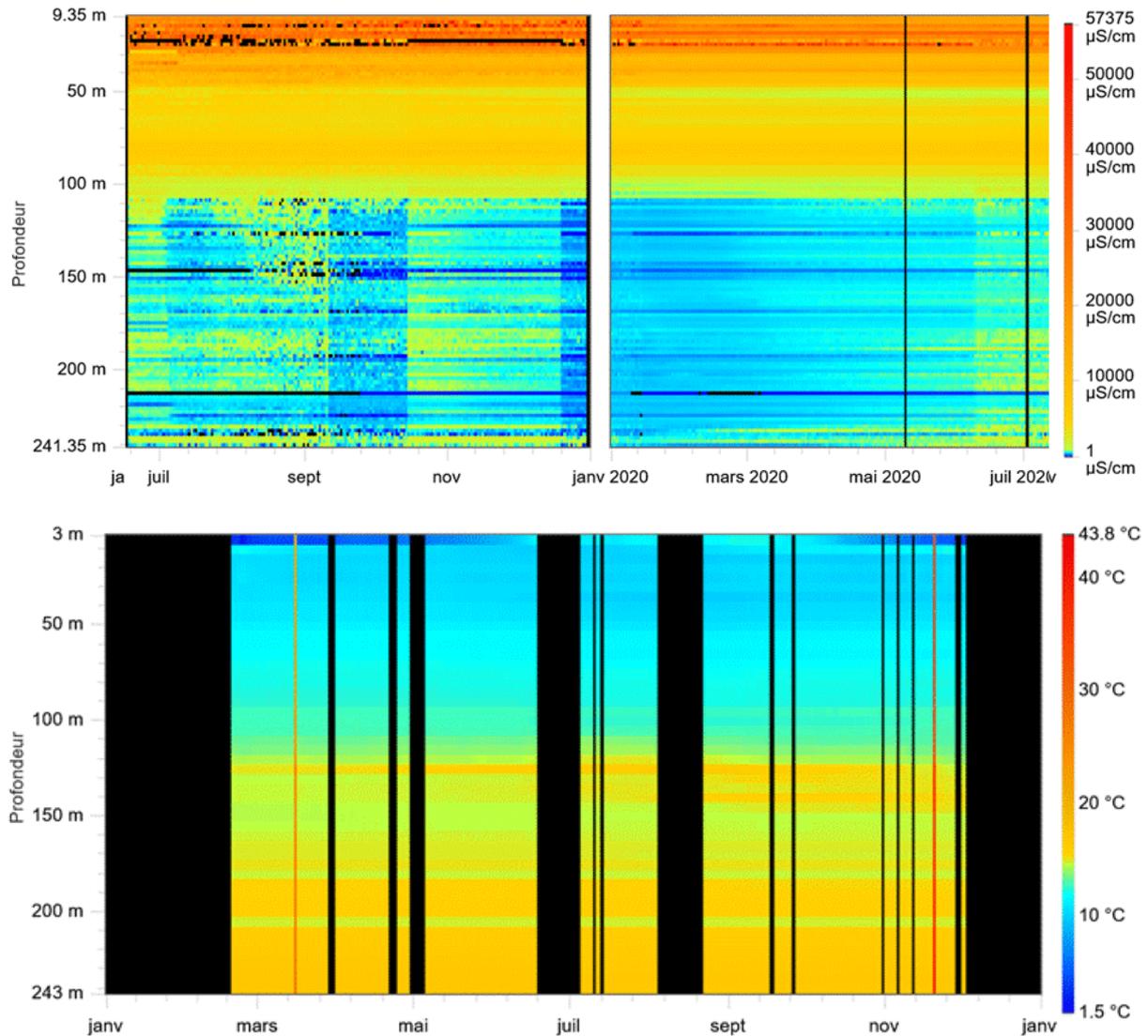


Illustration 23 : Exemple de visualisation des données de conductivité (haut) et de température (bas) acquises par le dispositif SMD d'IMAGEAU et visualisable sur la plateforme Follow Roussillon pour le site de Dem'Mer, en continu sur tout le profil.

Les suivis de la conductivité électrique sur le site de Dem'Mer permettent de mettre en évidence l'existence d'écoulements d'eau douce en profondeur, alors que l'eau qui s'écoule en surface présente une minéralisation proche de celle de l'eau de mer. Si le signal reste relativement stable tout au long du suivi dans les niveaux proches de la surface, il semble y avoir des perturbations dans les niveaux profonds dont l'origine pourrait être explorée dans le cadre de travaux futurs. En ce qui concerne la température, on observe là encore une augmentation avec la profondeur et un signal globalement constant sur la période de suivi, même si certaines variations s'observent en surface et à des profondeurs comprises entre 120 et 150 m, dont la cause est inconnue.

4. Mesures géophysiques en forage et pétrophysique

4.1. MESURES GEOPHYSIQUES EN FORAGE

De 2018 à 2022, l'équipe de géophysiciens et géologues de Géosciences Montpellier (GM) est intervenue à de nombreuses reprises pour effectuer des mesures dans les puits nouvellement forés ou préexistants (Illustration 24). Pour les puits nouvellement forés, il était nécessaire d'intervenir juste après la réalisation du forage, ceci afin de garantir une qualité optimale des mesures géophysiques. Un suivi temporel a également été effectué dans certains puits.

GM est également intervenu avant, pendant et après les tests de pompages réalisés par le BRGM en 2019 pour en évaluer l'impact sur la qualité de la ressource en eau. Enfin, à la demande du BRGM, des mesures ont également été faites pour préciser le statut de certains ouvrages en termes de cimentation du tube PVC. Début 2022, la caractérisation de Dem'MER5_bis n'a pas pu être réalisée suite à une panne générale du système d'acquisition.

Les mesures pétrophysiques ont été analysées, interprétées et transmises au BRGM et à Fugro Geoter, en charge d'élaborer la coupe lithologique résultant de l'analyse sur carottes afin de contribuer à la constitution d'un nouveau modèle géologique régional (Illustration 25). Un travail important d'analyse du volume conséquent de données acquises a permis de mettre en place les bases d'interprétation des mesures géophysiques de résistivité électrique, soit de type "instantanées" réalisées par GM, soit enregistrées de façon permanente avec les observatoires SMD installés par ImaGeau. Ce dernier travail s'est concentré sur le site côtier (Dem'MER). En septembre 2020, des mesures de résonance magnétique protonique (RMP) ont été réalisées dans le forage le plus profond de chacun des trois sites par la société australienne NMR-SA. Ces mesures ont été analysées dans le cadre du stage de Colin Hamel (2021).

Puits	Site	Date d'intervention	Contexte	Profondeur
<u>Dem'TER (C)</u>	Pollestres	06/03/2018	Caractérisation	120 m
<u>Dem'TER 1</u>	Pollestres	25/10/2018	Caractérisation	15 m
<u>Dem'TER 2</u>	Pollestres	25/10/2018 13/05/2019 19/09/2019 06/07/2020 29/03/2021	Caractérisation Suivi temporel " " Tests hydrodynamiques (/3)	60 m
<u>Dem'TER 3</u>	Pollestres	25/10/2018 13/05/2019 19/09/2019 06/07/2020 18/09/2020 03/05/2021	Caractérisation Suivi temporel " " Test RMP en forage Suivi temporel	110 m
<u>Dem'MER (C)</u>	Saint-Cyprien	24/04/2018	Caractérisation	225 m
<u>Dem'MER 1</u>	Saint-Cyprien	13/05/2019	Caractérisation	25 m
<u>Dem'MER 3</u>	Saint-Cyprien	13/05/2019 09/07/2019 06/07/2020	Caractérisation Tests hydrodynamiques (/4) Suivi temporel	55 m
<u>Dem'MER 4</u>	Saint-Cyprien	10/10/2018 19/09/2019 06/07/2020 17/09/2020 05/05/2021 04/03/2022 11/03/2022	Caractérisation Suivi temporel " Test RMP en forage Suivi temporel Tests hydrodynamiques (/6) Tests hydrodynamiques (/6)	250 m
<u>Dem'MER 5</u>	Saint-Cyprien	27/11/2018 19/09/2019 14/05/2019	Caractérisation Qualité de la cimentation Suivi temporel	310 m
<u>Dem'MER 5bis</u>	Saint-Cyprien	2022 (à définir)	Caractérisation	320 m
P2 (Grain D'Sel)	Barcarès	30/05/2018 04/07/2018 13/05/2019 19/09/2019 06/07/2020 17/09/2020 03/05/2021	Suivi temporel " " " " Test RMP en forage Suivi temporel	85 m
20 puits SNPR (Figure 1)	Plaine du Roussillon	12/11/2019 11/12/2019 10/12/2020 05/05/2021	Caractérisation gamma, fluides et conductivité " "	50 à 200 m

Illustration 24 : Interventions de terrain effectuées par GM pour les mesures géophysiques en forage.

Puits	<i>Gamma naturel (U, Th, K)</i>	<i>Susceptibilité magnétique</i>	<i>Vitesses acoustiques (P & S)</i>	<i>Résistivité électrique de la formation</i>	<i>Physico-chimie des fluides en forage (p, T, C_w, pH, Eh)</i>	<i>Porosité et perméabilité (RMP)</i>
Dem'TER (C)	x					
Dem'TER-1	x	x		x		
Dem'TER-2	x	x		x	x	
Dem'TER-3	x	x		x	x	x
Dem'MER (C)	x					
Dem'MER-1	x	x		x		
Dem'MER-3	x	x		x	x	
Dem'MER-4	x	x	x	x	x	x
Dem'MER-5	x	x	x	x		
Dem'MER-6						
Barcarès (P2)	x	x		x		x
Barcarès (SNPR-1)	x	x		x	x	
St Laurent (SNPR-2)	x				x	
Trouillas (SNPR-3)	x	x		x		
Ponteilla (SNPR-4)	x					
Corneilla (SNPR-5)	x	x		x		
Argelés (SNPR-6)	x					
<i>Objectifs</i>	Lithologie	Lithologie	Sismique	Fluides (C_w)	Fluides	Hydrogéol.

Illustration 25 : Mesures géophysiques en forage enregistrées par le CNRS (2018-2022).

4.2. INTERPRETATION DES RESULTATS

Un travail d'interprétation se focalisant sur le site DEM'MER a été ensuite mené en termes de structure géologique et donc de stratigraphie, de porosité et de perméabilité venant des mesures RMP, de conductivité des eaux porales qui en est déduite, de mesures de vitesses acoustiques des ondes de compression pour le calage de la sismique côtière et d'impact des essais de pompage réalisés en 2019 par le BRGM.

Structure géologique

En subsurface, la structure géologique peut-être illustrée directement par deux types de mesures géophysiques : la radioactivité naturelle gamma et la susceptibilité magnétique.

La radioactivité naturelle gamma spectrale (SGR) quantifie la présence d'atomes d'uranium (U) de potassium (K) et de thorium (Th) dans le milieu. Potassium et thorium ont tendance à se concentrer dans les argiles et c'est pourquoi le SGR est souvent utilisé au premier ordre pour localiser les couches argileuses. Pour cela, il faut vérifier que la matrice minérale ne contient pas de minéraux riches en potassium comme, par exemple, le microcline ou certains micas comme la muscovite. Dans le Roussillon, les dépôts sédimentaires viennent en majorité de l'érosion de massifs granitiques ou de gneiss des Pyrénées. Les granites étant souvent riches en potassium, il faut s'assurer au laboratoire de la nature des minéraux échantillonnés par les carottes, ce qui a été fait par diffraction RX (Annexe 9).

La susceptibilité magnétique mesure la présence de minéraux qui apparaissent sous l'effet d'une sollicitation magnétique. En forage, cette propriété est mesurée par induction électromagnétique directe, à l'aide de la sonde permettant également de mesurer la conductivité électrique du milieu. En résumé, dans les deux cas, ces mesures donnent une indication de la nature minéralogique des couches traversées par le forage.

On peut illustrer ce type de mesures avec les résultats obtenus dans Dem'MER_5 lors de la réalisation du forage (Illustration 26). Le Pliocène continental est caractérisé par une forte radioactivité gamma naturelle (de 200 à 260 cps en moyenne), que ce soit dans les argiles ou dans les sables. Ceci indique au premier ordre que les sables sont riches en potassium et que seules les variations relatives dans cette gamme de valeur permettent de les différencier. Un niveau plus faible mais toujours élevé de radioactivité est obtenu dans le Pliocène marin, en dessous de 280 m. Derrière tubage, au-dessus de 45 m, le signal mesuré est atténué. La susceptibilité magnétique reste faible dans l'ensemble, tend à décroître avec la profondeur, avec quelques pics distincts qui peuvent indiquer la présence de niveaux palustres et des variations relatives sans corrélations apparentes avec la lithologie.

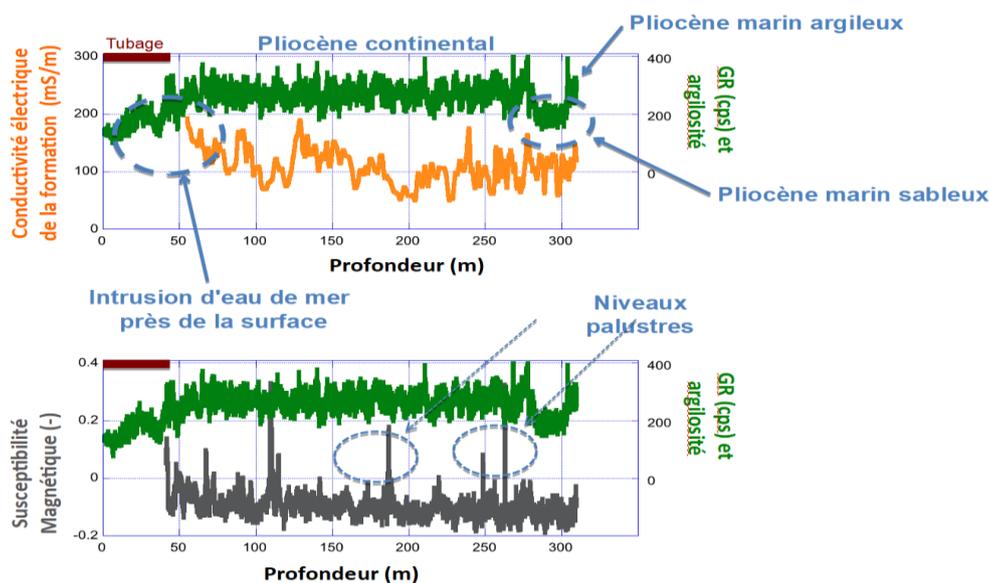


Illustration 26 : Structure géologique et mesures géophysiques en forage (Dem'MER-5).

Calage des profils sismiques en mer

Afin de corréliser avec précision les profils sismiques réalisés en mer par l'université de Perpignan avec les observations lithologiques en forage (Duvail et al., 2022), il est nécessaire de connaître la relation entre vitesse des ondes P et profondeur. Elle nous est donnée par pointage des temps de premières arrivées des ondes P pour les deux récepteurs acoustiques (Illustration 27, courbes noires, à gauche). La différence entre ces deux temps d'arrivée donne directement la vitesse à chaque niveau, permettant d'en déduire le profil de vitesses du site (Illustration 27, à droite).

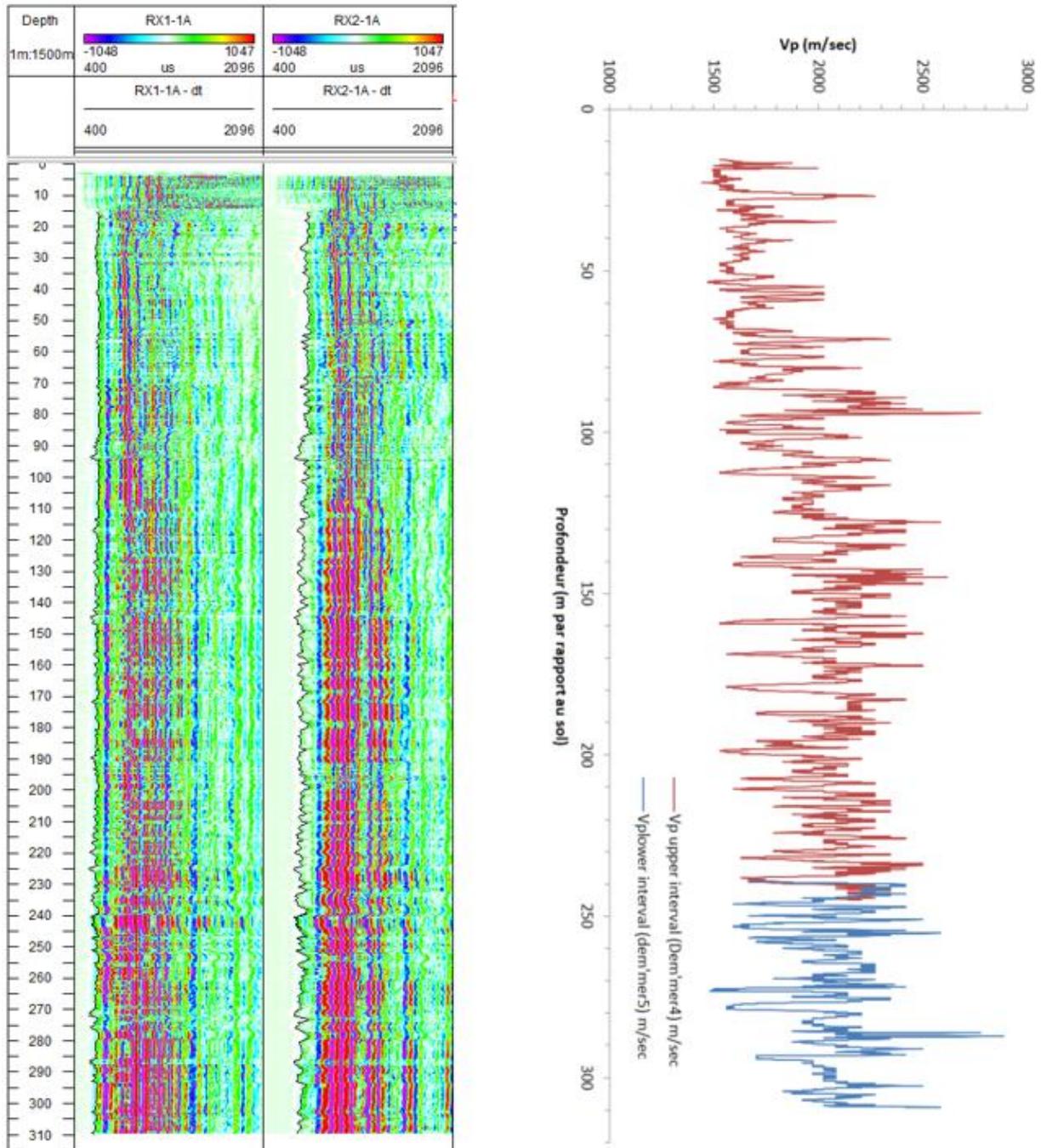


Illustration 27 : (A gauche) : Analyse combinée des trains d'ondes acoustique dans les puits Dem'MER 4 et 5 pour les récepteurs RX1 et RX2. En couleur, intensité du signal acoustique. (A droite) : Profil de vitesses des ondes P déduit de l'analyse des trains d'ondes (Dem'MER 5).

Mesures géophysiques au cours des essais de pompage

Les essais de pompages réalisés par le BRGM sur les sites Dem'MER en 2019 et Dem'TER en 2021 avaient pour but de caractériser les propriétés hydrodynamiques de la nappe. Pour Dem'MER, les mesures de conductivité électrique réalisées avant, pendant et après ces essais de pompage permettent de mettre en évidence des zones d'écoulements préférentiels (Illustration 28) induites par ces pompages. Les petits changements de conductivité électrique mesurés s'expliquent par des changements de la conductivité électrique du fluide poral au cours des essais. Le même protocole a été suivi pour Dem'TER en 2021 avec l'enregistrement de mesures de conductivité électrique dans un puits d'observation à proximité.

Une analyse préliminaire de ces mesures (Illustration 28) précise la nature des écoulements induits par les pompages. Par rapport à la conductivité de référence du milieu enregistrée le 13 mai 2019 (Figure 6, courbe verte) les mesures enregistrées après un jour de pompage, le 4 juillet 2019 (Figure 6, courbe rouge), puis le 9 juillet 2019, en fin d'expérience (Figure 6, courbe bleue) révèlent des changements temporels, avec des augmentations dès le premier jour de conductivité (salinisation) près de la surface (de 0 à 20 m) pour 3 niveaux et des diminutions également immédiatement en dessous (de 25 à 80 m), principalement sur 6 niveaux. Ces résultats montrent que, lors de pompages de longue durée sur ce site expérimental, la salinisation de la couche superficielle tend à augmenter, alors qu'elle diminue pour les niveaux situés en dessous de 20 m de profondeur. Le test de pompage étant effectué à grande profondeur, ce résultat implique qu'il existe une connectivité hydraulique non négligeable entre les couches profondes et celles qui se trouvent à moindre profondeur.

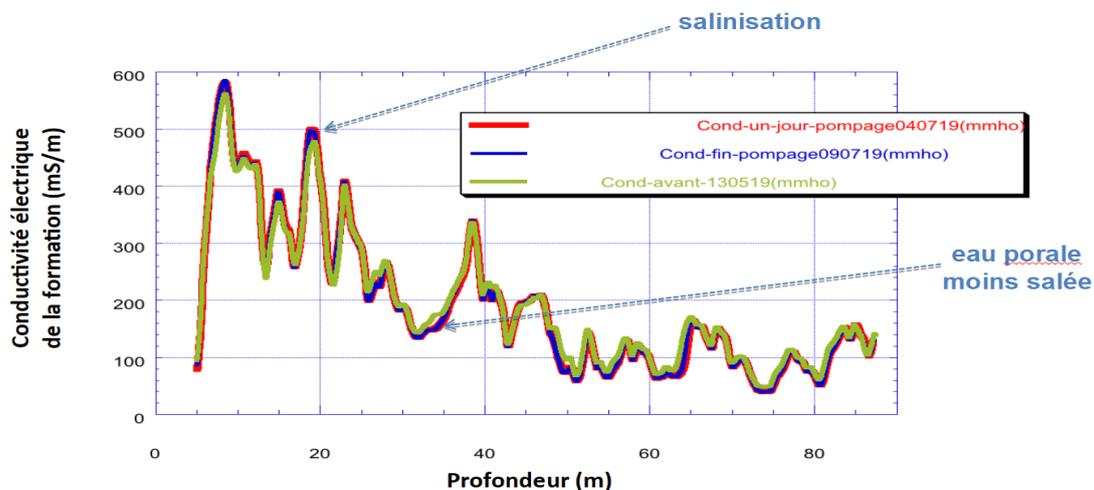


Illustration 28 : Suivi temporel de conductivité électrique de la formation dans l'ouvrage Dem'MER3 lors des essais de pompage réalisés par le BRGM en juillet 2019 dans un ouvrage voisin.

Structure hydrodynamique du sous-sol

La sonde RMP développée en Australie par la société NMR-SA a été mise à disposition du projet fin 2020 pour une démonstration dans les puits P2 (Barcarès), Dem'MER4 (St Cyprien) et Dem'TER3 (Pollestres). Lors des mesures RMP, les protons (atomes d'hydrogène) polarisés par un aimant de forte puissance situé en forage de part et d'autre de la sonde basculent de 90 degrés lors de l'application d'un champ électromagnétique intense pendant quelques ms. Après oscillations ou « précession » lors du retour à l'équilibre imposé par l'aimant permanent, on mesure le temps de retour à l'équilibre des atomes d'hydrogène. Ce temps est long pour les atomes situés au centre des pores (« eau libre »), intermédiaire pour ceux situés dans les pores à l'interface entre pore et minéral (« eau liée ») et court pour les molécules d'eau ou les ions hydroxydes (OH⁻) faisant partie de la structure minérale des argiles (Illustration 29). L'analyse de ces temps de retour à l'équilibre permet d'obtenir un

partitionnement des molécules d'eau dans le milieu poreux qui est interprété en termes de porosité et de fraction argileuse. La somme des trois valeurs obtenues donne la porosité totale. Dans les formations clastiques comme celles rencontrées sur les trois sites d'étude, ces résultats peuvent être inversés pour obtenir la perméabilité du milieu à échelle décimétrique.

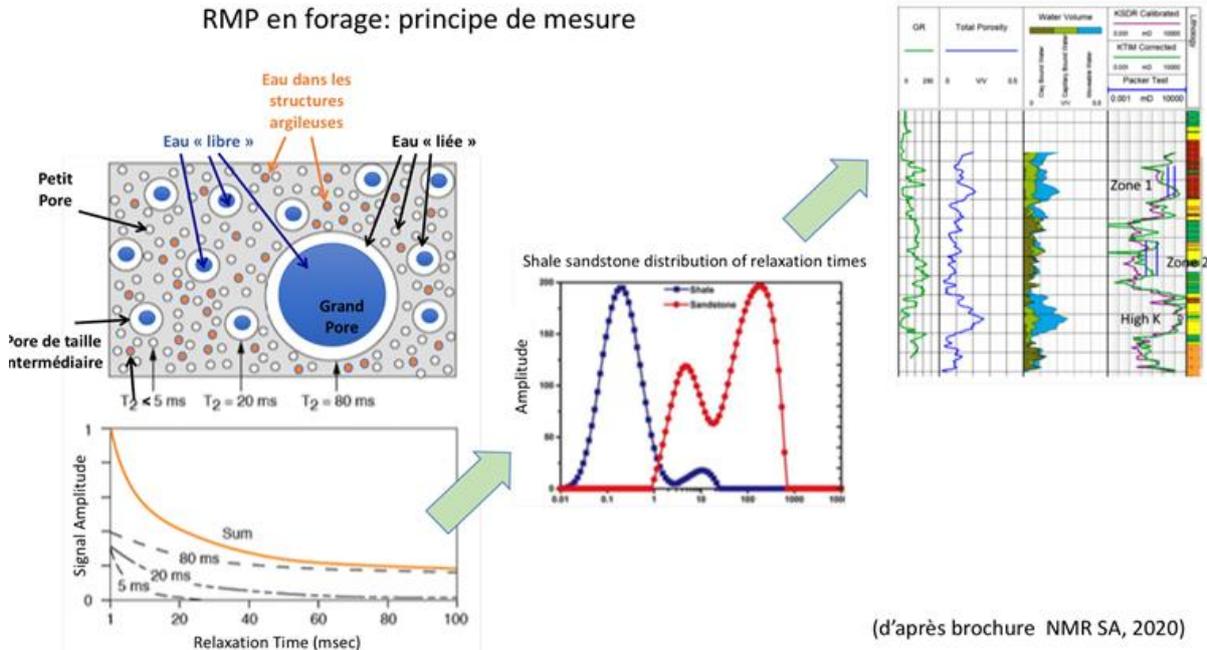


Illustration 29 : Principe d'analyse des temps de relaxation des atomes d'hydrogène par méthode RMP en forage. A chaque niveau de mesure, l'histogramme des temps de relaxation génère (en haut à droite) un partitionnement entre « eau libre » (en bleu), « eau liée » (en vert clair) et eau dans les argiles (en kaki) dont la somme donne la porosité totale.

Lors de cet essai, les mesures RMP se sont révélées d'une grande importance pour le projet, révélant d'une part la structure de porosité (Illustration 30) et de perméabilité des trois sites expérimentaux, et permettant d'autre part à l'aide de la porosité totale une inversion des mesures de résistivité du milieu en terme de conductivité électrique du fluide poral.

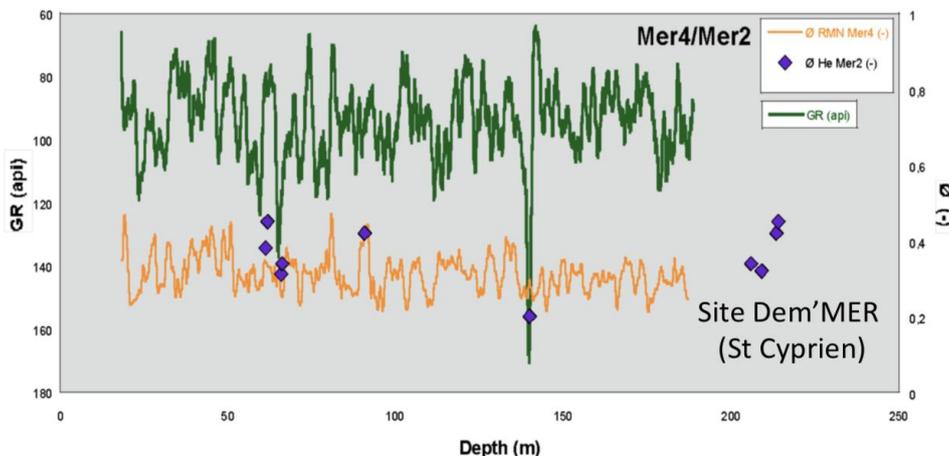


Illustration 30 : Comparaison de la porosité obtenue par RMP avec les mesures sur carottes.

Caractérisation des paramètres physico-chimiques du fluide en forage

Cette caractérisation a été réalisée dans seulement six puits à l'aide de la sonde "Idronaute" qui permet d'enregistrer à chaque niveau la pression, la température, la conductivité électrique du fluide en forage, son pH et son potentiel redox (Eh). Ces mesures sont principalement utilisées ici pour le contrôle des autres mesures en forage. En outre, le profil de température a servi de référence basse fréquence pour le calage après installation de l'observatoire permanent de mesures de température KBG-F (Kloe).

Conductivité électrique des eaux porales dans les aquifères

La conductivité électrique de l'eau d'un aquifère (C_w) dépend principalement de la salinité et de la température. Elle peut être obtenue par inversion de la conductivité totale de la roche qui est contrôlée par deux termes qui agissent en parallèle, et donc s'ajoutent : un terme de volume qui correspond au volume poreux dans lequel s'écoule le fluide poral et un terme de surface qui correspond à l'action combinée de la conductivité des cations à la surface des minéraux qui composent la roche et des molécules d'eau présentes dans les argiles.

Ainsi, la conversion en conductivité du fluide est basée sur les équations de Waxman-Smith (1968) :

$$C_o = \frac{C_w}{F} + C_s \quad (1)$$

$$C_w = (C_o - C_s) \cdot F \quad (2)$$

et pour lesquelles :

- C_o est la conductivité électrique du milieu (mesurée en forage par induction),
- C_s est la conductivité électrique de surface (importante dans les argiles),
- C_w est la conductivité électrique du fluide poral de l'aquifère,
- F est le facteur de formation électrique du milieu poreux qui dépend de la porosité (\emptyset) et de la connectivité 3D de l'espace poreux (m), avec la relation d'Archie $F = \emptyset^m$ (1942).

Pour calculer C_w en fonction de la profondeur, il faut donc déterminer au préalable C_s et F . Comme C_s est principalement contrôlée par la présence d'argiles, il est traditionnel et simple de déduire C_s de la quantité d'argile (V_{sh}) à partir de la radioactivité naturelle gamma (SGR) mesurée en forage lorsque la matrice minérale ne contient pas de potassium (ce qui n'est pas le cas en Roussillon). On utilise alors la formule linéaire suivante :

$$V_{sh} = \frac{(GR - GR_{min})}{(GR_{max} - GR_{min})} \quad (3)$$

où :

- V_{sh} est le volume d'argile,
- GR est la valeur de radioactivité naturelle gamma mesurée par le SGR,
- GR_{min} est la valeur minimale de radioactivité naturelle gamma de la zone d'étude,
- GR_{max} est la valeur maximale de radioactivité naturelle gamma de la zone d'étude.

La conductivité de surface C_s est alors déduite du volume d'argile, en utilisant la valeur maximale de la conductivité d'argile (C_{smax}) obtenue par la mesure électrique en face d'une couche d'argile pure et épaisse, ce qui donne :

$$C_s = V_{sh} * C_{smax} \quad (4)$$

Par ailleurs, la porosité du milieu peut être déduite des mesures de vitesse des ondes P à l'aide du modèle empirique de Wyllie (1956) qui obéit à une loi arithmétique de mélange en lenteur (la "lenteur" correspond à l'inverse de la vitesse et est exprimée en s/m). Ce modèle, largement utilisé dans le cadre de l'exploration pétrolière, ne convient cependant pas bien à proximité de la surface, quand la porosité est supérieure à 35%, ce qui très souvent le cas en Roussillon comme montrent les mesures RMP (Illustration 30).

Ce modèle a été utilisé en 2020 en première approximation, dans l'attente de mesures de porosité précises sur carottes et in situ par RMP. Pour cela, et dans un premier temps, la valeur de lenteur de matrice a été fixée à 0.33 s/km et le terme de connectivité entre pores d'Archie (m) égal à 1.5 (Jackson et al., 1978) pour le calcul du facteur de formation (F). Pour le calcul de C_s , les valeurs limites de GRmin et GRmax ont été choisies à 200 et 350 cps (Illustration 26), pour calculer la fraction argileuse (V_{sh}). Tous les niveaux avec des valeurs situées en dehors de ces limites sont donc considérés comme argileux à 100% au-dessus de 350 cps, et sableux (sans argile), en dessous de 200 cps.

La conductivité du fluide poral déduite de ce modèle est d'environ 500 à 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dans les argiles et certaines couches sableuses entre 50 et 130 m de profondeur (Illustration 31). Elle a une tendance à augmenter en dessous de 130 m. Elle augmente pour quelques niveaux salinisés jusqu'à des valeurs de l'ordre de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ correspondant à une salinité de 5 à 7 g/l. Ces niveaux sont distincts et assez peu nombreux, situés à 80-90, 130, 145, 157 et 163 m pour les principaux. Ce modèle a été amélioré (stage de Mastère de Colin Hamel, 2021) par les mesures de porosité réalisées au laboratoire et en forage par RMP. Les nouveaux résultats sont présentés dans l'illustration 31.

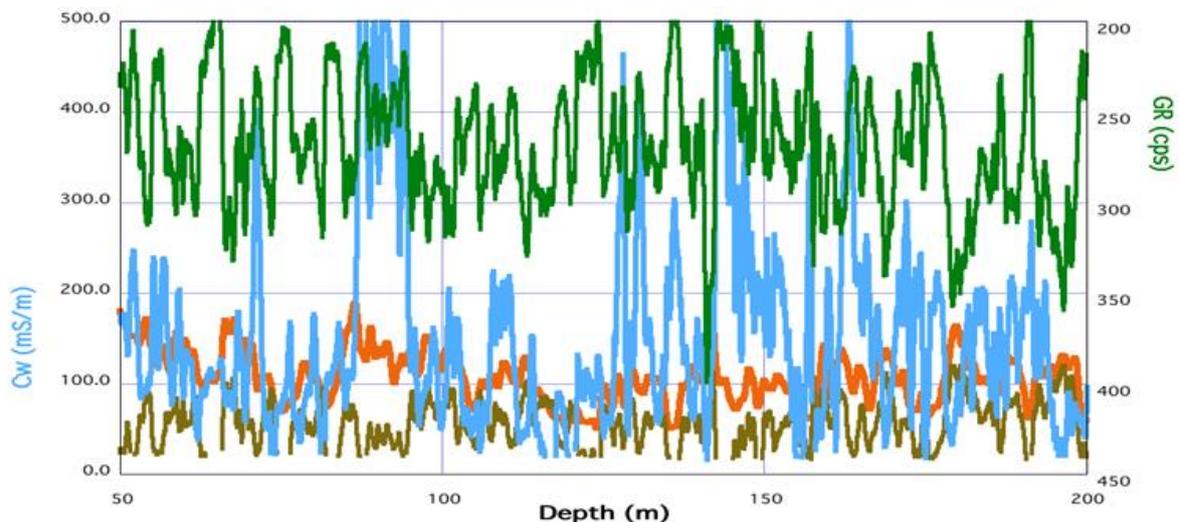


Illustration 31 : Radioactivité gamma naturelle (courbe verte, avec échelle inversée, à droite) indiquant la présence de couches argileuses (au-delà de 300 cps). Conductivité électrique totale mesurée in-situ par induction (courbe orange) et conductivité de surface calculée sur la base du volume d'argile V_{sh} (courbe marron). En bleu, conductivité du fluide poral.

Ce travail de calcul de la conductivité du fluide poral « C_w » est également basé sur l'équation de Waxman & Smith. La courbe de porosité issue des mesures RMP in-situ est utilisée pour calculer F . L'indice de connectivité « m » étant inconnu, on a pris 3 valeurs plausibles (1,50, 1,75, et 2,00) sur la base de la bibliographie concernant les milieux granulaires. Plusieurs

valeurs de C_{smax} (allant de 30 à 179 mS/m) ont également été utilisées pour tester la sensibilité de ce modèle à ce paramètre. Les résultats, présentés en bleu (Illustration 32) sont comparés aux mesures in-situ de monitoring réalisés par le BRGM dans différents puits crépinés face à des aquifères différents et disposés en flûte de pan sur les sites expérimentaux.

L'ensemble des modèles indique une salinisation forte à proximité de la surface, au-dessus de 40 m à St Cyprien et au Barcarès, ainsi que des intrusions ponctuelles en dessous, dans des passées métriques, voire plus minces (Illustration 32). La tendance générale de diminution de la salinité moyenne mesurée par monitoring en forage avec la profondeur est respectée pour les deux sites côtiers. A Pollestres, on obtient également une bonne correspondance entre mesures in-situ de C_w et résultat de cette inversion. Sur le site du Barcarès, les résultats du modèle sont comparés aux mesures directes de conductivité du fluide poral obtenues après prélèvement à l'aide d'un dispositif Westbay permettant d'isoler chacun des aquifères superposés à l'aide d'obturateurs gonflés dans l'annulaire du forage, autour du tube PVC central de prélèvement.

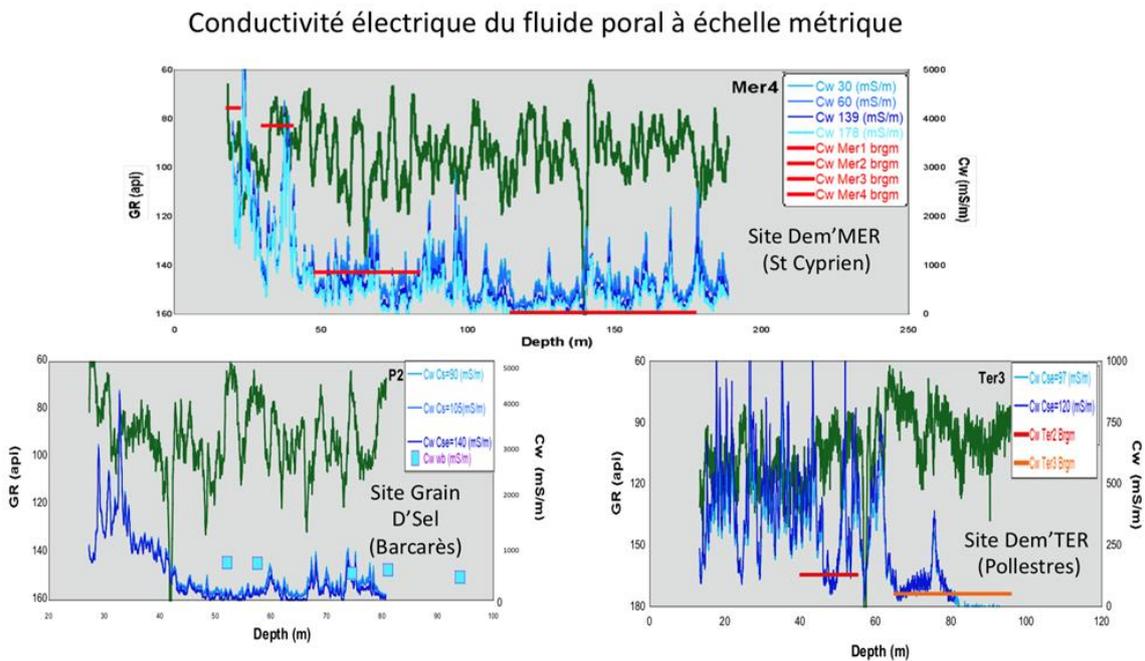


Illustration 32 : Pour les 3 sites, calcul de C_w avec différentes valeurs de C_{se} comparé aux données issues du suivi permanent et pour une valeur de m fixe de 1,75. Le profil de radioactivité naturelle gamma est utilisé comme référence lithologique afin de mettre en évidence les passées argileuses.

Calcul de la perméabilité à partir des mesures RMP

Comme mentionné précédemment, la RMP permet d'estimer la quantité d'eau dans un milieu et donc, par déduction, sa porosité (Illustration 29). A partir de la porosité (Φ), deux modèles permettent d'évaluer la perméabilité notée k : le modèle Timur-Coates (1972, Equation 5), et le modèle Schlumberger (Kleinberg et al., 1993 ; Equation 6).

$$k_{\text{Coates}} = \left[\left(\frac{\phi}{C} \right)^2 \frac{\text{MFFI}}{\text{MBVI}} \right]^2, \quad (5)$$

$$k_{\text{SDR}} = C \times T_{2gm}^2 \times \phi^4, \quad (6)$$

où d est le diamètre des grains et Φ la porosité.

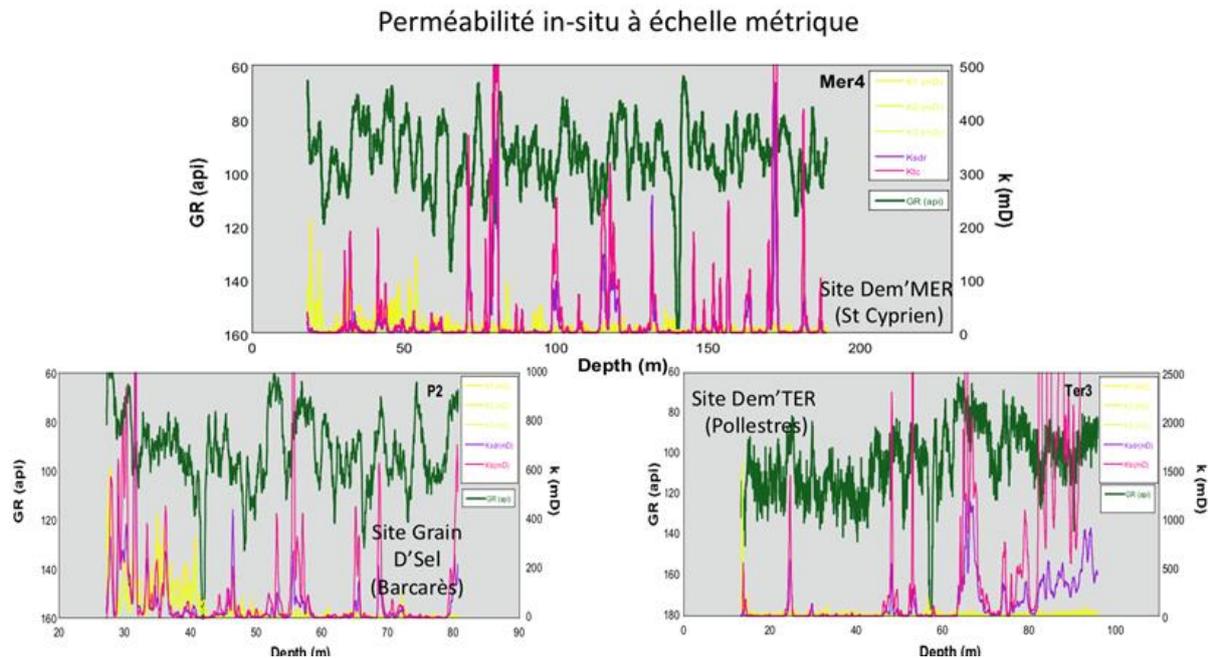


Illustration 33 : Calcul des perméabilités k pour les 3 sites en faisant varier le facteur m (1,50 ; 1,75 et 2,00). K_{sdr} en violet et K_{tc} (en rose) correspondent respectivement à la méthode de calcul Schlumberger et de Timur-Coates. Le profil de radioactivité naturelle gamma est utilisé comme référence lithologique afin de mettre en évidence les passées argileuses.

Comme pour le calcul précédent de C_w , les résultats des calculs de perméabilité (Illustration 33) exprimés en mD et de façon linéaire, montrent une augmentation significative de la perméabilité en face de certains niveaux sableux d'épaisseur décimétrique à métrique. La comparaison de ces résultats avec les valeurs de C_w obtenues par inversion de la résistivité électrique du milieu (Illustration 34) montre une certaine concomitance entre des augmentations de la minéralisation de l'eau souterraine et la position de niveaux sableux plus perméables.

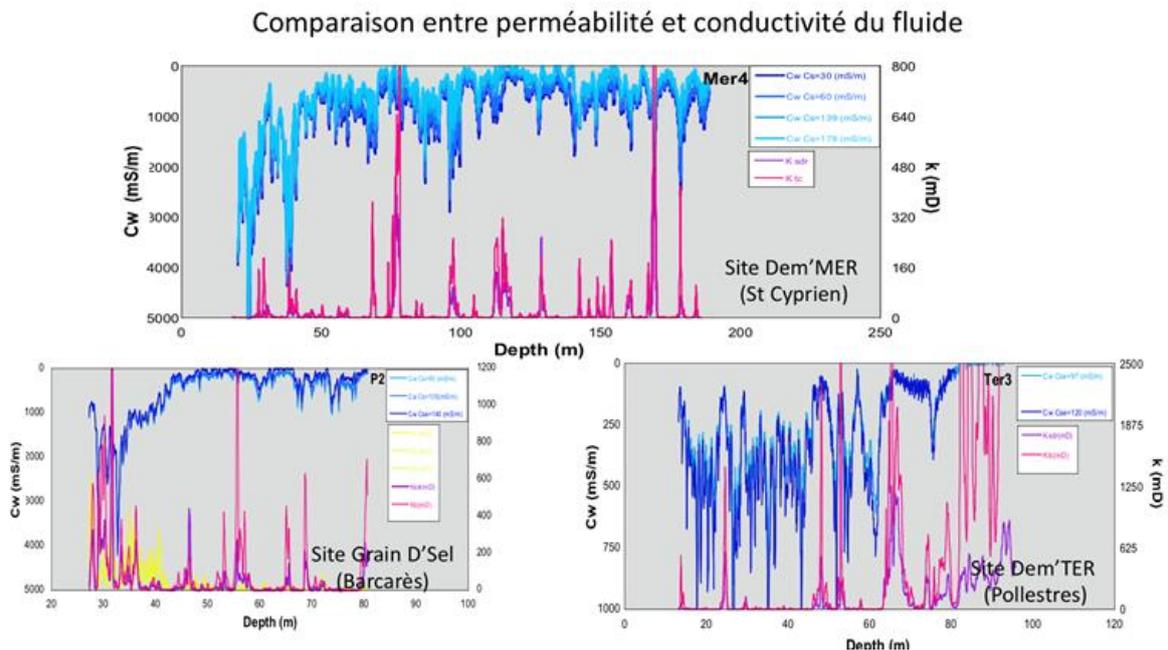


Illustration 34 : Comparaison de Cw obtenu par inversion de la résistivité et de k venant des mesures RMP pour les 3 sites, avec une valeur de m fixe (1,75) et trois valeurs de Cse différentes.

Mesures géologiques et pétrophysiques sur carottes et échantillons

Durant la durée des travaux de forages des deux forages carottés, GM a collaboré avec Fugro Geoter afin de conditionner et analyser en temps réel les carottes (Figure 13).



Illustration 35 : Laboratoire de terrain pour la préparation et l'analyse géologique des carottes.

Le banc GEOTEK de mesures pétrophysiques en continu sur carottes n'étant pas disponible durant les travaux de forages, il a été remplacé par des mesures ponctuelles sur carottes au laboratoire. Un ensemble de 20 carottes a été prélevé pour le site Dem'MER de manière à représenter la diversité lithologique et notamment des différents faciès argileux (Table 3). Ces carottes ont fait l'objet de mesures pétrophysiques (porosité, masse volumique, CEC), granulométriques (réalisées à l'université de Perpignan), géochimiques (éléments majeurs, plus uranium et thorium) et d'analyse minéralogiques par diffraction des rayons X.

Echantillon		Profondeur (sommet) (m)	Profondeur (base) (m)	Carotte	Lithologie
1	A	61,3	61,45	2	sable moyen bien trié
2	B	61,85	62	2	sable grossier à graviers subanguleux
3	C	66	66,15	5	argile silteuse
4	D	66,25	66,35	5	argile silteuse
5	E	88,8	88,9	21	sable fin à moyen, à graviers, gris beige
6	F	90,9	91	22	sable moyen à argileux à graviers, mal trié
7	G	140,1	140,2	56	argile noire
8	H	140,5	140,6	57	argile noire à graviers flottants lignite
9	I	141,1	141,2	57	argile silteuse à crête mal développée, carotte de meilleure
10	J	206,2	206,3	103	argile grise
11	K	209,3	209,4	105	argile brune plastique
12	L	213,5	213,6	108	sable grossier à grisâtre bien trié homogène à passées riches en graviers
13	M	214	214,1	108	sable grossier à graviers (à vérifier)
14	N	270,9	271	156	argile gris sombre à fragments de coquilles
15	O	271,15	271,3	157	argile gris bleue
16	P	275,3	275,43	160	argile plastique gris bleue
17	Q	277,15	277,3	161	argile plastique noirâtre
18	R	285,05	285,15	167	grès bien trié propre
19	S	288,5	288,6	169	sable moyen gris, bien trié à fragments de coquilles
20	T	290,5	290,6	171	sable à graviers arrondis quartzeux à fragments de coquilles

Illustration 36 : Echantillonnage de 20 niveaux (carottes du forage Dem'MERO) pour mesures en laboratoires. Les sables sont représentés en jaunes et les argiles en vert.

Toutes les analyses n'étant pas terminées, les premiers résultats sont présentés sur les Illustration 37 et Illustration 38.

Sample	Depth m	Lith	Ø %	Rhog gcc	RhoG gcc	RhoG	CEC cmol+/kg	Mean Grain size µm
						DRX gcc		
A	61,38	Sand	37,66	1,67	2,68	2.65-2.71	5,14	1135,0
B	61,93	Sand	45,42	1,45	2,65	2,57	6,40	137,8
C	66,08	Shale	31,28	1,80	2,62	2,73	18,58	15,9
D	66,30	Shale	33,63	1,74	2,63	2,72	16,00	16,0
E	88,85	Sand				2,59	9,07	90,5
F	90,95	Sand	41,90	1,51	2,61	2,64	7,04	142,2
G	140,15	Shale	20,02	1,91	2,39	2,68	28,24	17,7
H	140,55	Shale				2,75	28,18	17,1
I	141,15	Shale				2.74-2.84	27,84	553,4
J	206,25	Shale	33,64	1,74	2,63	2,74	21,62	19,8
K	209,35	Shale	32,07	1,78	2,62	2,73	19,86	18,0
L	213,55	Sand	42,04	1,52	2,62	2,68	7,99	562,4
M	214,05	Sand	45,19	1,44	2,63	2,71	6,37	216,0
N	270,95	Shale	33,50	1,77	2,66	2,77	16,15	16,9
O	271,23	Shale	36,78	1,69	2,67	2,77	12,66	17,3
P	275,37	Shale	38,69	1,68	2,74	2.65-2.71	21,70	16,3
Q	277,23	Shale	30,07	1,80	2,58	2,79	31,18	43,0
R	285,10	Sand	9,98	2,45	2,72	2,81	3,86	322,1
S	288,55	Sand	43,21	1,52	2,68	2,68	4,30	392,3
T	290,55	Sand	38,71	1,64	2,68	2.63-2.69	5,02	839,3

Illustration 37 : Premiers résultats des mesures pétrophysiques sur carottes du site Dem'Mer.

Sample	Depth m	Lithology	ϕ %	RhoB g/cc	Rhog g/cc	RhoG DRX g/cc	CEC cmol+/kg
1	19,15	shale				2,78	22,51
2	20,1	shale				2,76	19,10
3	29,55	sand	47,66	1,36	2,60	2,64	8,40
4	31,05	sand	50,32	1,27	2,56	2,7	9,22
5	35,25	shale				2,74	18,44
6	36,7	shale				2,73	18,35
7	53,17	sand	48,27	1,33	2,57	2,65	9,34
8	53,85	sand	48,74	1,32	2,57	2,66	7,46
9	59,79	shale				2,73	18,54
10	60,22	shale	32,63	1,78	2,64	2,74	22,17
11	69,2	sand	48,87	1,30	2,55	2,64	10,32
12	73,85	sand	46,78	1,37	2,57	2,75	10,88
13	107,38	sand				2,79	3,68
14	112	sand				2,62	5,30
15	116,37	shale				2,74	4,93
16	118,45	shale				2,54	5,78

Illustration 38 : Premiers résultats des mesures pétrophysiques sur carottes du site Dem'Ter.

Dans l'ensemble, les porosités issues des analyses s'échelonnent entre 30 et 50 % sur les deux sites. A l'aide des mesures de CEC, on cherchera à obtenir dans le futur des valeurs de Cse plus précise dans le but d'affiner l'inversion des mesures de résistivité électrique en termes de conductivité du fluide poral du milieu (Cw) à l'aide de l'équation n°4.

Analyses minéralogiques par XRD (échantillons C et L)

Deux analyses ont été réalisées en juin 2020 au laboratoire de chimie de l'université de Montpellier, en préambule à l'analyse des 20 échantillons. Un sable (L) et une argile silteuse (C) ont été choisis pour cette première analyse semi-quantitative, indiquant à ce stade la présence de 4 minéraux principaux et de traces pour deux autres (Illustration 39).

Minéral	Masse volumique (g/cc)	L (sable) (%)	C (argile) (%)
Quartz (SiO₂)	2.65	47	45
Muscovite (K Al₃ Si₃ O₁₀ (OH)₂)	2.76 - 3.00	35	41
Microcline (K Al Si₃ O₈)	2.54 - 2.57	12	-
Albite (Na Al Si₃ O₈)	2.60	5	13
Chamosite (Mg, Fe, Al, Si, O, (OH)_n)	2.80 - 3.00	1 à 2	-
Vermiculite (Mg, Ca, Al, Fe, Si, O, (OH)_n)	2.30 - 2.70	-	1

Minéral	Masse volumique	L (sable)	C (argile)
(Profondeur de l'échantillon - Dem'MER-0)		(213,5 m)	(66,0 m)
Masse volumique de grain calculée (loi arithmétique de mélange)		2.68 ± 0.02	2.69 ± 0.02

Illustration 39 : Analyse semi-quantitative par diffraction RX de la minéralogie des deux échantillons issus des carottes du forage Dem'MER-0.

Au-delà de la proportion importante de quartz, bien connue, on note la proportion importante de muscovite pour ces deux échantillons pris au hasard. La muscovite est un silicate hydroxylé d'aluminium et de potassium d'origine granitique ou métamorphique (gneiss, micaschistes) et le minéral le plus commun du groupe des micas. Riche en potassium, il contribue au signal de radioactivité naturelle gamma. Le microcline contribue également à ce signal en tant que silicate potassique de la famille des feldpaths. L'albite est également un feldspath pouvant contenir des traces de potassium. Comme les deux précédents et le quartz, ce minéral est abondant dans les granites. La chamosite et la vermiculite sont des minéraux argileux riches en fer qui peuvent donc expliquer certaines excursions de susceptibilité magnétique (Illustration 26). La vermiculite se caractérise également par une forte capacité d'échange des cations (100-150 meq/100 g). Enfin, la répartition minéralogique permet par ailleurs de calculer la masse volumique de chaque l'échantillon à l'aide d'une loi de mélange arithmétique.

Analyses géochimique de éléments majeurs par XRD (échantillons C et L)

L'analyse des éléments majeurs des 20 échantillons a été réalisée à l'aide d'un ICP-OES par le service AETE-ISO de l'OSU OREME, à l'université de Montpellier. Il apparaît au premier ordre que les sables sont enrichis en fer, aluminium, magnésium et titane par rapport aux argiles, alors que ces derniers sont enrichis en silice, potassium et, dans un degré moindre, en sodium (Illustration 40). Les échantillons sont généralement pauvres en calcium et en sodium, à l'exception de trois d'entre eux, avec des valeurs de CaCO₃ supérieures à 10%. Deux de ces derniers viennent de la base du puits, dans le Pliocène marin. Enfin, deux échantillons (R et I) donnent des pertes au feu (LOI) de l'ordre de 20%, ce qui demandera à être étudié plus en profondeur (Illustration 40).

	Na2O %	MgO %	Al2O3 %	SiO2 %	K2O %	CaO %	TiO2 %	MnO %	Fe2O3 T %	P2O5 %	LOI %	Total %
A	1,3	0,5	10,5	78,7	3,88	0,5	0,2	0,027	2,6	0,10	2,6	100,9
B	1,5	0,7	12,4	72,2	4,27	0,6	0,6	0,045	3,5	0,11	3,5	99,6
C	1,4	1,9	19,8	58,5	3,38	1,0	0,8	0,061	7,0	0,15	7,4	101,4
D	1,3	2,0	19,3	56,5	3,47	1,2	0,8	0,122	6,9	0,14	8,9	100,6
E	1,7	1,4	13,4	67,9	3,91	0,9	0,5	0,040	3,5	0,15	8,0	101,4
F	1,6	0,7	11,7	75,8	4,61	0,5	0,3	0,020	1,9	0,04	2,5	99,8
G	0,7	2,8	18,5	57,4	2,76	1,2	0,8	0,045	6,4	0,05	9,0	99,7
H	0,8	2,8	17,5	54,1	2,89	3,3	0,7	0,048	6,1	0,05	10,6	98,9
I	0,3	2,4	11,5	34,3	1,70	21,5	0,5	0,069	4,4	0,05	24,2	100,8
J	0,5	2,7	20,5	52,5	3,57	1,1	0,8	0,089	7,3	0,08	11,2	100,5
K	0,6	2,5	19,2	52,1	3,75	0,8	0,8	0,060	8,2	0,07	11,4	99,6
L	1,8	0,8	11,5	75,5	5,11	0,5	0,2	0,017	1,7	0,06	3,4	100,5
M	1,6	0,8	11,7	72,6	4,62	0,6	0,2	0,023	2,1	0,06	5,8	100,2
N	1,0	3,0	20,2	55,5	3,94	1,1	0,8	0,055	7,1	0,07	7,2	100,0
O	1,3	2,9	20,1	54,9	4,00	1,3	0,8	0,061	7,4	0,10	7,7	100,5
P	0,7	2,6	20,8	52,8	4,00	0,9	0,9	0,064	7,4	0,08	8,3	98,5
Q	0,6	2,8	22,4	49,7	3,53	1,1	0,8	0,041	7,8	0,06	12,4	101,2
R	0,7	0,6	4,8	45,0	1,29	25,4	0,1	0,234	1,1	0,13	19,7	99,0
S	0,8	0,5	6,7	76,2	2,80	5,4	0,1	0,013	1,0	0,06	5,1	98,6
T	0,6	0,6	6,0	71,3	1,93	10,0	0,1	0,018	1,2	0,06	9,0	100,8

Illustration 40 : Analyse géochimiques des éléments majeurs par ICP-OES pour les échantillons issus des carottes du forage Dem'MER-0.

L'Annexe 10 présente de façon détaillée les relations directes ou inverses entre divers éléments, du pôle sableux au pôle argileux.

5. Conclusion

Dix forages de reconnaissance situés sur les communes de Canet-en-Roussillon et de Pollestres dans le département des Pyrénées Orientales (66) ont été réalisés dans le cadre du projet de recherche DEMEAUX-Roussillon.

Enregistrés dans la Banque des données du Sous-Sol (BSS) du BRGM, les dix forages réalisés en carottage ou au rotary ont été transformés en moyens d'observation des processus de recharge et d'écoulement des eaux souterraines et du risque d'intrusion saline. Deux sites observatoires ont ainsi été créés : Dem'Mer pour la surveillance des eaux souterraines de la Plaine du Roussillon en contexte côtier et Dem'Ter pour leur surveillance en domaine terrestre.

Une synthèse des essais de pompage réalisés sur les deux sites est proposée qui permet de décrire les principales caractéristiques hydrodynamiques des niveaux aquifères surveillés.

Les données de niveau des nappes, de conductivité et de température acquises sur ces deux observatoires sont également présentées. Elles sont désormais librement accessibles et téléchargeables sur la plateforme de valorisation du projet Dem'Eaux Roussillon.

Des mesures géophysiques en forage et pétrophysiques sur les carottes des forages Dem'Mer0 et Dem'Ter0 en laboratoire ont été réalisées. Elles ont permis de mettre en évidence des contrastes importants de perméabilité entre les niveaux sableux et argileux et de fournir des indications sur les valeurs de porosité des différents niveaux potentiellement aquifères recoupés par les forages. Elles ont enfin permis de définir les paramètres nécessaires au calibrage des suivis haute résolution temporelle et verticale de résistivité proposés par les dispositifs SMD d'ImaGeau.

6. Références

- Archie, G. E., (1942), The Electrical Resistivity Log as an Aid in Determining Some Reservoir Characteristics, *Petroleum Technology*, 54-62,
- Dewandel B., Ladouche B., Caballero Y. (2022) – Synthèse et valorisation des données d'essai par pompage réalisés sur les sites Dem'Mer et Dem'Ter dans le cadre du projet Dem'Eaux Roussillon. Production #22b du projet Dem'Eaux Roussillon. BRGM/RP-71514-FR, 99 p., 72 fig., 3 ann.
- Duvail C., Berné S., Champollion C., Delahaie S., Issautier B., Jacob Th., Laouenan S., Lasseur E., Mauffrey M.-A. (2022) – Corrélation géologique terre-mer. Production #5 du projet Dem'Eaux Roussillon. Rapport BRGM/RP-71769-FR, 78 pp., 32 fig, 2 annexes.
- Hamel, C., (2021), Etudes de mesures en forage pour caractériser le fonctionnement hydrogéologique de l'aquifère Plio-Quaternaire de la Plaine du Roussillon, Rapport de stage de fin de Master II., Université de Montpellier.
- Hunt, B., and Scott, D. (2007). "Flow to a well in a two-aquifer system." *J. Hydrol. Eng.*, 10.1061/(ASCE)1084-0699(2007)12:2(146), 146–155.
- Jackson, N. (1978), *Civil Engineering Materials*, 3rd Edition, Mack Press Ltd, London.
- Kleinberg, R.L., Farooqui, S.A., Horsfield, M.A., (1993), "T1/T2 Ratio and Frequency Dependence of NMR Relaxation in Porous Sedimentary Rocks", *J. Colloid Interface Sci.* 158, 195-198 (1993)
- Raynaud, J.-B. (2022), La plateforme Follow Roussillon, Outil de valorisation et de gestion - Production #27 du projet Dem'Eaux Roussillon, BRGM/RP-71786-FR, 15 p.
- Revil A., Cathles L.M., Losh S., Nunn J.A. (1998), Electrical conductivity in shaly sands with geophysical applications, *Journal of geophysical research*, 13, p 23, 925-23,936.
- Timur-Coates, 1972. Nuclear magnetic resonance study of carbonate rocks. *The Log Analyst* 13(5) pp 3- 11.
- Ward, N.D. and H. Lough. (2011). "Stream depletion from pumping a semiconfined aquifer in a two-layer leaky aquifer system." *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 16, No. 11, 955-959.
- Waxman, M.H. and Smits, L.J.M. (1968) Electrical Conductivities in Oil-Bearing Shaly Sands. *Society of Petroleum Engineers Journal*, 8, 107-122. <http://dx.doi.org/10.2118/1863-A>.

Annexe 1

Autorisation de l'Autorité Environnementale pour la réalisation des travaux



PREFET DE LA REGION OCCITANIE

*Direction régionale de l'Environnement,
de l'Aménagement et du Logement Occitanie*

**Décision de dispense d'étude d'impact après examen au cas par cas en application de l'article R. 122-3 du Code de l'environnement
sur les forages de reconnaissance du projet de recherche Dem'eaux-Roussillon sur le territoire des communes de Pollestres et Canet en Roussillon (66) déposé par le BRGM**

Le préfet de région, en tant qu'autorité administrative compétente en matière d'environnement en application de l'article R.122-6 du Code de l'environnement,

Vu la directive 2011/92/UE du Parlement européen et du Conseil du 13 décembre 2011 codifiée concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement, notamment son annexe III ;

Vu le Code de l'environnement, notamment ses articles L. 122-1, R.122-2 et R. 122-3 ;

Vu l'arrêté de la ministre de l'environnement de l'énergie et de la mer du 12 janvier 2017 relatif au contenu du formulaire d'examen au cas par cas ;

Vu la demande d'examen au cas par cas relative au projet référencé ci-après :

- n°2017-005719,
- **Forages de reconnaissance du projet de recherche Dem'eaux-Roussillon sur le territoire des communes de Pollestres et Canet en Roussillon (66) déposée par le BRGM,**
- **reçue le 27 novembre 2017 et considérée complète le 27 novembre 2017 ;**

Vu l'arrêté du préfet de région Occitanie, en date du 04 janvier 2016, portant délégation de signature au directeur régional de l'environnement, de l'aménagement et du logement ;

Vu l'avis de l'agence régionale de santé en date du 18 décembre 2017 ;

Considérant que le projet relève de la rubrique :

- 27° d) « autres forages en profondeur de plus de 100 mètres », du tableau annexé à l'article R.122-2 du code de l'environnement ;

Considérant la nature du projet :

- qui consiste en un projet de recherche mené en collaboration avec l'État, l'Agence de l'eau Rhône-Méditerranée, la région Occitanie, le conseil départemental des Pyrénées-Orientales, Perpignan Méditerranée Métropole et le BRGM, pour l'acquisition de données géologiques et hydrogéologiques en vue de mieux comprendre le fonctionnement de l'aquifère de la plaine du Roussillon ;

- qui consiste en la réalisation de plusieurs forages de reconnaissance (carottés et rotary) sur deux sites distincts, 5 forages dont 2 de 100 mètres sur le site dit « terre » situé sur la commune de Pollestres et 6 forages dont 5 de 100 mètres et plus sur le site dit « mer » situé sur la commune de Canet-en-Roussillon ;

- constitué d'ouvrages qui ne seront pas exploités pour la ressource en eau mais qui feront l'objet de tests hydrauliques et seront équipés de sondes de mesures pour suivre le comportement hydrodynamique de l'aquifère sur plusieurs années ;

Considérant la localisation du projet :

- sur des parcelles propriété du conseil départemental des Pyrénées-Orientales mises à disposition du BRGM pour le projet ;
- à proximité de la zone Natura 2000 du complexe lagunaire de Canet pour le site « mer » ;

Considérant que les impacts prévisibles du projet sur l'environnement ne devraient pas être significatifs compte tenu :

- que la position des parcelles concernées permet de délimiter une emprise de chantier qui ne nuit pas à la circulation ;
- que les forages sont de faible diamètre ;
- que les techniques de forage requises garantissent la sécurité environnementale du site et tout risque de contamination des eaux souterraines depuis la surface ;
- que les rejets lors des pompages d'essai sont de durée limitée, avec évacuation des eaux (après décantation si besoin) via le réseau pluvial ;
- que les boues de forage sont évacuées vers des centres techniques spécialisés ;
- que pour se prémunir en cas de risque inondation, les forages et les conteneurs servant d'armoire de stockage des données sont fermés de manière étanche ;
- qu'en fin de travaux les ouvrages sont sécurisés ;
- que les margelles de forage dépassent peu du sol (30 cm) ce qui limite leur impact paysager ;
- que l'aspect extérieur des deux conteneurs destinés au stockage des données est adapté pour une meilleure intégration paysagère ;
- de l'absence d'incidence du projet « mer » sur le site Natura 2000 ;

Considérant en conclusion qu'au regard de l'ensemble des éléments fournis à ce stade, le projet n'est pas susceptible d'entraîner des impacts notables sur l'environnement ;

Décide

Article 1^{er}

Le projet de forages de reconnaissance du projet de recherche Dem'eaux Roussillon sur le territoire des communes de Pollestres et Canet en Roussillon (66), objet de la demande n°2017-005719, n'est pas soumis à étude d'impact.

Article 2

La présente décision, délivrée en application de l'article R. 122-3 du Code de l'environnement, ne dispense pas des autorisations administratives auxquelles le projet peut être soumis.

Article 3

La présente décision sera publiée sur le Système d'information du développement durable et de l'environnement (SIDE) : <http://www.side.developpement-durable.gouv.fr>.

Fait à Montpellier, le **22.12.17**
Pour le préfet de région et par délégation,



Frédéric DENTAND
Directeur Adjoint DEC

Annexe 2

Autorisation de travaux de la DDTM66



PRÉFET DES PYRÉNÉES-ORIENTALES

Direction Départementale
des Territoires et de la Mer
Service de l'eau et des risques

Perpignan, le 18 janvier 2018

Unité Police de l'eau et des milieux
aquatiques

Dossier suivi par :
MELIA Hortense

☎ : 04 68 38 10 72
☎ : 04.68.38.10.99
✉ : hortense.melia@pyrenees-orientales.gouv.fr

Monsieur le Directeur,

Dans le cadre de l'instruction de votre dossier de déclaration au titre des articles L. 214-1 à L. 214-6 du code de l'environnement, enregistré sous le numéro **66-2018-00005**, concernant l'opération suivante :

Projet DEM'EAUX-Roussillon - réalisation 10 forages de reconnaissance dans la plaine du Roussillon sur les communes de Pollestres et Canet-en-Roussillon,

j'ai l'honneur de vous informer que je ne compte pas faire opposition à votre déclaration et vous transmets un récépissé de déclaration. Dès lors, **vous pouvez entreprendre cette opération à compter de la réception de ce courrier.**

Le présent courrier ne vous dispense en aucun cas de faire les déclarations ou d'obtenir les autorisations requises par d'autres réglementations.

Copies du récépissé et de ce courrier sont également adressées aux mairies de Pollestres et Canet-en-Roussillon, pour affichage pendant une durée minimale d'un mois et à la Commission Locale de l'Eau (CLE) du SAGE des nappes plio-quaternaires de la plaine du Roussillon, pour information. Ces deux documents seront mis à la disposition du public sur le site internet des services de l'État dans les Pyrénées-Orientales durant une période d'au moins six mois.

Cette décision sera susceptible de recours contentieux devant le tribunal administratif territorialement compétent, conformément à l'article R. 514-3-1 du code de l'environnement, par les tiers dans un délai de quatre mois à compter du premier jour de la publication ou de l'affichage de ces décisions et par le déclarant dans un délai de deux mois à compter de la date à laquelle la décision lui a été notifiée.

...

Monsieur le Directeur du Bureau
de recherches géologiques et minières (BRGM)
3, Avenue Claude Guillemin
45060 ORLÉANS cédex 2

Téléphone / Télécopie :

Adresse Postale : 2 rue Jean Richepin - BP 50909 - 66020 PERPIGNAN CEDEX
+33 (0)4.68.38.12.34 / +33 (0)4.68.38.11.29
horaires d'ouverture : 8h00-12h00 - 13h30-17h00

Renseignements :

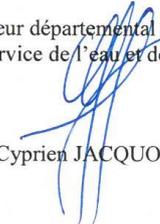
Internet : www.pyrenees-orientales.gouv.fr
Comunicat : dtdm.pyrenees-orientales.gouv.fr

La mise en service de l'installation, la construction des ouvrages, l'exécution des travaux, et l'exercice de l'activité, objets de votre déclaration, doivent intervenir dans un délai de 3 ans à compter de la date du récépissé. À défaut, en application de l'article R. 214-40-3 du code de l'environnement, sauf cas de force majeure ou demande justifiée et acceptée de prorogation de délai, votre déclaration sera caduque.

Mon service se tient à votre disposition pour toute information complémentaire.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, l'expression de ma considération distinguée.

Pour le Directeur départemental des territoires et de la mer
Le Chef du Service de l'eau et des risques par interim


Cyprien JACQUOT

Les informations recueillies font l'objet d'un traitement informatique destiné à l'instruction de votre dossier par les agents chargés de la police de l'eau en application du code de l'environnement. Conformément à la loi « informatique et liberté » du 6 janvier 1978, vous bénéficiez d'un droit d'accès et de rectification des informations qui vous concernent. Si vous désirez exercer ce droit et obtenir une communication des informations vous concernant, veuillez adresser un courrier au guichet unique de police de l'eau où vous avez déposé votre dossier.

Téléphone / Télécopie :

Adresse Postale : 2 rue Jean Richepin - BP 50909 - 66020 PERPIGNAN CEDEX
+33 (0)4.68.38.12.34 / +33 (0)4.68.38.11.29
Boîtes d'envoie : 8109-1700 - 13150-1700

Renseignements :

Internet : www.pyrenees-orientales.gouv.fr
Comunic@bureau.pyrenees-orientales.gouv.fr

Annexe 3

Autorisation de l'Autorité Environnementale pour la réalisation des travaux de reprise DM5



Direction régionale de l'environnement,
de l'aménagement et du logement

Décision de dispense d'étude d'impact après examen au cas par cas en application de l'article R. 122-3-1 du code de l'environnement

Le préfet de région, en tant qu'autorité en charge de l'examen au cas par cas en application de l'article R. 122-3 du code de l'environnement,

- Vu la directive 2011/92/UE du Parlement européen et du Conseil du 13 décembre 2011 codifiée concernant l'évaluation des incidences de certains projets publics et privés sur l'environnement, notamment son annexe III ;
- Vu la directive 2014/52/UE du 16 avril 2014 modifiant la directive 2011/92/UE du Parlement européen et du Conseil du 13 décembre 2011 ;
- Vu le code de l'environnement, notamment ses articles L. 122-1, R. 122-2 et R. 122-3 ;
- Vu l'arrêté de la ministre de l'environnement de l'énergie et de la mer du 12 janvier 2017 fixant le modèle de formulaire de la demande d'examen au cas par cas en application de l'article R. 122-2 du code de l'environnement ;
- Vu l'arrêté du préfet de région Occitanie, en date du 15 mars 2021, portant délégation de signature au directeur régional de l'environnement, de l'aménagement et du logement ;
- Vu la demande d'examen au cas par cas relative au projet référencé ci-après :
 - n°2021-009840,
 - Réalisation d'un forage de reconnaissance « DM5bis » pour le projet de recherche Demeaux-Roussillon sur le territoire de la commune de Canet-en-Roussillon (Pyrénées-Orientales),
 - déposée par l'EPIC BRGM,
 - reçue et considérée complète le 07 octobre 2021 ;

Considérant la nature du projet qui :

- consiste en la réalisation d'un forage de reconnaissance « DM5bis », d'une profondeur de 300 mètres, dans le cadre du projet de recherche Demeaux-Roussillon, qui a pour objectif l'acquisition de données géologiques et hydrogéologiques en vue de mieux comprendre le fonctionnement de l'aquifère de la plaine du Roussillon et ayant fait l'objet d'une décision de dispense d'étude d'impact après examen au cas par cas le 22 décembre 2017 ;

- vient en substitution du forage « DM5 », présentant une malfaçon, situé sur le site dit « Mer » où six forages ont été réalisés, l'un carotté puis rebouché « DM0 » et les cinq autres transformés en piézomètres « DM1 », « DM2 », « DM3 », « DM4 » et « DM5 » ;

- relève de la rubrique n° 27 d) « autres forages en profondeur de plus de 100 mètres, à l'exclusion des forages géothermiques de minime importance au sens de l'article L. 112-3 du code minier » du tableau annexé à l'article R. 122-2 du code de l'environnement ;

Considérant la localisation du projet :

- sur la parcelle cadastrée AV72 de la commune de Canet-en-Roussillon, propriété du conseil départemental des Pyrénées-Orientales mise à disposition du BRGM ;
- en dehors des périmètres de protection d'un captage d'eau potable ;
- à proximité de la zone Natura 2000 du complexe lagunaire de Canet ;

Considérant que les impacts prévisibles du projet sur l'environnement ne devraient pas être significatifs compte tenu que :

- le forage sera situé entre les forages « DM5 » et « DM4 » au sein du site dit « Mer » et que la position de la parcelle concernée permet de délimiter une emprise de chantier qui ne nuit pas à la circulation ;
- le forage est de faible diamètre ;
- la réalisation du forage selon la technique de « rotary boue » garantit la sécurité environnementale du site et tout risque de contamination des eaux souterraines depuis la surface ;
- les rejets lors des essais de pompage sont de durée limitée avec évacuation, après décantation si besoin, via le réseau pluvial ;
- les déblais de forage sont évacués par des sociétés spécialisées ;
- pour se prémunir en cas de risque inondation, la tête de forage sera rendue étanche ;
- en fin de travaux le forage est sécurisé ;
- le forage ne sera pas exploité pour la ressource en eau ;
- projet n'a aucune incidence sur le site Natura 2000 ;
- le forage « DM5 » est obturé dans les règles de l'art ;

Considérant en conclusion qu'au regard de l'ensemble de ces éléments, le projet n'est pas susceptible d'entraîner des impacts notables sur l'environnement ;

Décide

Article 1^{er}

Le projet de réalisation d'un forage de reconnaissance « DM5bis » pour le projet de recherche Dem-eaux-Roussillon sur le territoire de la commune de Canet-en-Roussillon (Pyrénées-Orientales), objet de la demande n°2021-009840, n'est pas soumis à étude d'impact.

Article 2

La présente décision, délivrée en application de l'article R. 122-3-1 du code de l'environnement, ne dispense pas des autorisations administratives auxquelles le projet peut être soumis.

Article 3

La présente décision sera publiée sur le système d'information du développement durable et de l'environnement (SIDE) : <http://www.side.developpement-durable.gouv.fr>.

Fait à Montpellier, le 22 octobre 2021

Pour le préfet de région et par délégation,
Le chef de la division autorité environnementale Est

Signature
numérique de
Jean-Marie
LAFOND jean-
marie.lafond
Date :
2021.10.22
13:43:48
+02'00'

Voies et délais de recours

La présente décision peut faire l'objet d'un recours gracieux formé dans un délai de deux mois à compter de sa mise en ligne sur internet.

Le recours gracieux doit être adressé à :
Monsieur le préfet de région
DREAL Occitanie
1 rue de la Cité administrative Bât G
CS 80002 - 31074 Toulouse Cedex 9

Annexe 4

Convention Conseil Départemental des Pyrénées Orientales / BRGM



CONVENTION DE MISE A DISPOSITION A TITRE GRATUIT DE PARCELLES DEPENDANTES DU DOMAINE PRIVE DEPARTEMENTAL

Réf BRGM : SG/JAC/JUR n°2017/191

Entre les soussignés :

Le **Conseil Départemental des Pyrénées-Orientales**, situé 24, quai Sadi Carnot 66009 - Perpignan Cedex, représenté par sa Présidente, Madame Hermeline MALHERBE, ou son représentant, agissant en vertu de la délibération N°59 de la Commission Permanente du 28 juillet 2014.

Ci-après dénommé le « CD66 »

d'une part,

Et :

Le **BRGM** (Bureau de Recherches Géologiques et Minières), établissement public à caractère industriel et commercial, immatriculé au Registre du Commerce et des Sociétés d'Orléans sous le numéro 582 056 149, dont le siège est situé 3, avenue Claude Guillemin, BP 36009, 45060 Orléans Cedex 02 (SIRET 582 056 149 00120), représenté par Monsieur Didier CAMUT, secrétaire général, ayant tous pouvoirs aux fins des présentes,

Ci-après dénommé le « BRGM »,

d'autre part,

Préambule

Le BRGM souhaite, dans le cadre du projet de recherche DEMEAUX-Roussillon, mené en collaboration avec L'agence de l'eau Rhône-Méditerranée-Corse, l'Etat, la Région Occitanie, le Conseil Départemental des Pyrénées-Orientales, la communauté urbaine de Perpignan Méditerranée et le syndicat Mixte de la Plaine du Roussillon, réaliser plusieurs forages de reconnaissance pour réaliser diverses expériences sur deux sites distincts dit « Terre » à Pollestres (66450) et « Mer » à Canet-en-Roussillon (66140) en bordure de la commune de Saint-Cyprien.

Le Département est propriétaire des parcelles suivantes :

- la parcelle AO 367 à Pollestres,
- la parcelle AV 72 à Canet-en-Roussillon

qui correspondent aux attentes du BRGM pour réaliser son projet de recherche.

Ceci exposé il est convenu ce qui suit.



ARTICLE 1 – Objet de la convention

La présente convention fixe les conditions dans lesquelles le Conseil Départemental (**CD66**) met à disposition du **BRGM** une partie des parcelles cadastrées AO 367 (commune de Pollestres) et AV72 (commune de Canet-en-Roussillon), selon les implantations de forages jointes en annexe (cf plans joints) afin de lui permettre d'assurer les missions suivantes :

- disposer d'une coupe géologique de détail à l'aide d'un forage carotté par site et des caractéristiques hydrauliques des différents niveaux aquifères à l'aide d'essai réalisés dans les forages conçus en flûte de pan sur chacun des deux sites « terre » et « mer » ;
- suivre les caractéristiques hydrogéologiques des différents ouvrages durant le projet dont la durée est estimée à 40 mois à compter du 9 décembre 2016. Ce suivi sera réalisé par des sondes automatiques télétransmises et par passage, au besoin, de techniciens spécialistes des matériels.

ARTICLE 2 – Désignation des parcelles

Le **CD66** met à disposition du **BRGM** l'emprise totale des parcelles identifiées (parcelle AO 367 à Pollestres et parcelle AV 72 à Canet-en-Roussillon) durant la phase travaux puis l'emprise des margelles des ouvrages (environ 1m par 1m par forage) en phase de suivi post-travaux pour l'acquisition des données.

Un plan de situation est joint en annexe de la présente convention.

ARTICLE 3 – Destination des terrains

Le **CD66** met à disposition le terrain susvisé pour une activité d'étude de nappe.

Le **BRGM** devra jouir paisiblement des lieux, respecter les textes et réglementations en vigueur et utiliser les terrains pour un usage strictement lié à son activité.

ARTICLE 4 – Etat des lieux

Lors de la prise de possession de la parcelle, il sera dressé contradictoirement un état des lieux établi en double exemplaire, dont un sera destiné à chacune des parties. A défaut les lieux seront considérés en bon état.

A la fin de la période de chantier relative à la réalisation des ouvrages, le **BRGM** fournira au **CD66** le rapport d'exécution des ouvrages et sur cette base, il sera dressé contradictoirement, pour chaque site, un état des lieux, en double exemplaire, dont un sera destiné à chacune des parties. A défaut les lieux seront considérés en bon état.

Au jour du terme de la présente convention, il sera dressé contradictoirement un état des lieux établi en double exemplaire, dont un sera destiné à chacune des parties. A défaut les lieux seront considérés restitués en bon état.

ARTICLE 5 – Date- Durée- Congé et résiliation

La présente convention prend effet à compter du début des travaux, fixé au plus tôt au 1^{er} novembre 2017.

Elle est conclue pour une durée de un an.

Elle se renouvellera par tacite reconduction annuelle sans pouvoir cependant se prolonger au-delà de 9 ans.

Les parties auront la possibilité de mettre fin à tout moment à la présente convention avec un préavis de un mois, adressé par lettre recommandée avec accusé de réception.



ARTICLE 6 – Cession- sous location

Le **BRGM** ne pourra en aucun cas sous louer ou céder son contrat sans le consentement exprès et par écrit du Département.

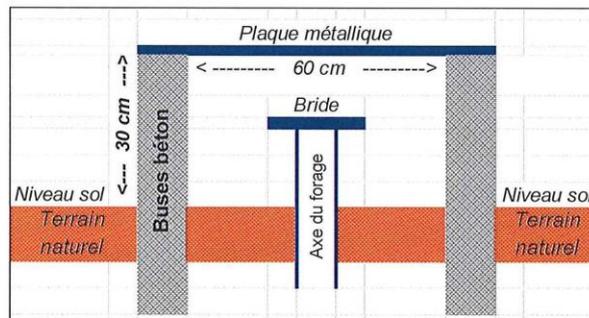
ARTICLE 7 – Conditions d'occupation

Avant d'engager la phase travaux forage, le **BRGM** s'engage à obtenir de chacune des communes de Pollestres, Canet-en-Roussillon et Saint-Cyprien un avis sur ce projet de travaux qui se déroule sur leur territoire respectif ou à proximité immédiate (cas particulier de Saint-Cyprien).

Le BRGM est autorisé à occuper l'emprise susvisée (Cf. article 2) aux conditions suivantes :

7.1 Site « Terre » à Pollestres :

- Autorisation de réaliser un chantier de forage avec réalisation d'un forage carotté d'une profondeur d'environ 100m puis de quatre forages rotary en flute de pan d'une profondeur d'environ 25 m, 50 m, 75 m et 100 m, de diamètre 180 mm maximum ;
- Sécurisation des têtes de forage par des margelles hors sol. Ces margelles seront constituées de buses béton dépassant d'environ 30 cm du sol. Ces buses seront fermées par des capots métalliques cadencés, avec joint d'étanchéité pour éviter toute infiltration directe (Cf. schéma ci-après) ;



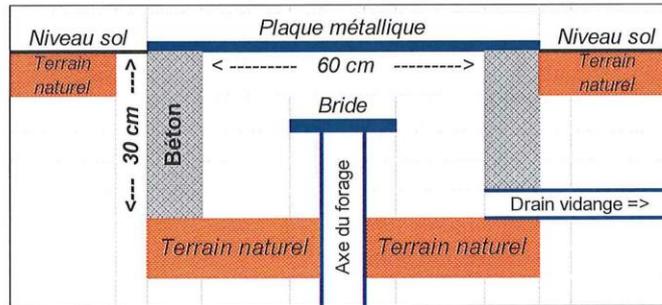
- Obligation pour le **BRGM** d'entretenir lesdits ouvrages et de s'assurer de leurs mises en sécurité au terme de la convention.

7.2 Site « Mer » à Canet-en-Roussillon :

- Autorisation de réaliser un chantier de forage avec réalisation d'un forage carotté d'une profondeur d'environ 250 m puis de cinq forages rotary en flute de pan d'une profondeur d'environ 50 m, 100 m, 150 m, 200 m et 250 m, de diamètre 180 mm maximum ;
- Sécurisation des têtes de forage par des margelles enterrées. Ces margelles seront constituées de buses béton ne dépassant pas du sol.



Ces buses seront fermées par des capots métalliques cadenassés, avec joint d'étanchéité pour éviter toute infiltration directe (Cf. schéma ci-après) ;



- Obligation pour le **BRGM** d'entretenir lesdits ouvrages et de s'assurer de leurs mises en sécurité au terme de la convention

Pour chacun de ces deux sites, pendant les travaux ou les interventions, l'entreprise de forage mandatée par le BRGM s'engage à prendre toutes les précautions usuelles nécessaires en matière de balisage de l'aire de travail (par des grilles amovibles de 2 x 3 m sur plots, qui seront fermées par des cadenas) et de signalétique de chantier (entrée interdite, port du casque, consignes de sécurité...).

Le BRGM s'engage à ce que le chantier n'occasionne pas de désordre pour la circulation et pour les riverains. Une signalétique spécifique sera mise en place à proximité du chantier pour fournir au public des informations sur le chantier en cours. En outre une note d'information aux riverains de la commune de Saint-Cyprien directement impactés par le chantier sera éditée et transmises aux intéressés.

Le CD66 confère au BRGM, à ses préposés et sous-traitants, pendant toute la durée de la présente convention, un droit d'accès aux biens occupés.

ARTICLE 8 – Conditions financières

La présente convention est consentie à titre gratuit.

Le CD66 ne percevra aucune redevance de la part du BRGM

ARTICLE 9 – Modifications

Toute modification de la présente convention fera l'objet d'un avenant conclu entre les parties.

ARTICLE 10 – Assurances

Le **BRGM** fournira une police d'assurance pour garantir les risques qui lui incombent eu égard à la destination du bien concerné.

Le **CD66** ne pourra en aucun cas être considéré comme responsable des faits survenus sur la parcelle. Sa responsabilité ne pourra être recherchée pour les vols ou dégradations éventuelles.



ARTICLE 11 – COMMUNICATION

Toute communication entre le CD66 et le BRGM sur l'exécution de la présente convention se fera aux adresses suivantes :

<p>Pour le BRGM:</p> <p>BRGM OCCITANIE</p> <p>1039, rue de Pinville, 34000, Montpellier – France</p> <p>Tel : 04.67.15.79.89</p>	<p>Pour le CD66 :</p> <p>Conseil Départemental des Pyrénées-Orientales</p> <p>24, quai Sadi Carnot 66009 - Perpignan Cedex</p> <p>Tel : 04 68 85 85 85</p>
--	--

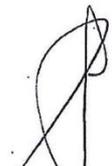
ARTICLE 12 – Régime juridique

Les litiges susceptibles d'apparaître entre les parties et afférents à cette convention seront soumis au Tribunal Administratif de Montpellier.

FAIT en deux exemplaires à **PERPIGNAN**

le **21 NOV 2017**
P/LA PRESIDENTE DU CD66
ET PAR DELEGATION
LE DIRECTEUR GENERAL DES
SERVICES

LE SECRETAIRE GENERAL
DU BRGM


Jérémie LE-FOUILLER


Didier CAMUT

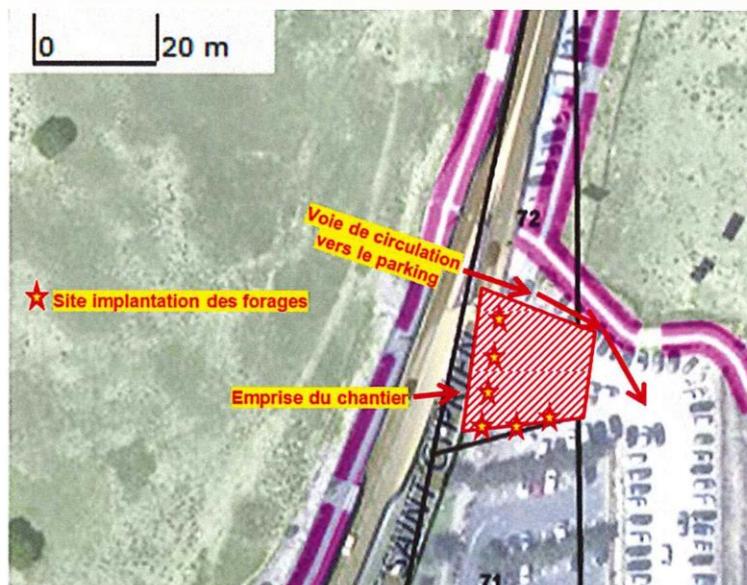
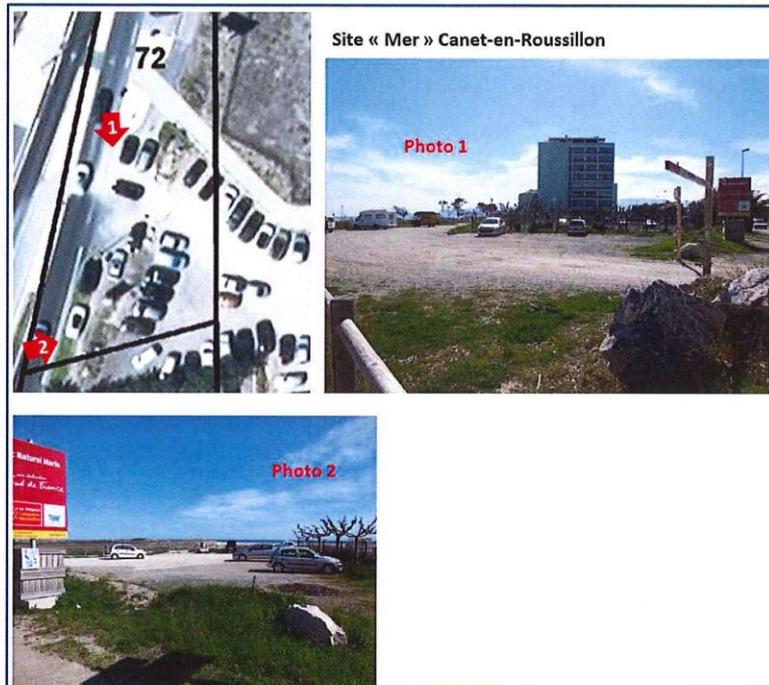
PRÉFECTURE
PYRÉNÉES ORIENTALES
22 NOV. 2017
COURRIER



Annexe à la convention CD66 / BRGM

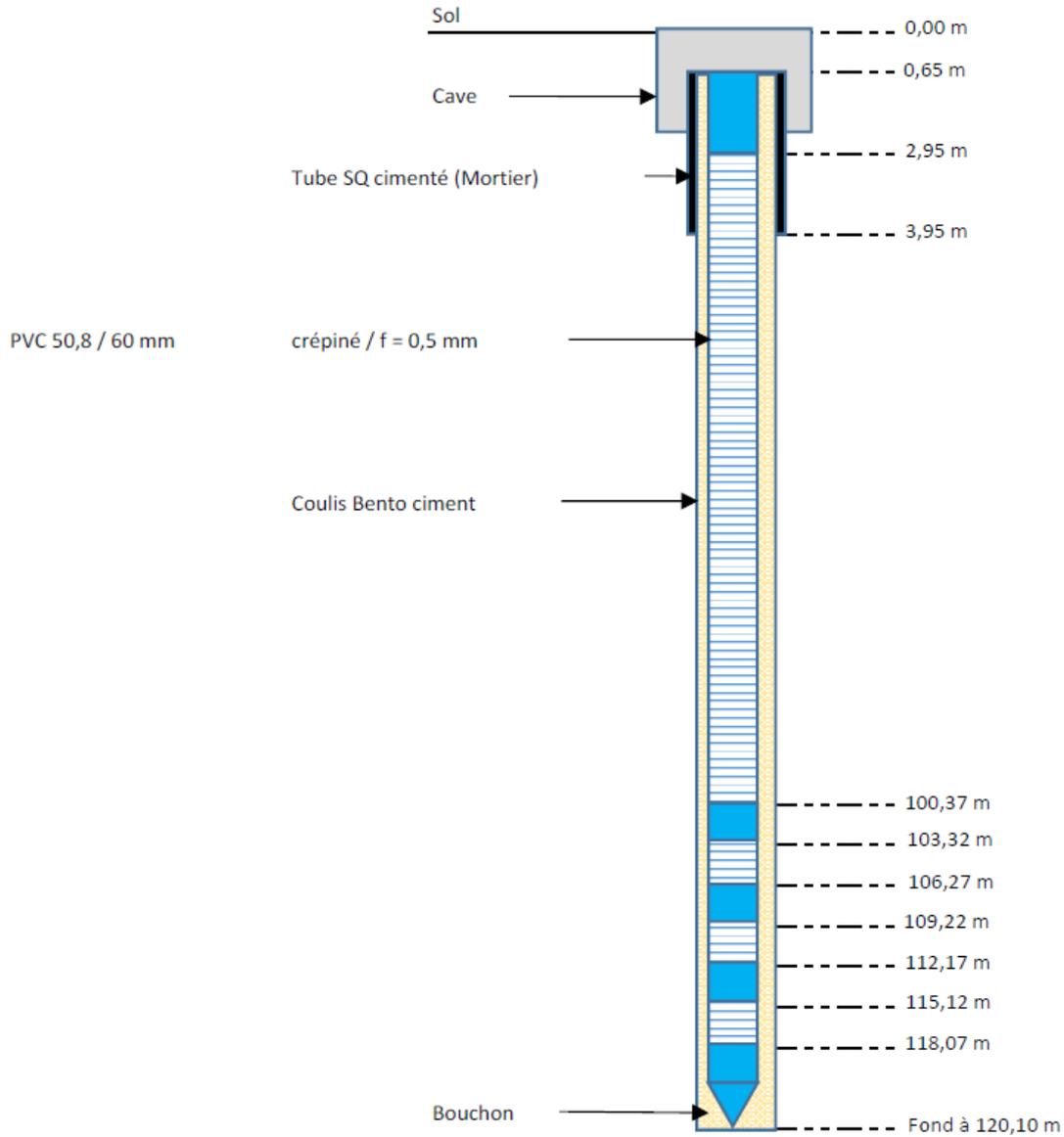
Plans des sites



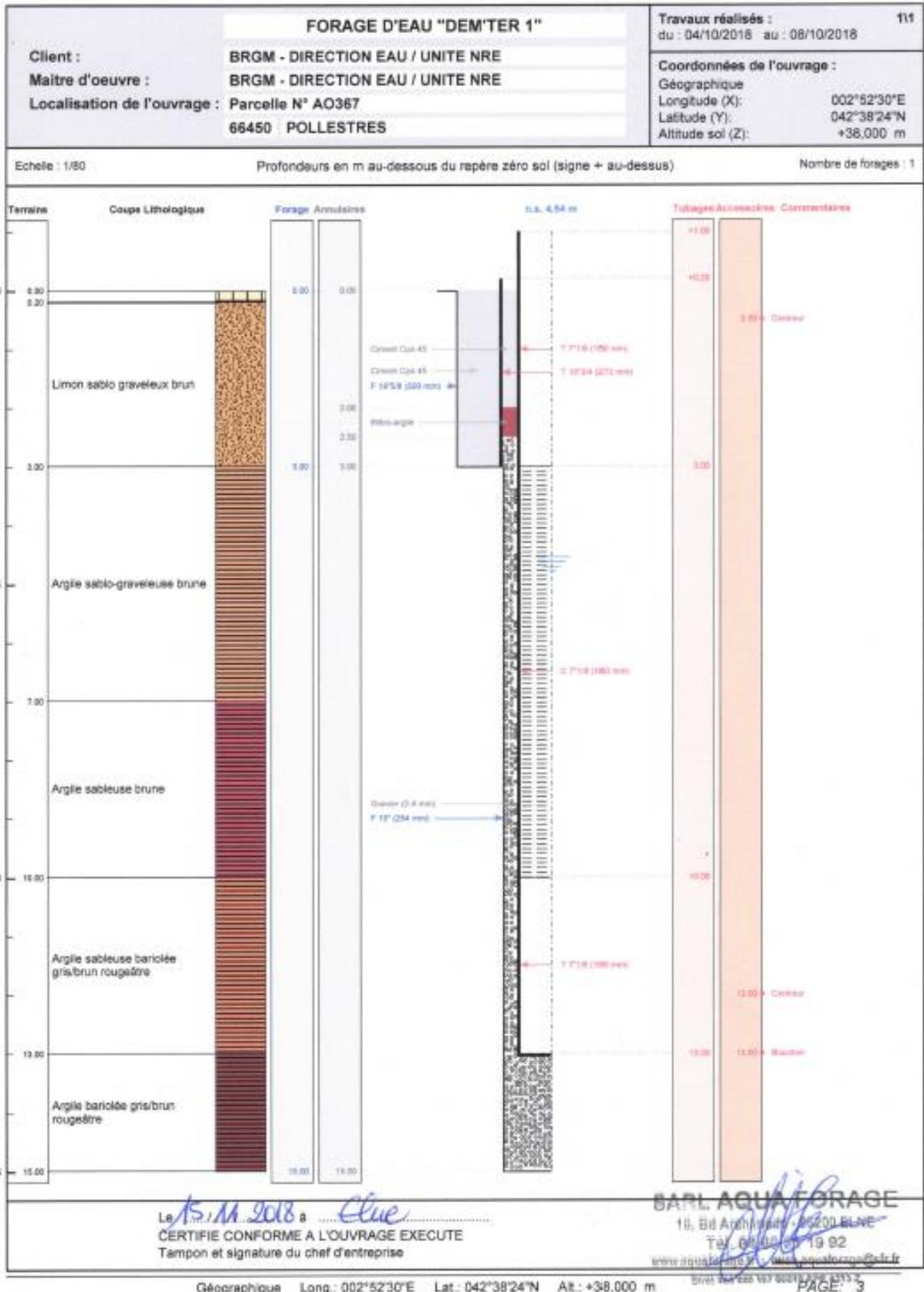


Annexe 5 Coupes techniques de tous les ouvrages

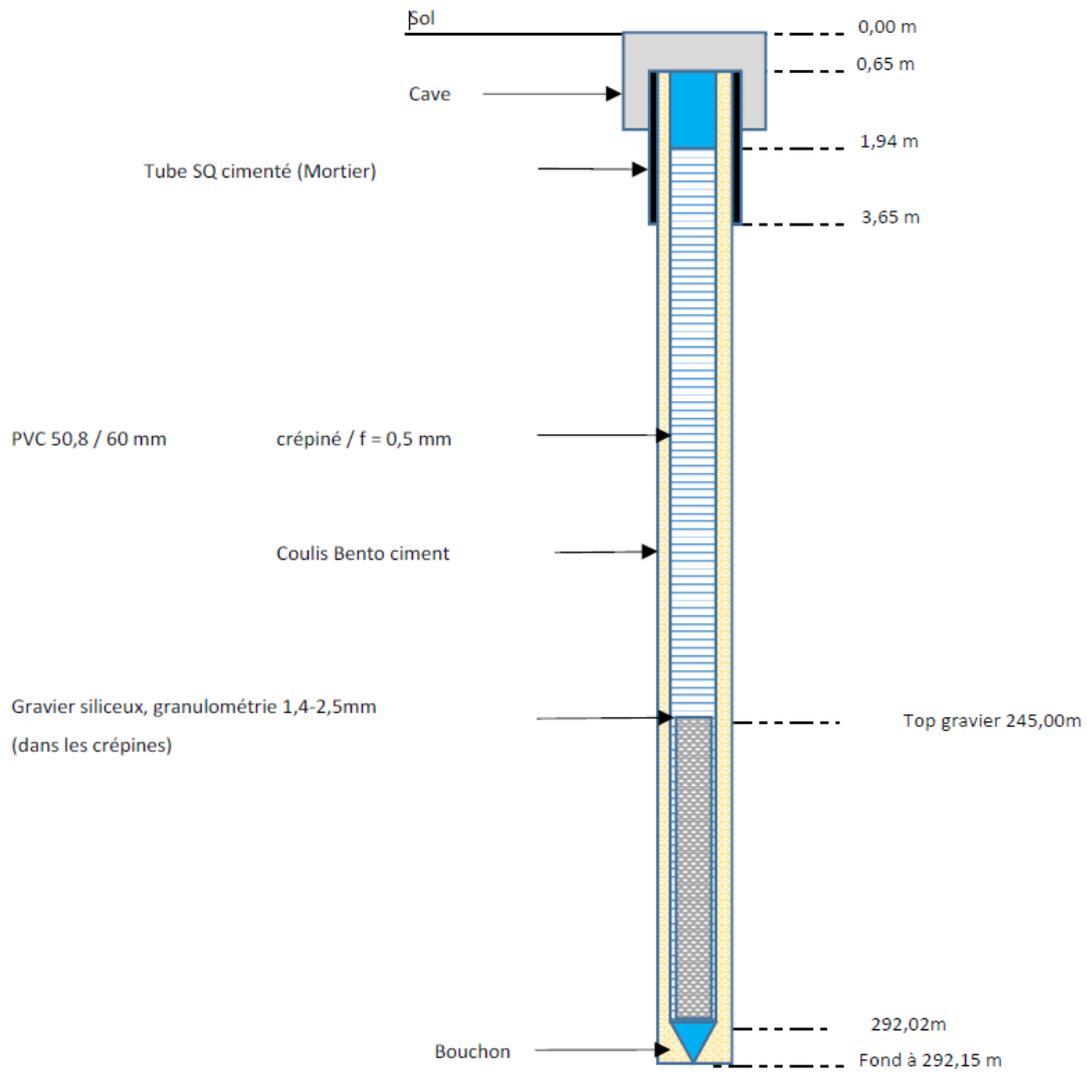
Coupe technique des forages : Dem'Ter0



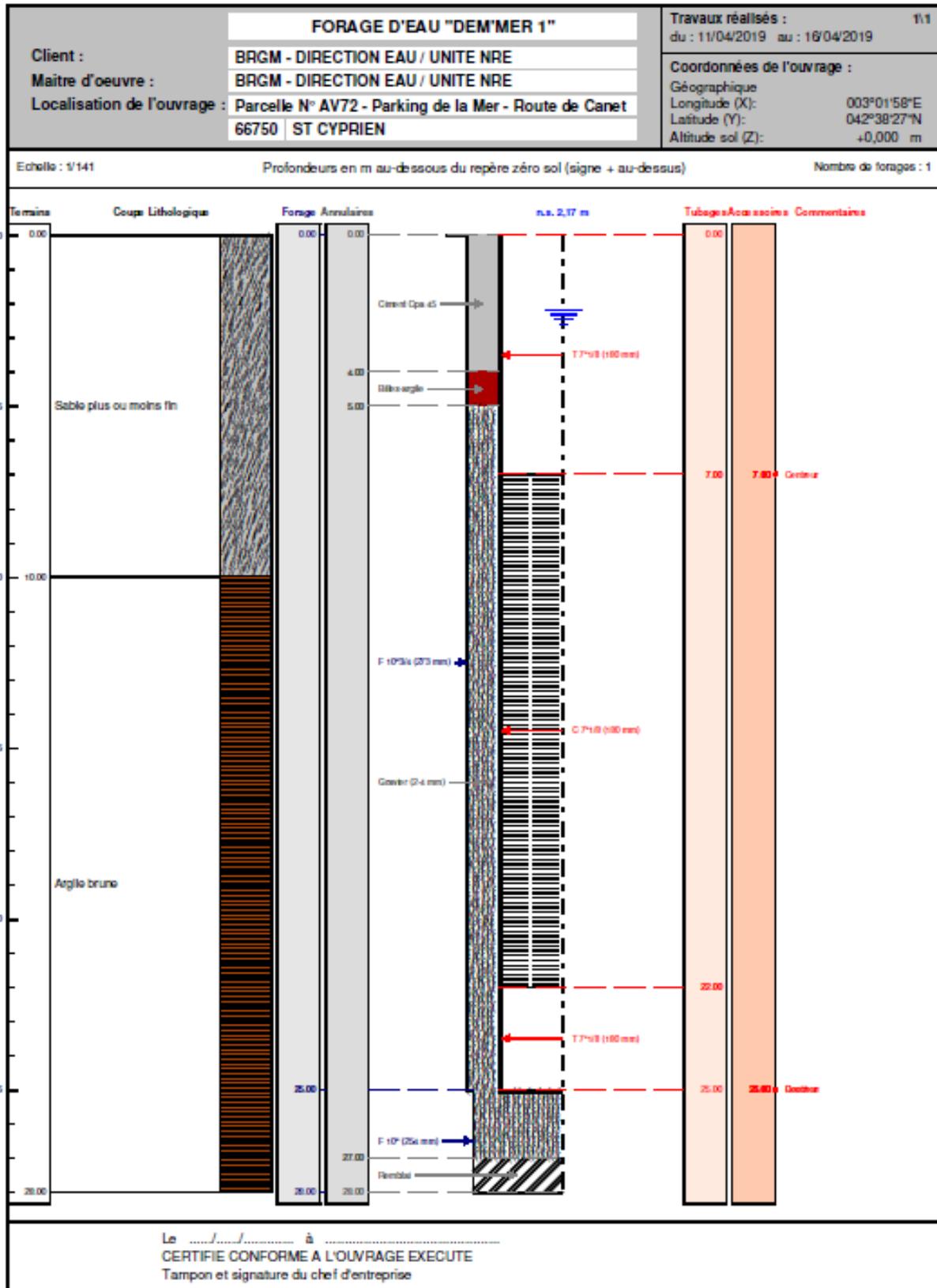
Coupe technique des forages : Dem'Ter1



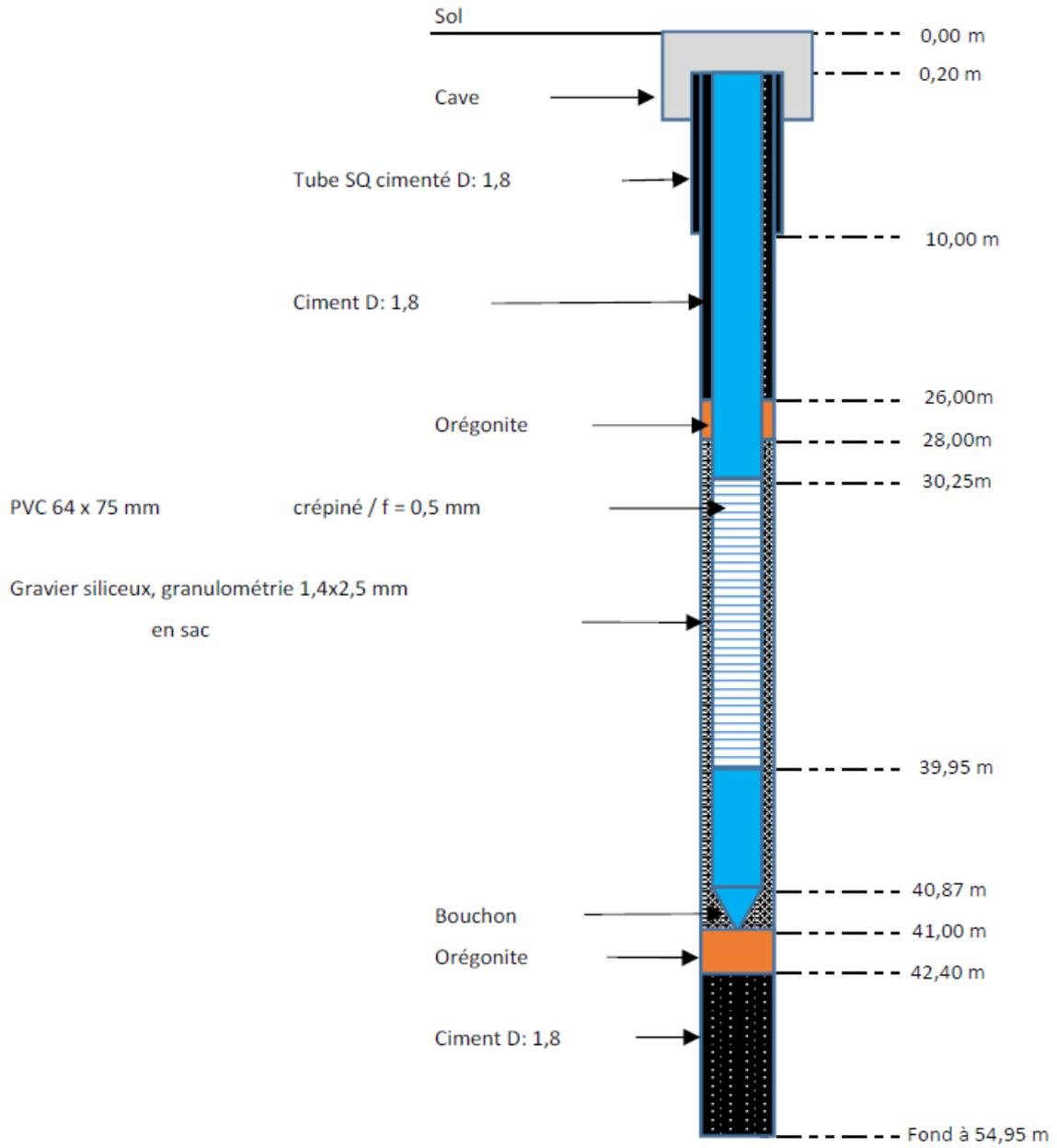
Coupe technique des forages : Dem'Mer0



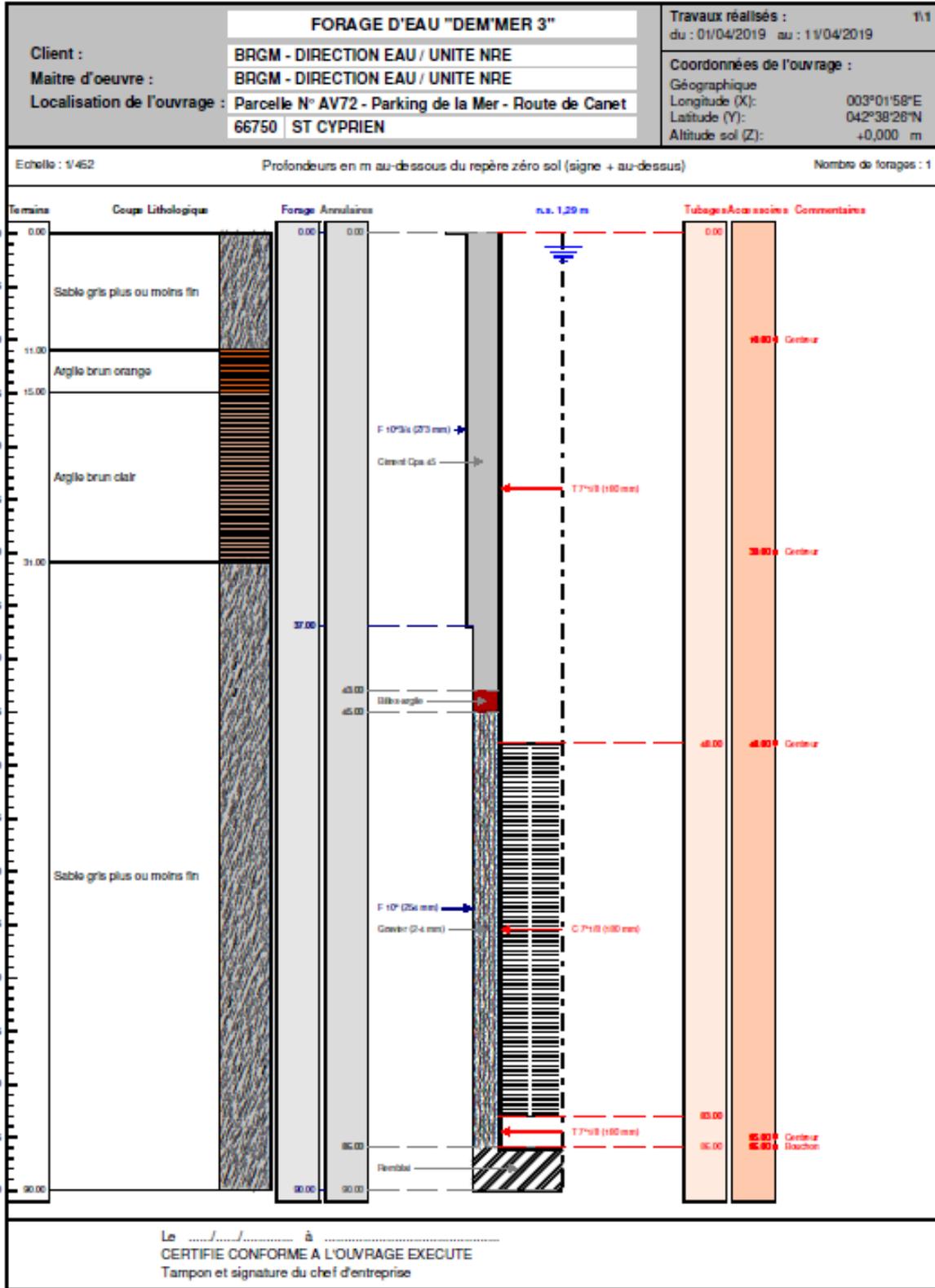
Coupe technique des forages : Dem'Mer1



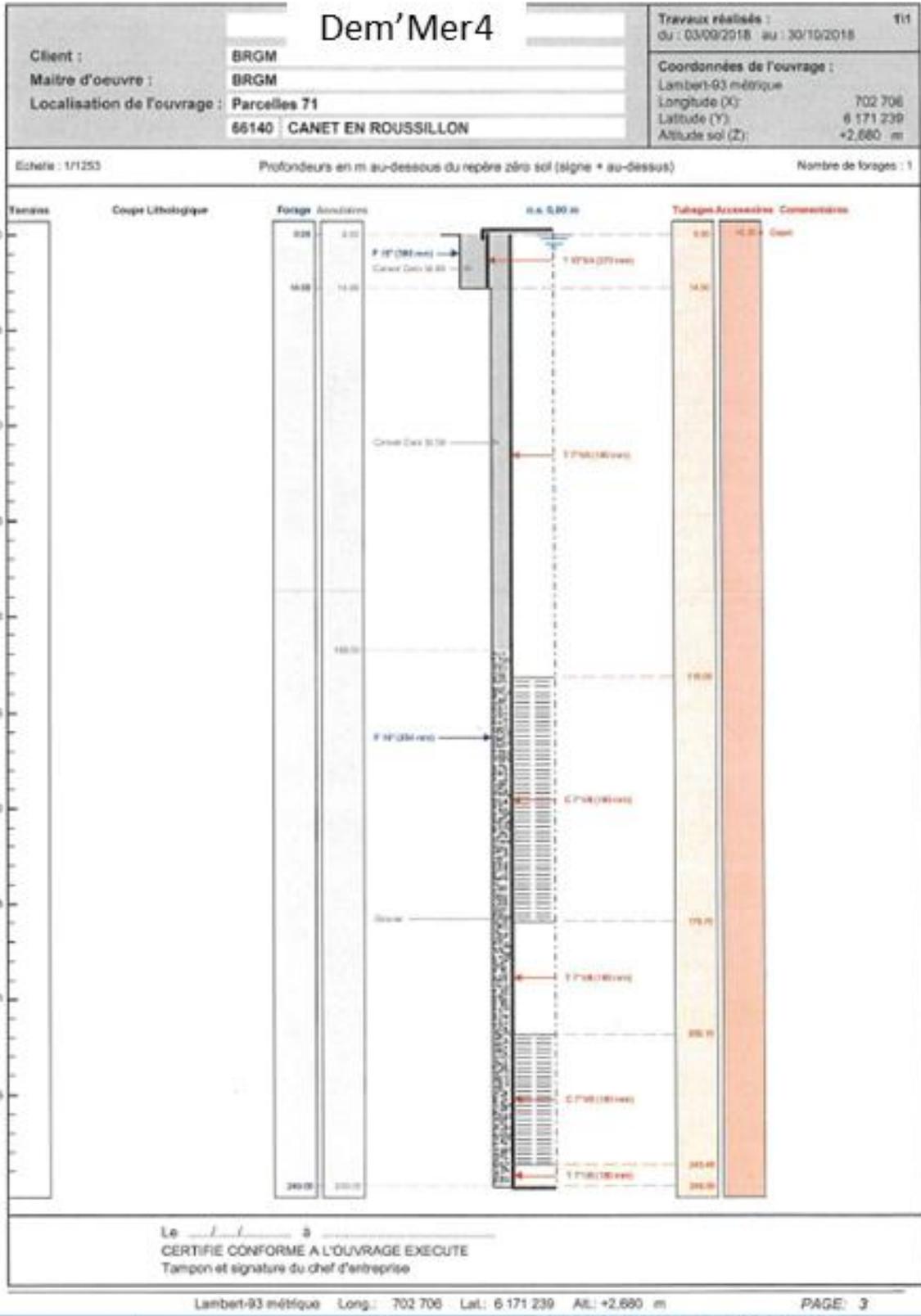
Coupe technique des forages : Dem'Mer2



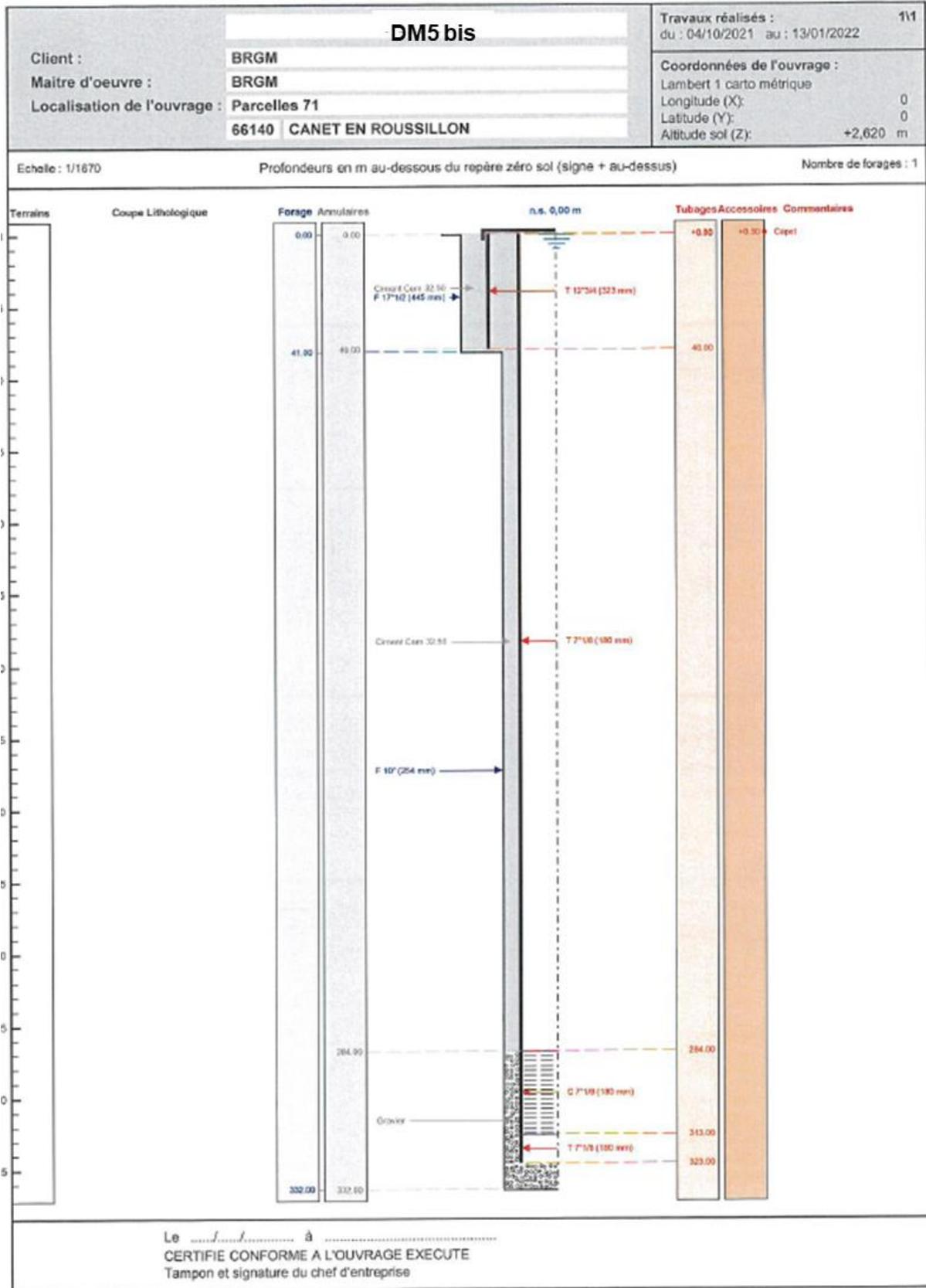
Coupe technique des forages : Dem'Mer3



Coupe technique des forages : Dem'Mer4



Coupe technique des forages : Dem'Mer5



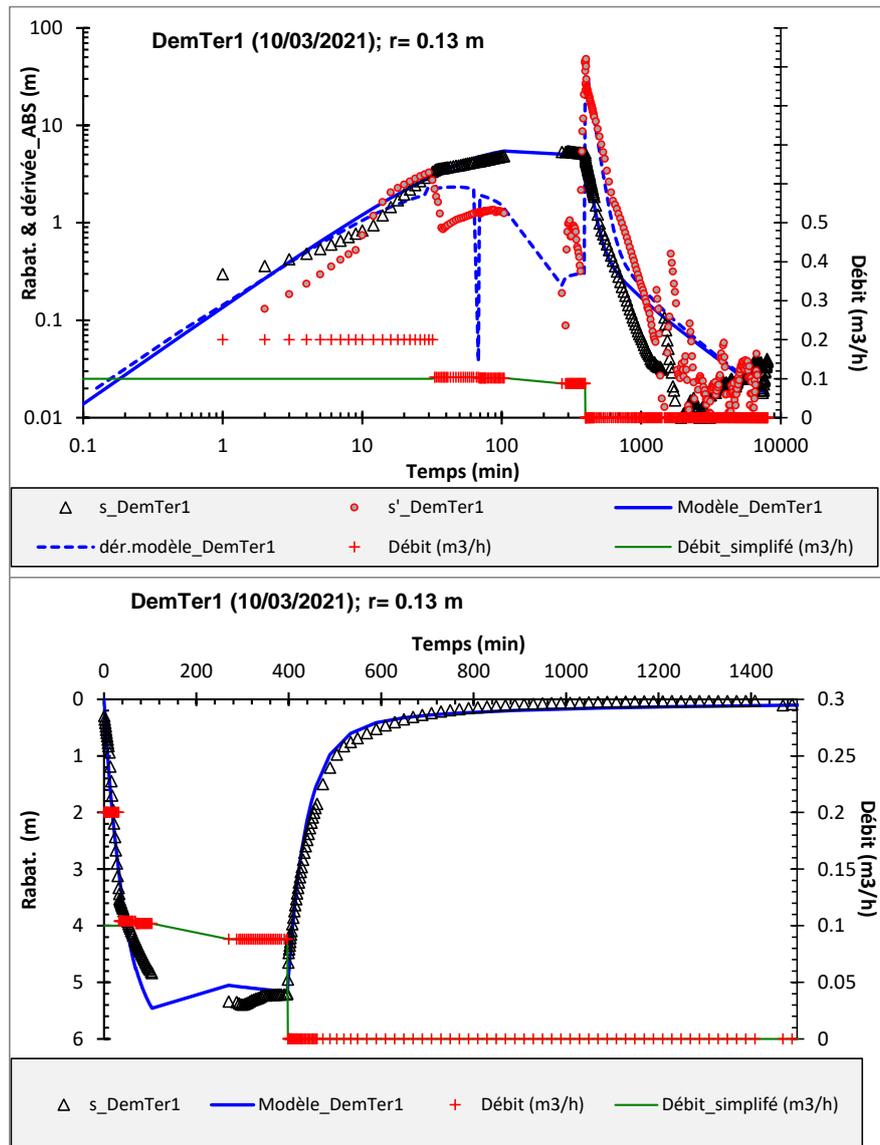
Annexe 6

Modélisation des essais par pompage

Symbole	Description	unité
r	distance au puits de pompage	m
T	Transmissivité de l'aquifère pompé	m ² /s
S	Emmagasinement de l'aquifère pompé	-
k'	Perméabilité de l'éponte semi-perméable entre l'aquifère pompé et l'aquifère de surface	m/s
b'	Epaisseur de l'éponte semi-perméable entre l'aquifère pompé et l'aquifère de surface	m
T0	Transmissivité de l'aquifère de surface	m ² /s
Sy	Emmagasinement de l'aquifère de surface	-
k''	Perméabilité du lit du cours d'eau	m/s
b''	Epaisseur du lit du cours d'eau	m
C	distance entre le puits de pompage et le cours d'eau	m
λ	facteur d'échange nappe-rivière	
Dist.lim	Distance entre le puits de pompage et la limite étanche	min ou m
kh/kz	Anisotropie verticale de perméabilité de l'aquifère pompé	-
B	Epaisseur de l'aquifère pompé	m
l	Hauteur de la crépine dans l'aquifère pompé	m
d	Distance entre le haut de la crépine et le toit de l'aquifère pompé	m
PDC	pertes de charge quadratiques	m ⁻⁵ s ²
Rc	Effet de capacité du puits de pompage	m

Liste des symboles

Site Dem'Ter :



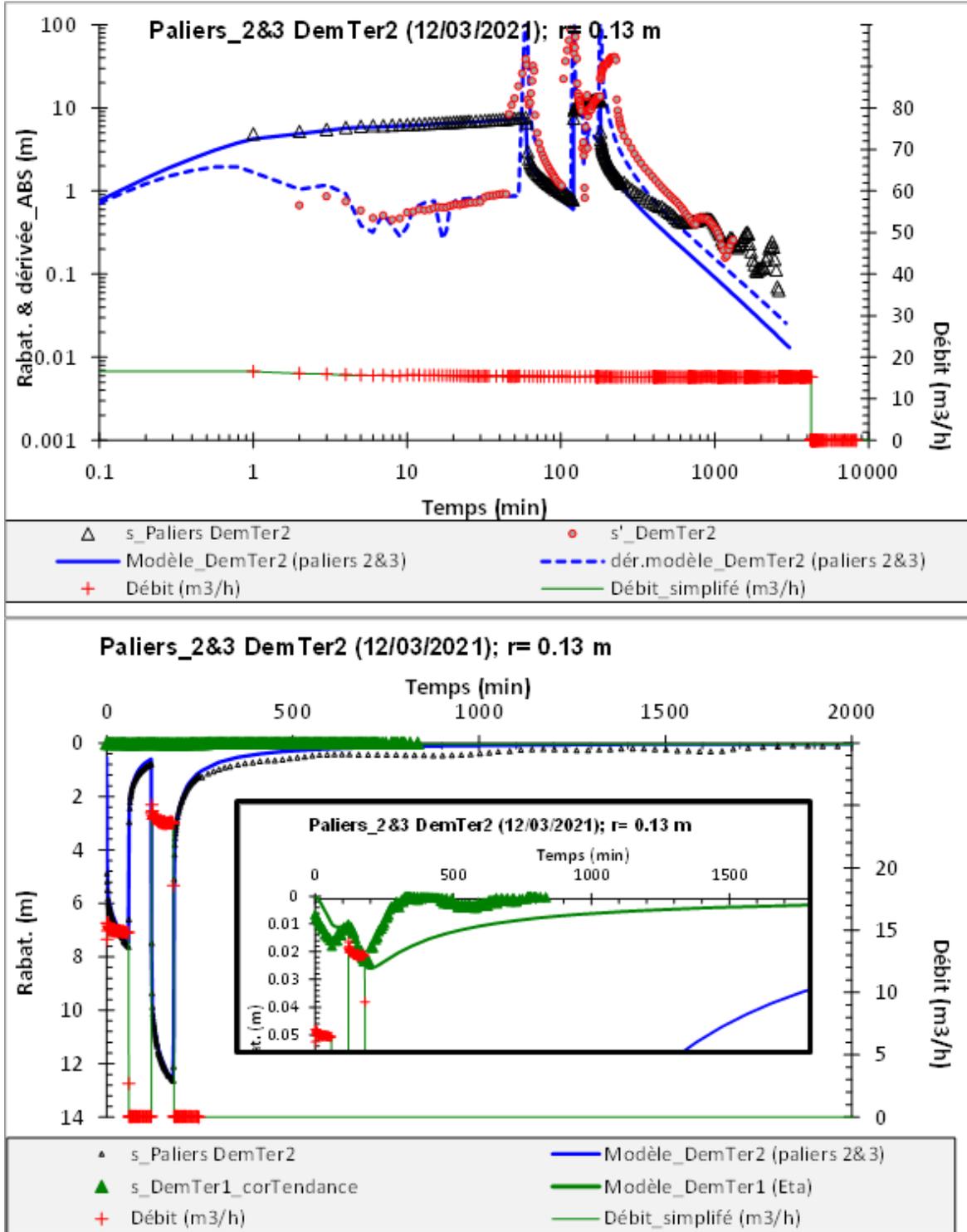
Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Dem'Ter1 (10/03/2021), puits de pompage Dem'Ter1.

Grphe du haut : représentation Log-Log, graphe du bas : représentation arithmétique. Modèle : aquifère homogène.

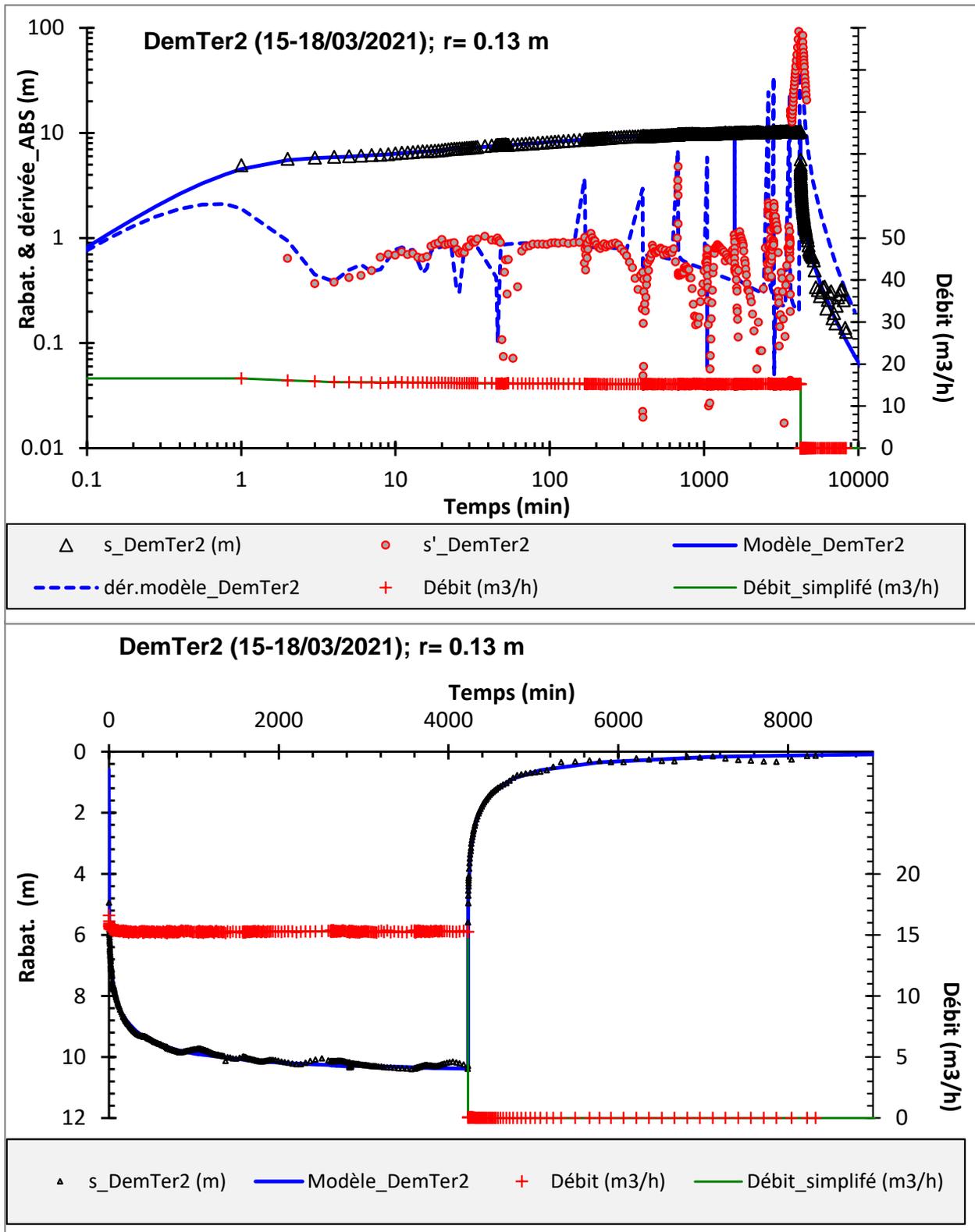
	DemTer1 (10/03/2021)
r (m)	0.13
T (m2/s)	6.00E-06
S* (-)	8.00E-03
PDC (m-5s2)	4400000000
Rc (m)	0.062

Paramètres hydrodynamiques : essai réalisé sur le forage Dem'Mer1 (10/03/2021). Modèle : aquifère homogène.

*Ici, l'emmagasinement n'a pas pu être évalué de façon fiable faute de suivi sur un piézomètre d'observation.

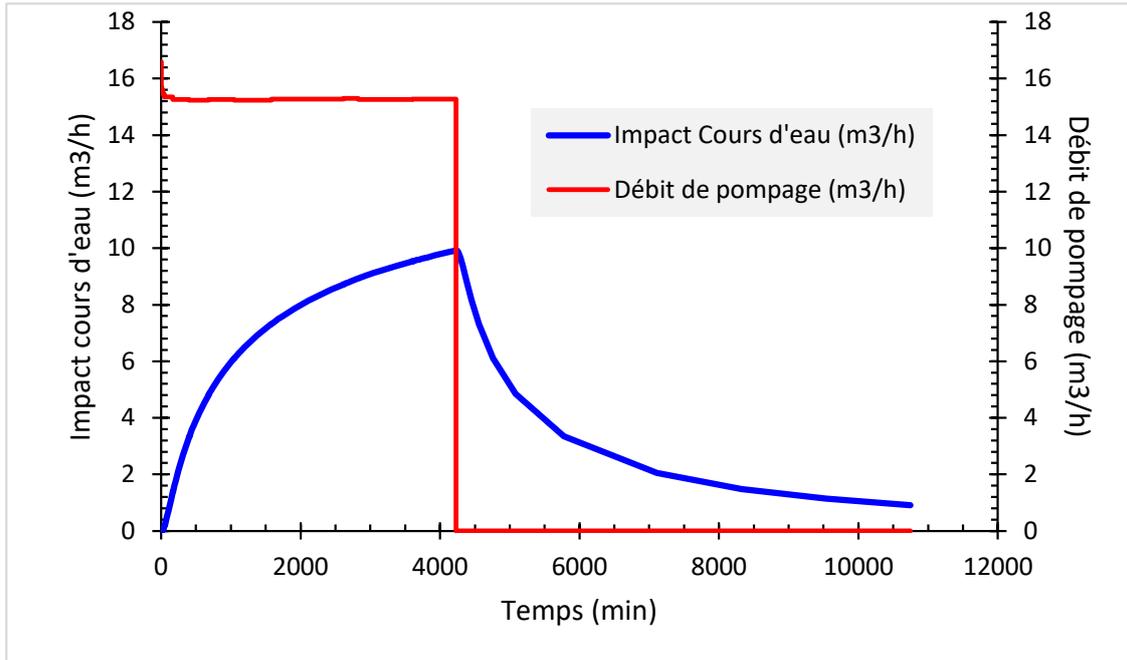


Modélisation de l'essai par paliers de débit (2^{ème} et 3^{ème} palier) réalisé sur le forage Dem'Ter2 (12/03/2021), puits de pompage Dem'Ter2 et observation sur Dem'Ter1 (r=12 m). Modèle : aquifère multicouche avec drainage verticale et cours d'eau. Graphe du haut : représentation Log-Log, graphe du bas : représentation arithmétique, l'insert présente un zoom sur le suivi sur Dem'Ter1.



Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Dem'Ter2 (15-18/03/2021), puits de pompage Dem'Ter2.

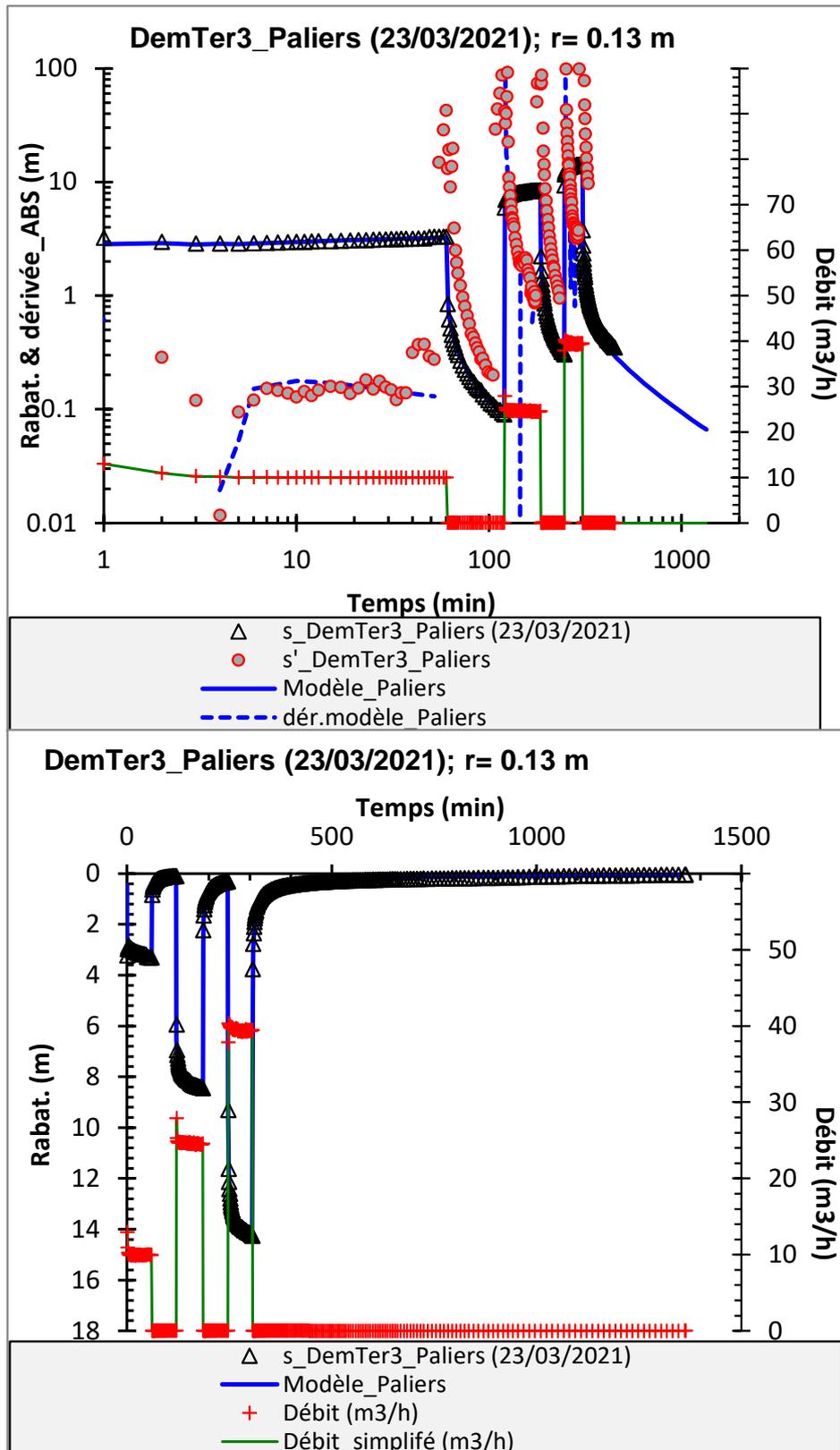
Représentation arithmétique. Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale.



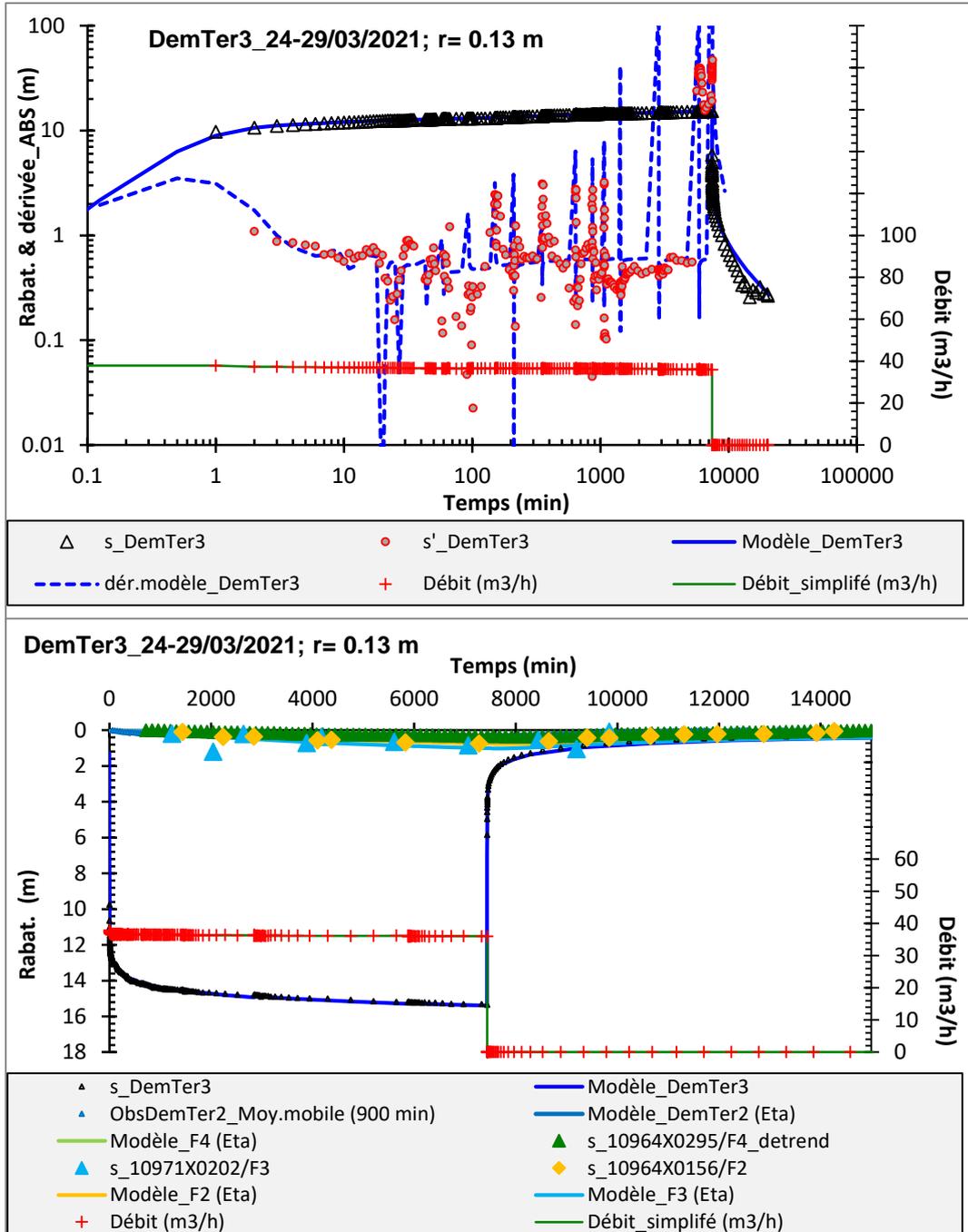
Evaluation de l'impact sur le cours d'eau (Canterrane) en terme de débit soustrait durant l'essai réalisé sur le forage Dem'Ter2 (15-18/03/2021).

	DemTer2 (15-18/03/2021)	Paliers_2&3 DemTer2 (12/03/2021)	Obs.DemTer1 (paliers 2&3)
r (m)	0.13	0.13	12.0
T (m2/s)	3.60E-04	3.60E-04	3.60E-04
S (-)	5.00E-04	5.00E-04	5.00E-04
k' (m/s)	2.0E-04	2.0E-04	1.0E-07
b' (m)	1.0	1.0	1.0
T0 (m2/s)	1.0E-05	1.0E-05	1.0E-03
Sy (-)	8.0E-02	8.0E-02	8.0E-02
k'' (m/s)	3.0E-05	3.0E-05	3.0E-05
b'' (m)	1.0	1.0	1.0
C (dist. cours d'eau; m)	10.0	10.0	10.0
λ (m/s)	1.5E-04	1.5E-04	1.5E-04
PDC (m-5s2)	32000	32000	-
Rc (m)	0.1	0.1	-

Paramètres hydrodynamiques : essais réalisés sur le forage Dem'Ter2 (mars 2021). Modèle : aquifère multicouche avec drainage verticale et cours d'eau.

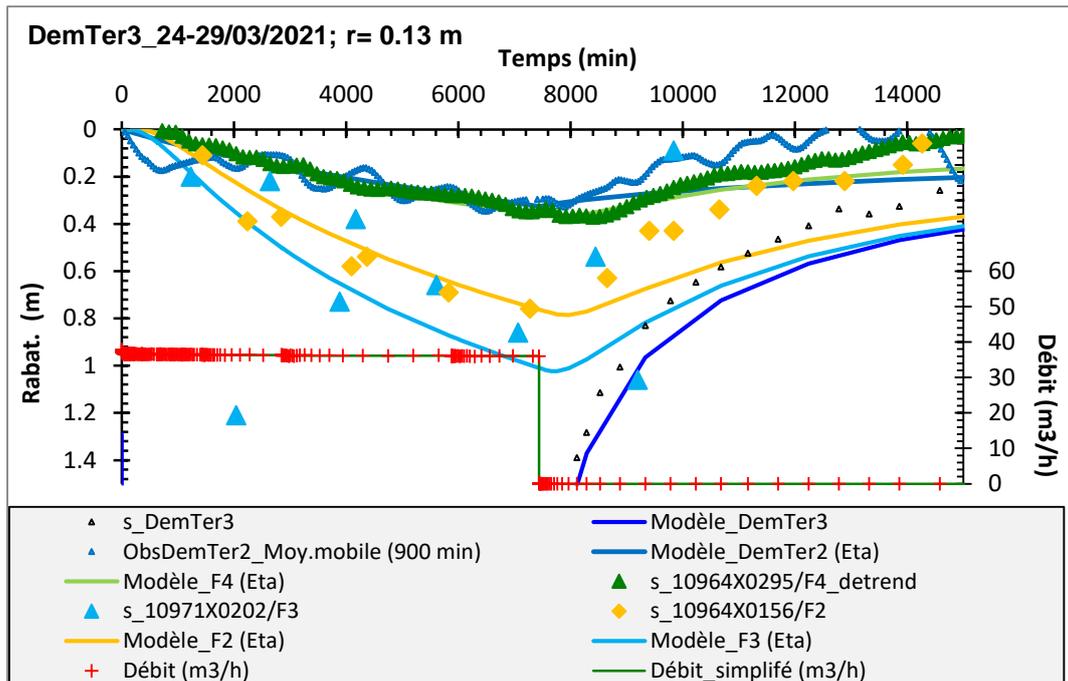


Modélisation de l'essai par paliers de débit réalisé sur le forage Dem'Ter3 (23/03/2021), puits de pompage Dem'Ter3 et observation sur Dem'Ter1 (r=12 m). Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale et cours d'eau. Graphe du haut : représentation Log-Log, graphe du bas : représentation arithmétique.



Modélisation de l'essai réalisé sur le forage DemTer3 (24-29/03/2021), puits de pompage DemTer3 et observation sur DemTer2 ($r=8,5$ m), F2 ($r=907$ m ; n°BSS : 10964X0156/F2), F3 ($r=489$ m ; n°BSS : 10971X0202/F3) et F4 ($r=1,3$ km ; n°BSS : 10964X0295/F4).

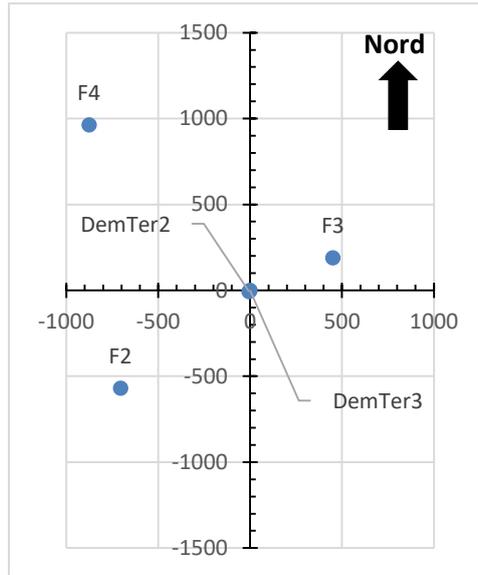
Représentation arithmétique. Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale.



Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Dem'Ter3 (24-29/03/2021), puits de pompage Dem'Ter3 et observation sur Dem'Ter2 (r=8,5 m). Agrandissement de la figure précédente sur les suivis en Dem'Ter2, F2 (n°BSS : 10964X0156/F2), F3 (n°BSS : 10971X0202/F3) et F4 (n°BSS : 10964X0295/F4).

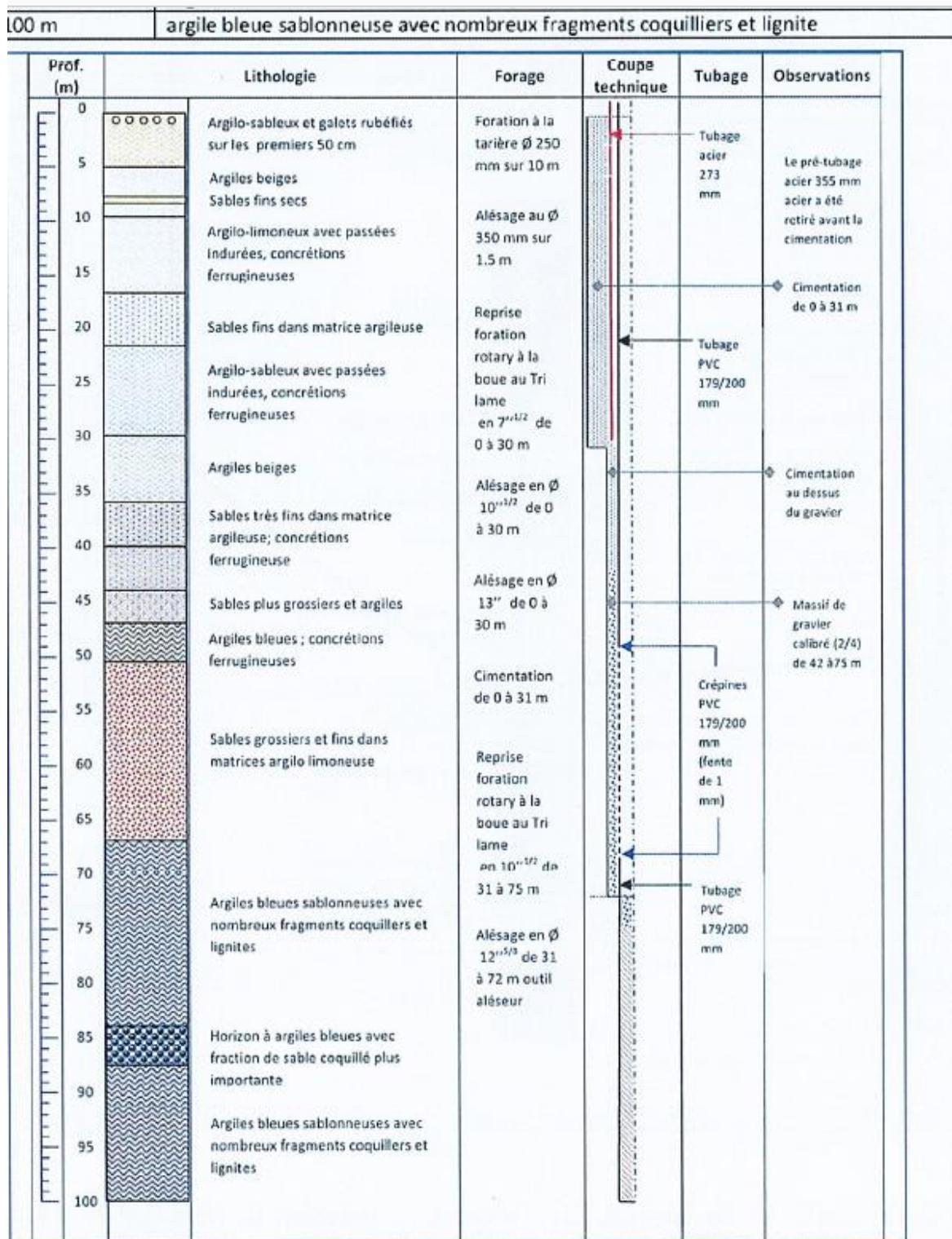
	DemTer3_24-29/03/2021	Obs_DemTer2	Obs_F2	Obs_F3	Obs_F4	Paliers (23/03/2021)
r (m)	0.13	8.5	907	489	1300	0.13
T (m2/s)	9.50E-04	9.50E-04	9.50E-04	9.50E-04	9.50E-04	9.50E-04
S (-)	3.00E-04	3.00E-04	3.00E-04	3.00E-04	3.00E-04	3.00E-04
k' (m/s)	1.0E-07	2.0E-08	1.0E-07	6.0E-08	1.0E-07	1.0E-07
b' (m)	1	1	1	1	1	1
T0 (m2/s)	3.6E-04	3.6E-04	3.6E-04	3.6E-04	2.0E-03	3.6E-04
Sy (-)	5.0E-04	8.0E-02	2.5E-04	5.0E-04	2.5E-04	5.0E-04
PDC (m-5s2)	14000	-	-	-	-	14000
Rc (m)	0.1	-	-	-	-	0.1

Paramètres hydrodynamiques, essais réalisés sur le forage Dem'Ter3 (mars 2021). Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale. Dem'Ter2, F2, F3 et F4 ont été modélisés dans l'aquifère de surface.



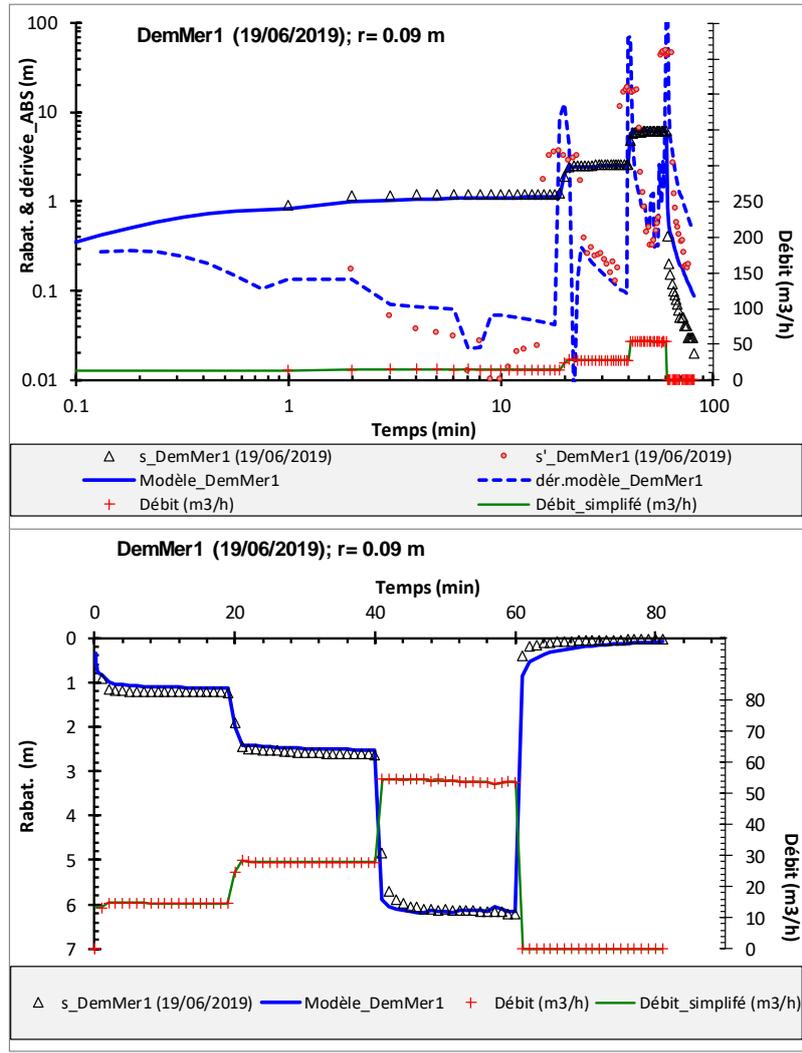
Localisation des forages d'observation Dem'Ter2, F2 (n°BSS : 10964X0156/F2), F3 (n°BSS : 10971X0202/F3) et F4 (n°BSS : 10964X0295/F4), par rapport à Dem'Ter3.

F4 (n°BSS : 10964X0295/F4)



Coupe lithologique et technique du forage F4
(Source : Hydro-Assistance, sept. 2014)

Site Dem'Mer



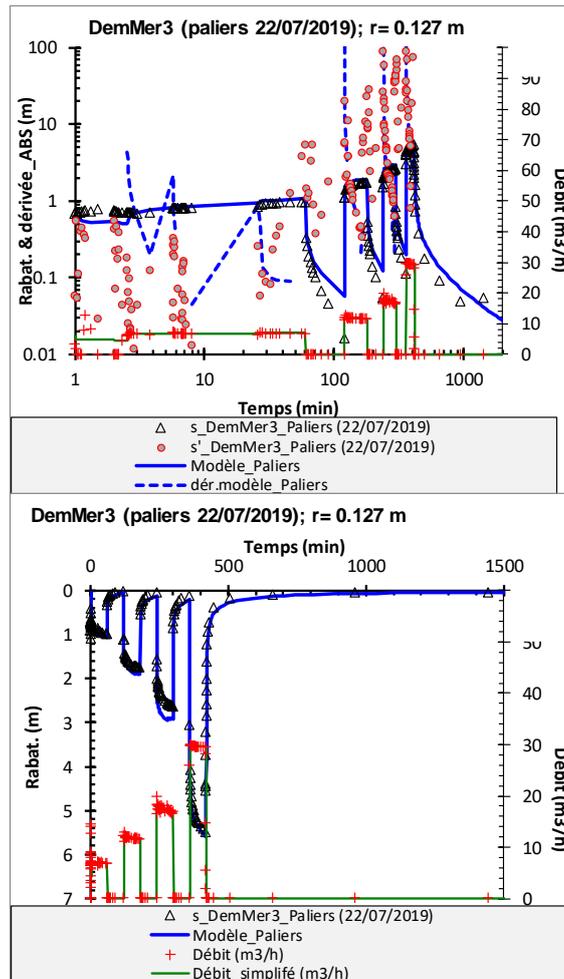
Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Dem'Mer1 (19/06/2019), puits de pompage Dem-Mer1.

Graphes du haut : représentation Log-Log, graphes du bas : représentation arithmétique. Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale.

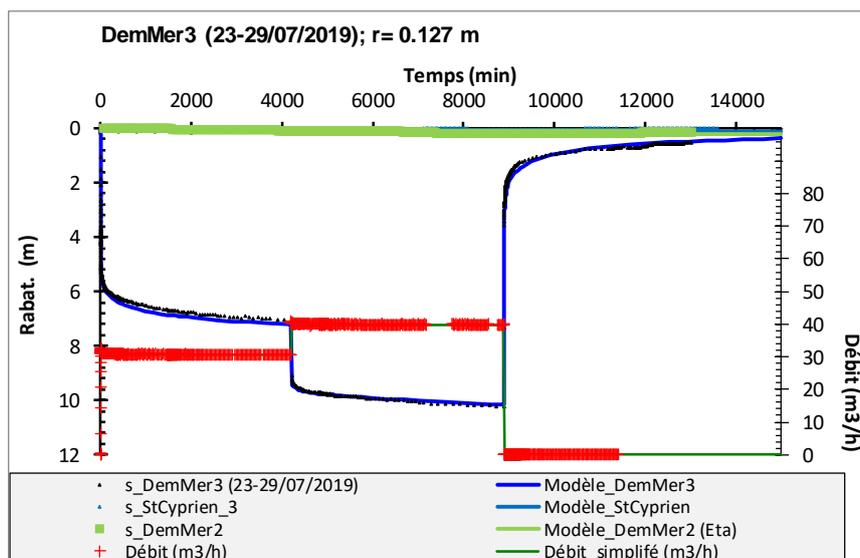
	DemMer1 (19/06/2019)
r (m)	0.09
T (m2/s)	4.50E-03
S (-)*	2.00E-03
k' (m/s)	1.0E-06
b' (m)	1
T0 (m2/s)	infini
Sy (-)	infini
Rc (m)	0.12
PDC (m-5s2)	12000

Paramètres hydrodynamiques : essai réalisé sur le forage Dem'Mer1 (19/06/2019). Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale.

*Ici, l'emmagasinement n'a pas pu être évalué de façon fiable faute de suivi sur un piézomètre d'observation. De plus, l'essai est soumis à des effets de drainance, très probablement lié à la proximité du rejet des eaux d'exhaure du pompage (quelques dizaines de mètres), et non au Pliocène par exemple. Ils montrent la forte connexion hydraulique de cet aquifère avec la surface.

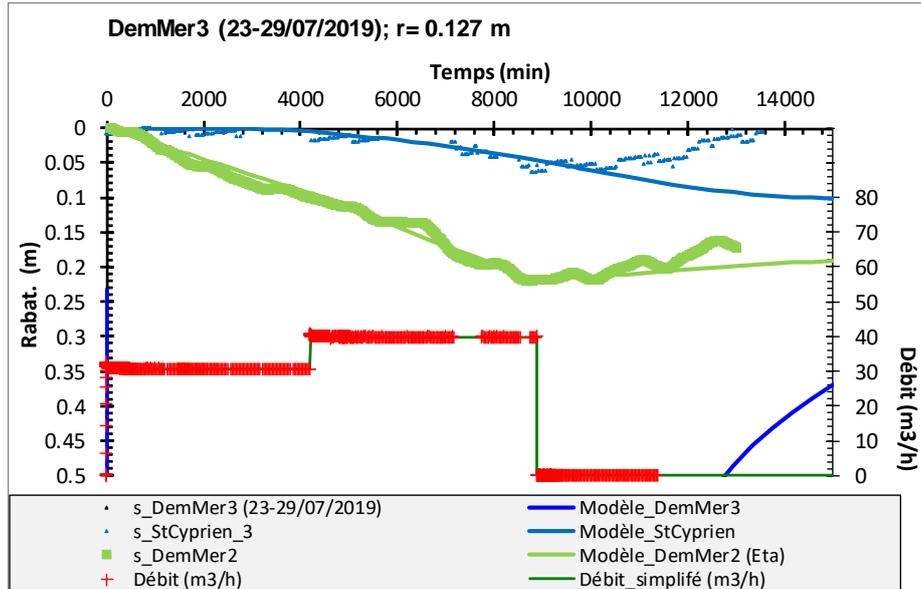


Modélisation de l'essai par paliers de débit réalisé sur le forage Dem'Mer3 (22/07/2019), puits de pompage Dem-Mer3. Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale. Graphe du haut : représentation Log-Log, graphe du bas : représentation arithmétique.



Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Dem'Mer3 (23-29/07/2019), puits de pompage Dem-Mer3, et observations aux forages Dem'Mer2 ($r = 15$ m) et de St Cyprien ($r = 1150$ m).

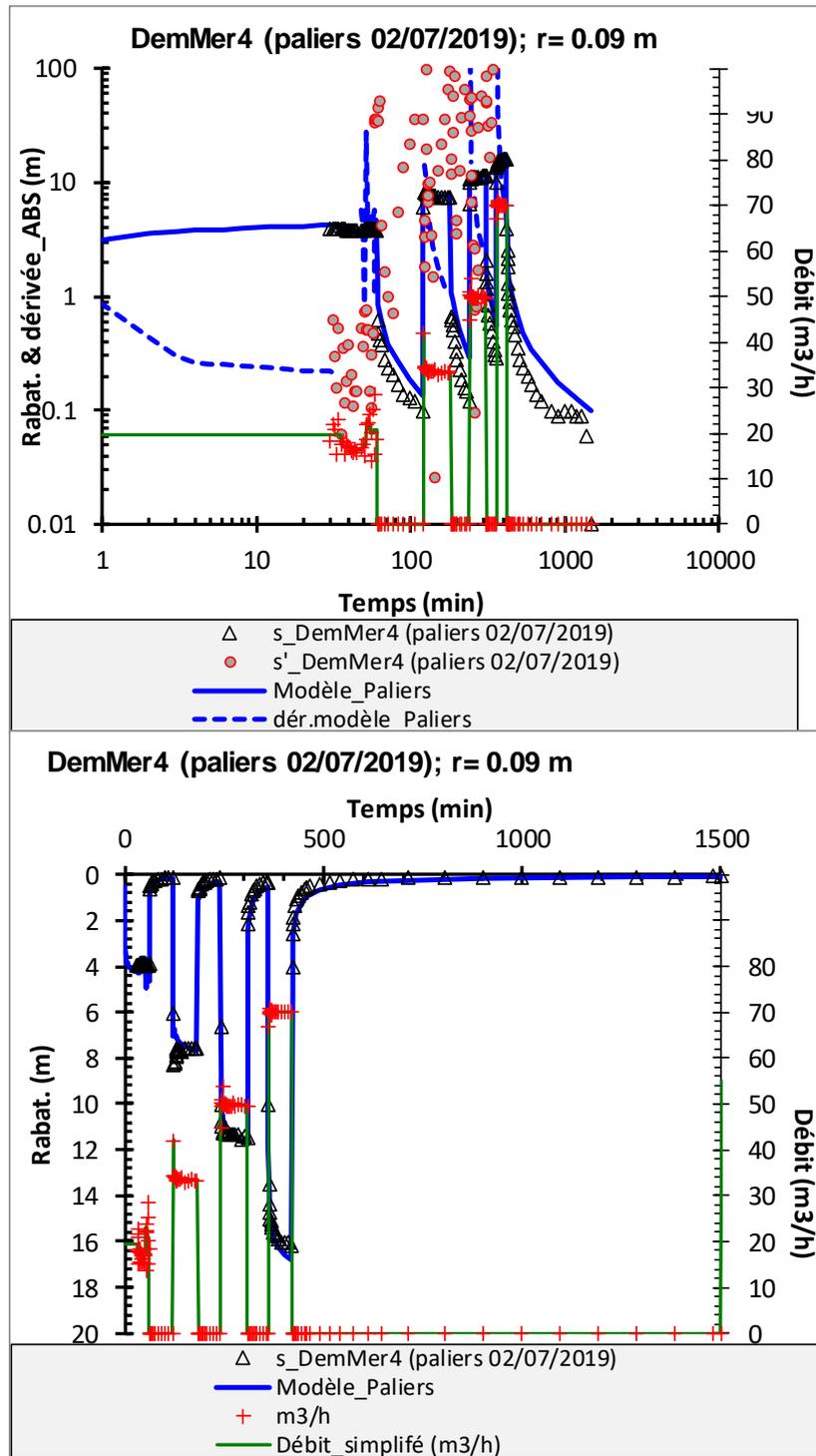
Représentation arithmétique. Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale.



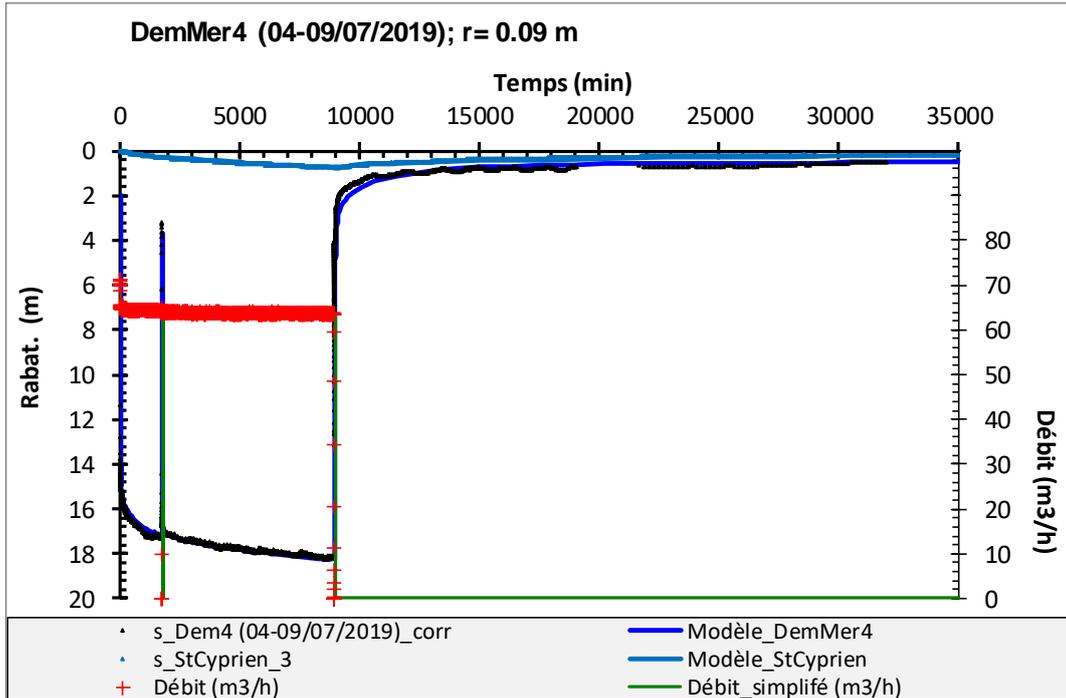
Agrandissement de la figure précédente.

	DemMer3 (23-29/07/2019)	Obs_StCyprien	Obs_DemMer2	DemMer3 (paliers 22/07/2019)
r (m)	0.127	1150	15	0.127
T (m ² /s)	1.85E-03	1.85E-03	1.85E-03	1.85E-03
S (-)	5.00E-03	4.00E-03	5.00E-03	5.00E-03
k' (m/s)	6.0E-10	6.0E-10	6.0E-10	6.0E-10
b' (m)	1	1	1	1
T0 (m ² /s)	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04	1.0E-04
Sy (-)	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03	1.0E-03
PDC (m-5s ²)	17500	-	-	17500
Rc (m)	0.07	-	-	0.1

Paramètres hydrodynamiques : essais réalisés sur le forage DemMer3 (juillet 2019). Modèle : aquifère multicouche avec drainage verticale.

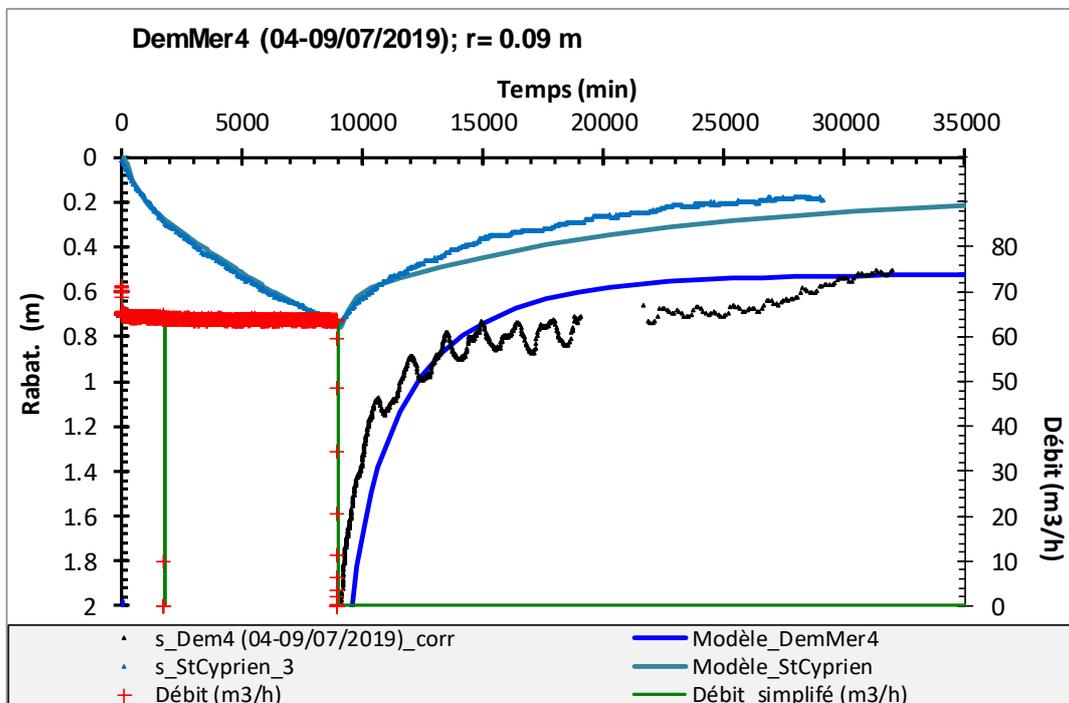


Modélisation de l'essai par paliers de débit réalisé sur le forage Dem'Mer4 (02/07/2019), puits de pompage Dem-Mer4. Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale. Graphe du haut : représentation Log-Log, graphe du bas : représentation arithmétique.



Modélisation de l'essai réalisé sur le forage DemMer4 (04-09/07/2019), puits de pompage Dem-Mer4, et observation au forage de St Cyprien (r= 1150 m).

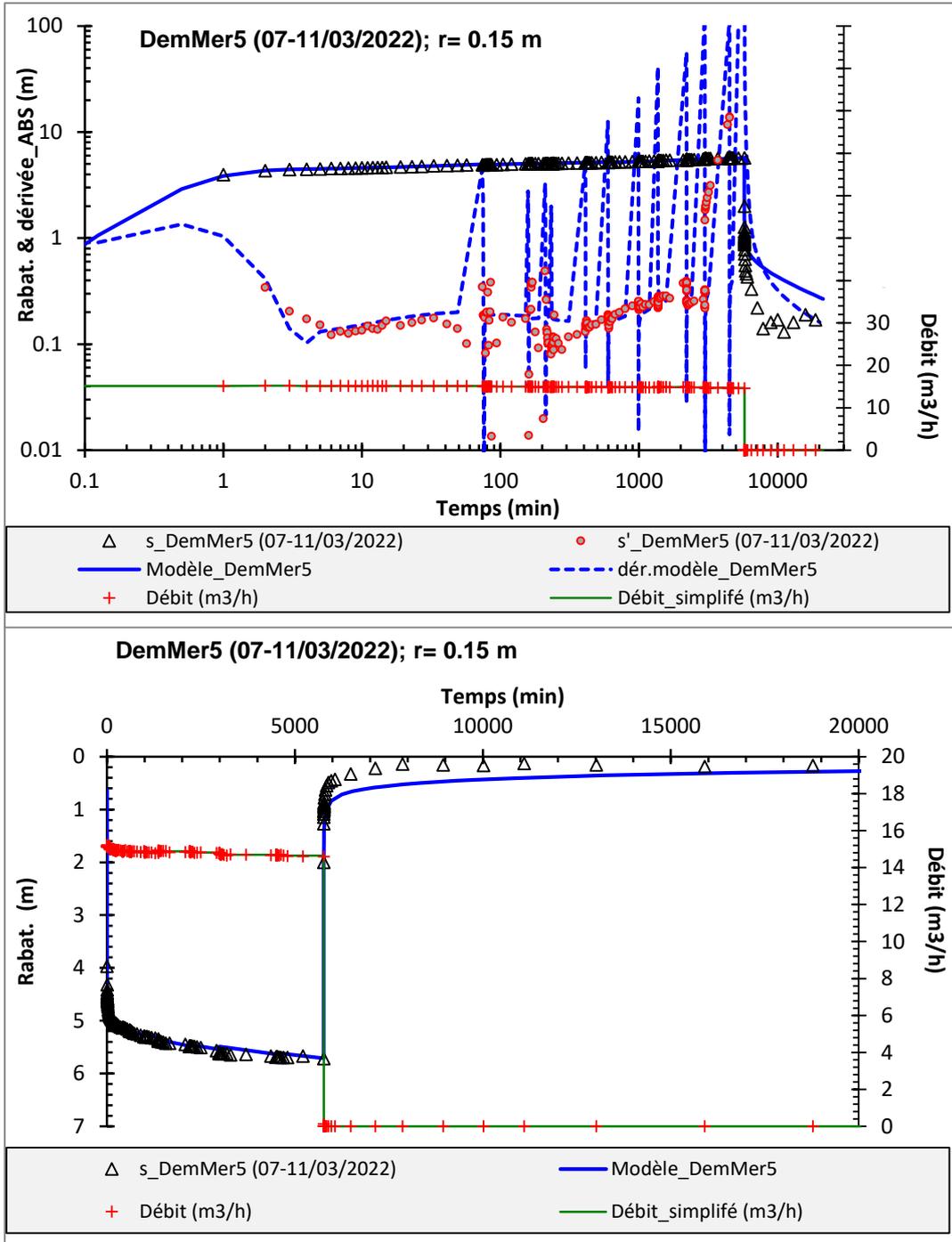
Représentation arithmétique. Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale.



Agrandissement de la figure précédente.

	DemMer4 (04-09/07/2019)	Obs_StCyprien	DemMer4 (paliers 02/07/2019)
r (m)	0.09	1150	0.09
T (m ² /s)	1.90E-03	1.90E-03	1.90E-03
S (-)	1.50E-04	1.50E-04	1.50E-04
B (m)	155	155	155
l (m)	130	130	130
d (m)	0	0	0
kh/kz (-)	5.0	5.0	5.0
k' (m/s)	5.00E-09	5.00E-09	5.00E-09
b' (m)	1.0E+00	1.0E+00	1.0E+00
T0 (m ² /s)	2.0E-05	2.0E-05	2.0E-05
Sy (-)	1.0E-04	7.3E-04	1.0E-04
Dist.lim. 1,2,3,4 (min)	6000	6000	-
Dist.lim. 1,2,3,4 (m)	4271	4271	-
PDC (m-5s ²)	-	-	-
Rc (m)	2500	-	2500

Paramètres hydrodynamiques : essais réalisés sur le forage Dem'Mer4 (juillet 2019). Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale.



Modélisation de l'essai réalisé sur le forage Dem'Mer5 (07-11/03/2022), puits de pompage Dem'Mer5.

Représentation arithmétique. Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale.

	DemMer5 (07-11/03/2022)
r (m)	0.15
T (m ² /s)	2.60E-03
S (-)	1.00E-04
k' (m/s)	3.5E-09
b' (m)	1
T0 (m ² /s)	8.0E-05
Sy (-)	1.5E-04
Dist.lim. 1 (min)	4
Dist.lim. 1 (m)	158
Dist.lim. 2 (min)	400
Dist.lim. 2 (m)	1579.9
PDC (m-5s ²)	155000
Rc (m)	0.09

Paramètres hydrodynamiques : essai réalisé sur le forage Dem'Mer5 (mars 2022). Modèle : aquifère multicouche avec drainance verticale.

Annexe 7

Equipement des piézomètres en flute de pan des sites Dem'Mer et Dem'Ter en matériel de mesure du niveau, de la conductivité et de la température (Hydroservices)

COMPTE RENDU D'INTERVENTION

28 – 29 mai 2019

Installation et mise en service de stations piézométriques

3 piézos DEM'TER à Pollestres

5 piézos DEM'MER à Saint Cyprien



M. Eric Recht


36 rue du Cerf
67350 UBERACH
Tél : +33 (0)3.88.07.50.06
Fax : +33 (0)3.88.07.50.09
Web : www.hydroservices.net

M. Yvan Caballero



Géosciences pour une Terre durable
brgm

Contenu

1.	Situation géographique	3
a.	Localisation des points de mesures DEM'TER à Pollestres	3
b.	Localisation des points de mesures DEM'MER à Saint Cyprien	4
2.	Travaux réalisés à Pollestres.....	5
a.	Sondes	5
b.	Station d'acquisition.....	7
3.	Travaux réalisés à Saint-Cyprien.....	9
a.	Sondes	9
b.	Station d'acquisition.....	11
4.	Stations de mesure Dipper PT et Dipper PTEC.....	13
a.	Station de mesure de niveau avec capillaire de mise à l'air : Dipper PT.....	13
b.	Station de mesure de niveau et de conductivité : Dipper PTEC.....	15
5.	Stations d'acquisition UnilogCom 3G+	17

Indice	Date	Objet	Rédigé	Vérifié
A	31/05/2019	Création du document	ER	ER
B				
C				
D				

1. Situation géographique

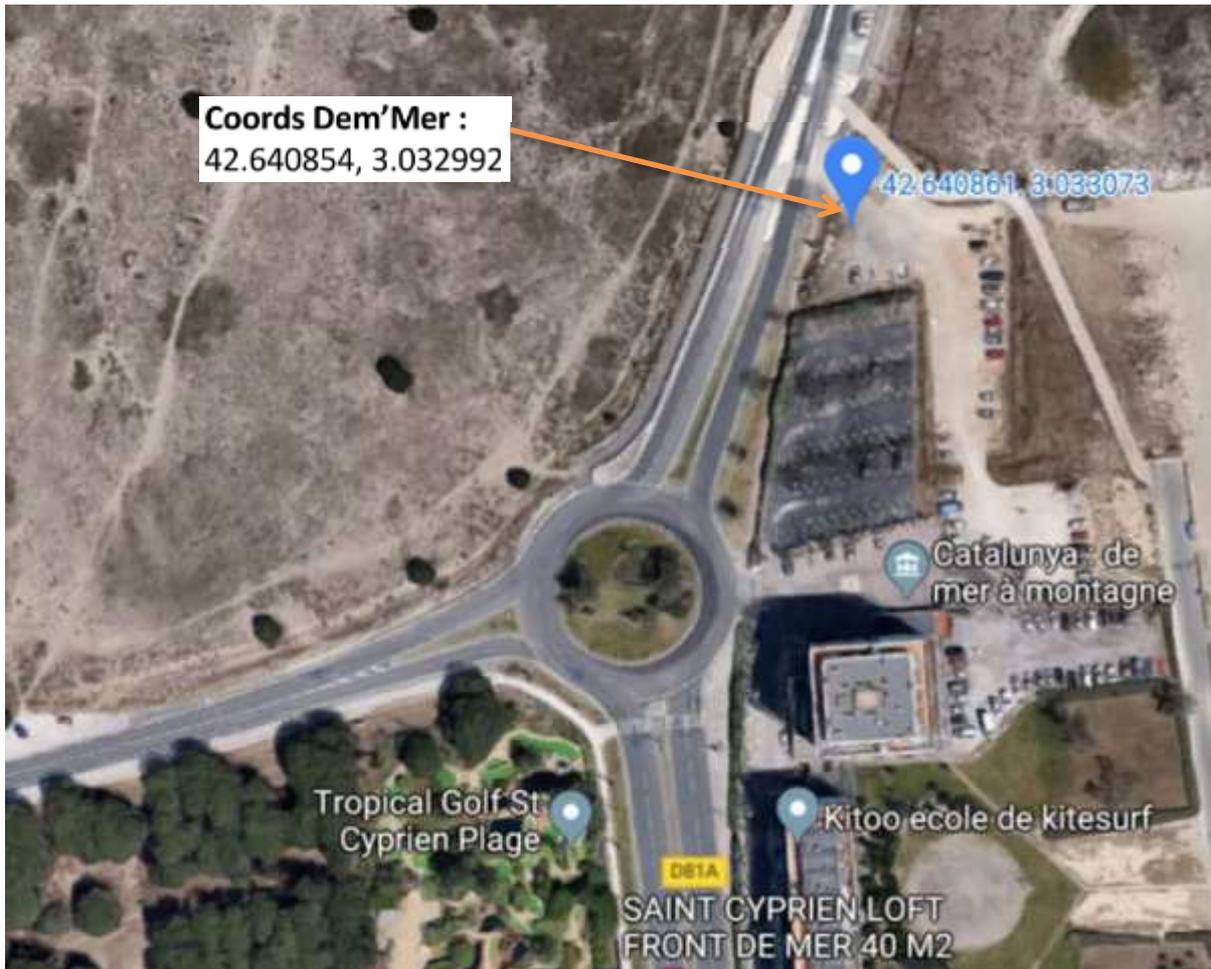
a. Localisation des points de mesures DEM'TER à Pollestres



14, impasse Cité des Genêts
66450 Pollestres



b. Localisation des points de mesures DEM'MER à Saint Cyprien



400 boulevard Desnoyer
66750 St Cyprien

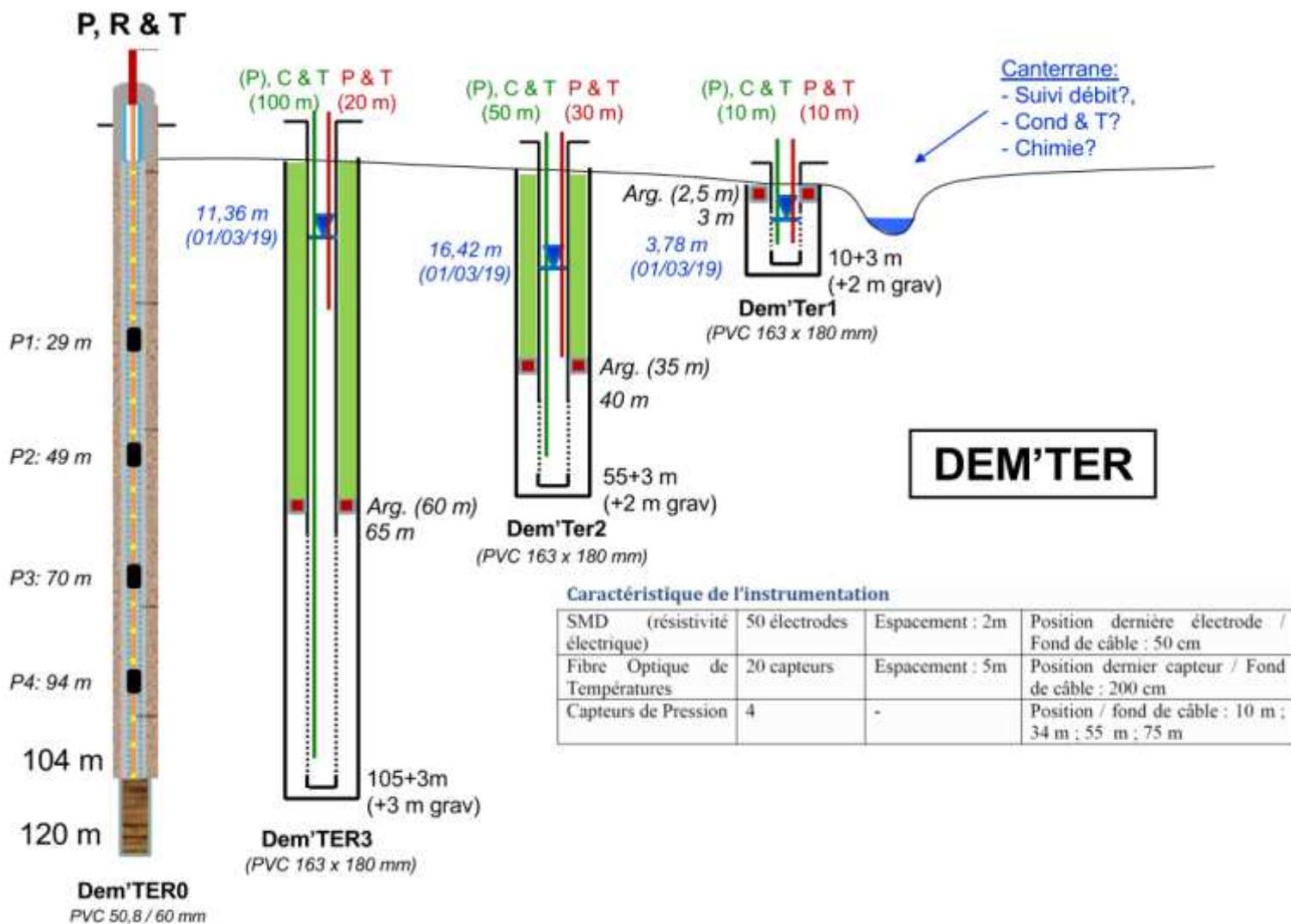


2. Travaux réalisés à Pollestres

a. Sondes

- Mise en place du point de fixation sur chaque forage
- Installation des sondes Dipper PT (niveau + température)
- Installation des sondes Dipper PTEC (niveau + température + conductivité)
- Tirage des câbles

Schéma d'implantation



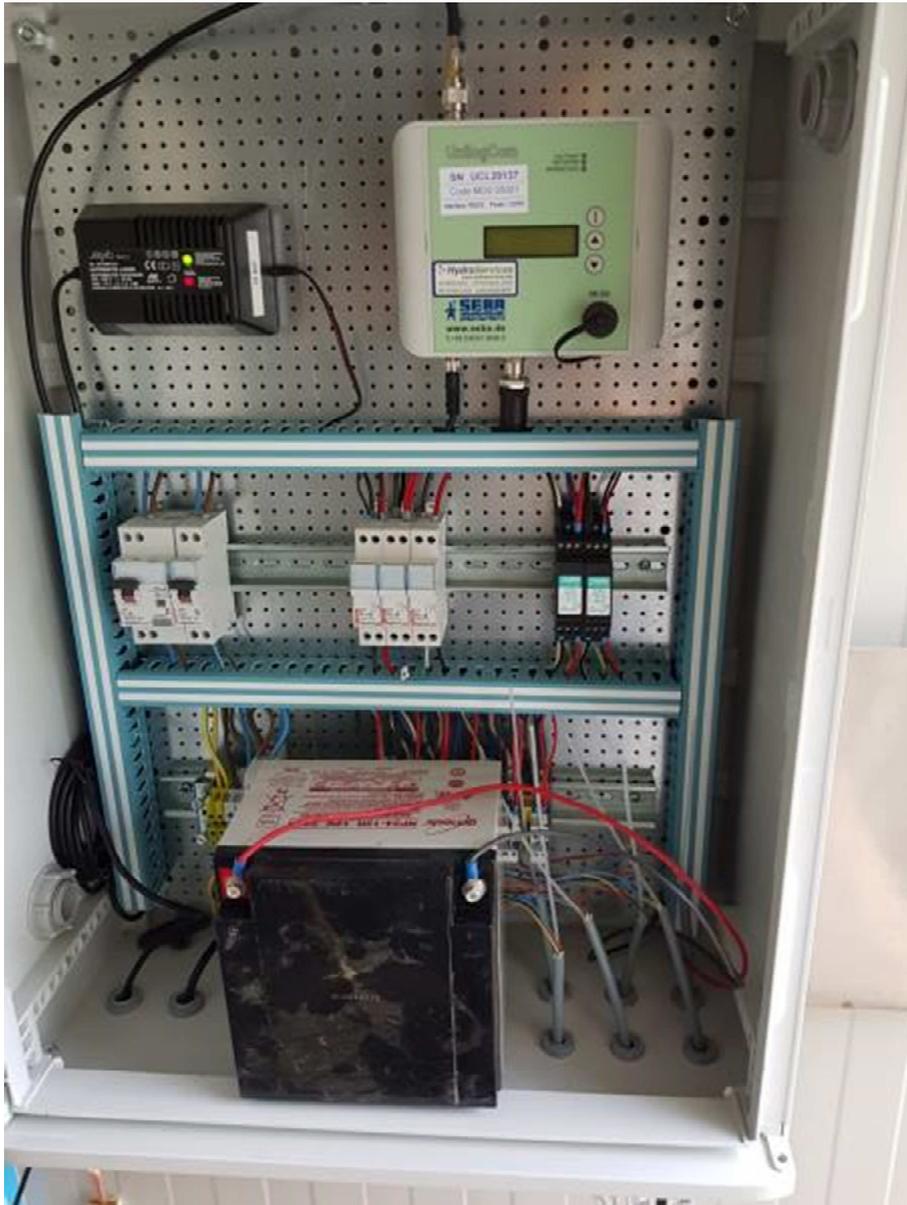
Nota : l'immersion des sondes Dipper PTEC a été adaptée en fonction de l'envasement des piézomètres



œillet de fixation avec pince d'ancrage et chainette

site	type	N° série	adresse		suspension	immersion	calage niveau
							28/05/19 16h45
Dem'TER 1	Dipper PT	D4L15756	17		10m	2,54m	3,55m
Dem'TER 1	Dipper PTEC	T4L03333	21		10m	3,03m	
Dem'TER 2	Dipper PT	D4L15757	18		30m	14,00m	16,71m
Dem'TER 2	Dipper PTEC	T4L03336	24		50m	34,14m	
Dem'TER 3	Dipper PT	D4L15762	19		20m	8,76m	12,16m
Dem'TER 3	Dipper PTEC	T4L03338	22		100m	84,99m	

b. Station d'acquisition



N° de série : UCL 20137

La station es accessible tous les jours de la semaine de

10h à 12h00 et de 14h00 à 16h00

Push des données : tous les jours (00h00)

Les données sont déposées sur le serveur FTP du BRGM et accessibles avec les accès LRO

N°	Voie	Date/heure	Valeur de mesure	Valeur préalable
1	DEM*TER1 # PT - Niveau	28/05/2019 17:1...	3.551	3.550
2	DEM*TER1 # PT - Temperature	28/05/2019 17:1...	15.804	15.773
3	DEM*TER2 # PT - Niveau	28/05/2019 17:1...	16.719	16.723
4	DEM*TER2 # PT - Temperature	28/05/2019 17:1...	16.775	16.758
5	DEM*TER3 # PT - Niveau	28/05/2019 17:1...	12.159	12.160
6	DEM*TER3 # PT - Temperature	28/05/2019 17:1...	16.720	16.703
7	DEM*TER1 # PTEC - Temperature	28/05/2019 17:1...	15.999	15.999
8	DEM*TER1 # PTEC - Conductivité	28/05/2019 17:1...	0.831	0.831
9	DEM*TER1 # PTEC - Niveau	28/05/2019 17:1...	3.550	3.550
10	DEM*TER2 # PTEC - Temperature	28/05/2019 17:1...	17.610	17.613
11	DEM*TER2 # PTEC - Conductivité	28/05/2019 17:1...	1.348	1.348
12	DEM*TER2 # PTEC - Niveau	28/05/2019 17:1...	16.720	16.718
13	DEM*TER3 # PTEC - Temperature	28/05/2019 17:1...	19.148	19.151
14	DEM*TER3 # PTEC - Conductivité	28/05/2019 17:1...	0.521	0.521
15	DEM*TER3 # PTEC - Niveau	28/05/2019 17:1...	12.176	12.192
32	Power	28/05/2019 17:1...	13.642	13.642

Test push avec carte SIM

Nr.	Description	Content
00	Device ID	UCL20137
01	Device Type	SEBA 3G+ Modem
02	Version	V 03.0001 B 0000
03	DFU Settings	GPRS, GSM, FTP, SGS, TCP
04	PIN	READY
05	Signal / Error r...	HSDPA: Weak reception (1 / 3)
06	Fournisseur d'...	0.0,"F SFR",2
07	GSM / Mobile...	GSM: Connected successfully (2,1) / Données mobiles: Connected successfully (2,1)
08	IP	10.235.46.208
09	Mobile data S...	APN Nom= m2minternet / APN Nom de l'utilisateur= o / APN Mot de passe= o
10	SGS Settings	IP= gprs.seba-hydrocenter.de / Port= 44400 / ID de l'appareil= UCL20137 / Mot de passe= 71249619 / Version du protocole= 1
11	SGS Info	Connected (KeepAlive_01)
12	FTP Settings	IP= ftp.brgm.fr / Port= 21 / FTP passf= 1 / Username= piezolo / Mot de passe= aleriy / Répertoire= SEBA
13	FTP Backup	IP= 0 / Port= 21 / FTP passf= 0 / Username= 0 / Mot de passe= 0 / Répertoire= 0

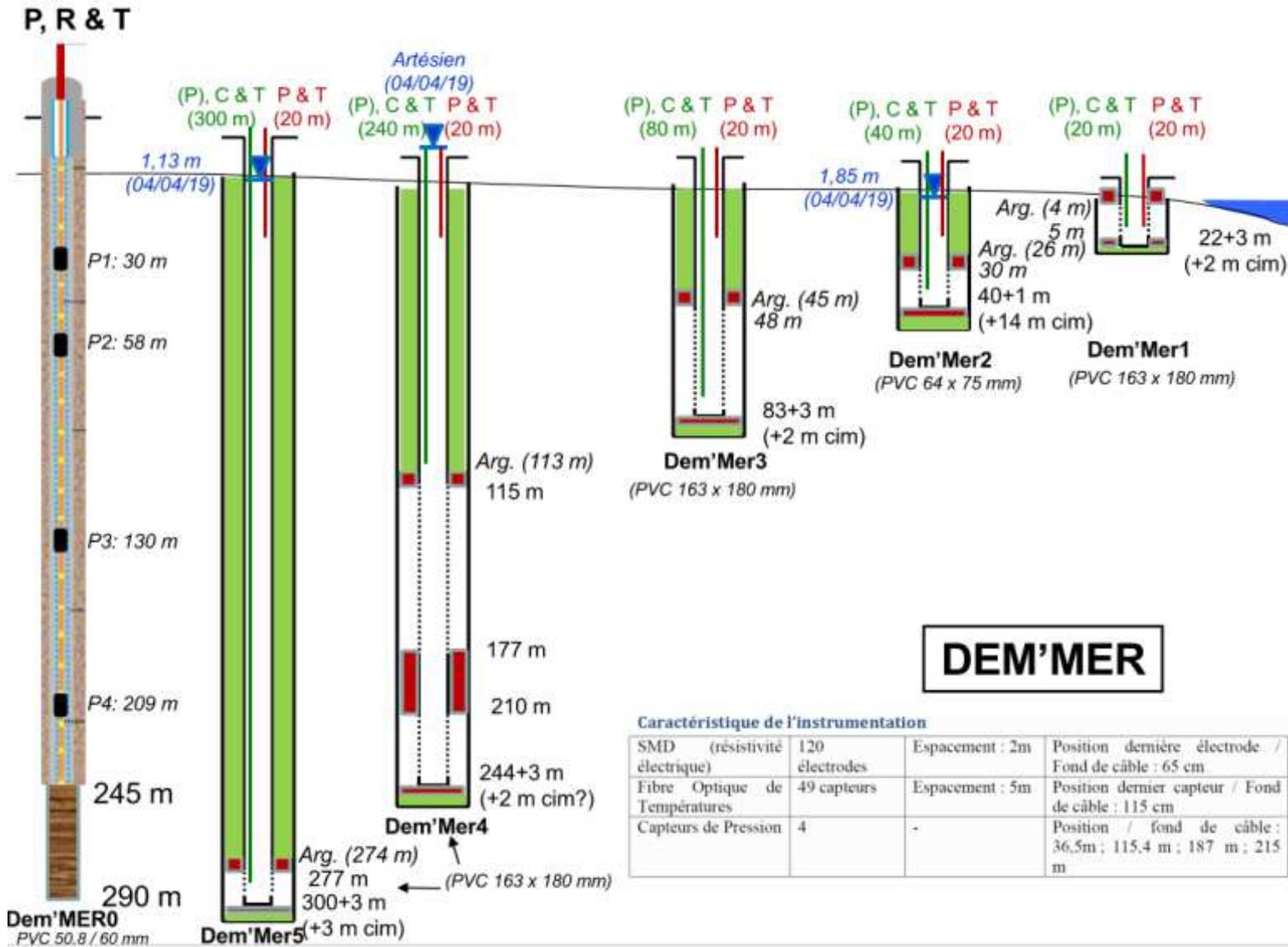
Visualisation d'un fichier FTP push

root1:28.05.2019,17:22,UCL20137,CH01=-2.46,CH02=15.73,CH03=-14.01,CH04=16.72,CH05=-8.76,CH06=16.70,CH07=15.99,CH09=-3.03,CH10=17.61,CH11=1.34,CH12=-34.15,CH13=1

3. Travaux réalisés à Saint-Cyprien

a. Sondes

- Mise en place du point de fixation sur chaque forage
- Installation des sondes Dipper PT (niveau + température)
- Installation des sondes Dipper PTEC (niveau + température + conductivité)
- Tirage des câbles



Nota : l'immersion des sondes Dipper PTEC a été adaptée en fonction de l'envasement des piézomètres

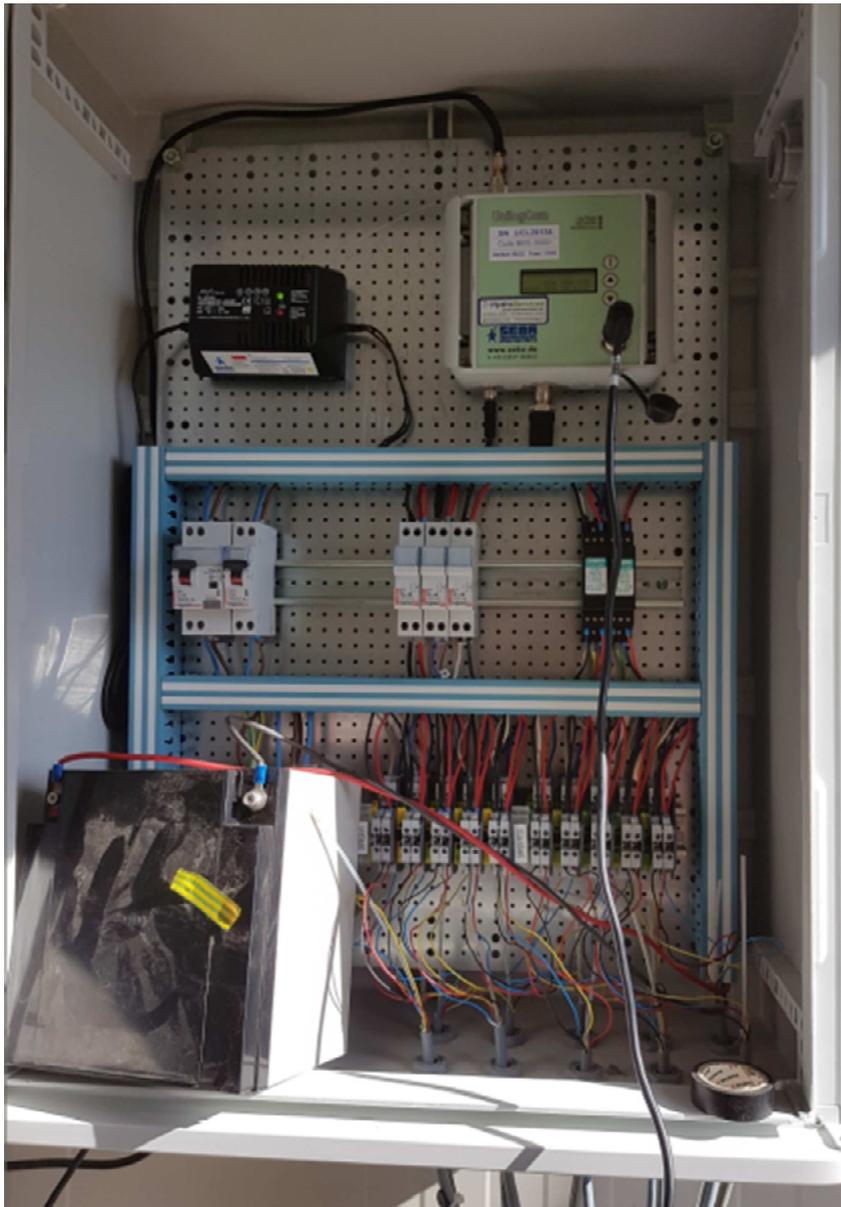


Les câbles des sondes passent par des presses-étoupes visser sur les brides

site	type	N° série	adresse		suspension	immersion	calage niveau
							29/05/19 18h00
Dem'MER 1	Dipper PT	D4L15760	17		20m	15,55m	2,17m
Dem'MER 1	Dipper PTEC	T4L03334	22		20m	15,92m	
Dem'MER 2	Dipper PT	D4L15761	18		20m	18,95m	1,46m
Dem'MER 2	Dipper PTEC	T4L03335	23		40m	39,24m	
Dem'MER 3	Dipper PT	D4L15763	15		20m	18,79m	1,29m
Dem'MER 3	Dipper PTEC	T4L03337	21		80m		
Dem'MER 4	Dipper PT	D4L15759	20		20m	19,48m	0,86m
Dem'MER 4	Dipper PTEC	T4L03339	25		240m	225,97m	
Dem'MER 5	Dipper PT	D4L15758	19		18m	17,67m	artésien
Dem'MER 5	Dipper PTEC	T4L03340	24		300m	225,24m	

Nota : la station Dipper PTEC du point DEM'MER 3 ne communique pas
Elle a été retournée chez le fabricant pour réparation sous garantie

b. Station d'acquisition



N° de série : UCL 20136

Accès station : accessible tous les jours à 9h00 à 11h00 et de 15h00 à 17h00 (heure d'hiver probablement)

Push des données : tous les jours (00h00)

Les données sont déposées sur le serveur FTP du BRGM et accessibles avec les accès LRO

N°	Voie
1	DEM'MER1# PT - Niveau
2	DEM'MER1# PT - Temperature
3	DEM'MER2# PT - Niveau
4	DEM'MER2# PT - Temperature
5	DEM'MER3# PT - Niveau
6	DEM'MER3# PT - Temperature
7	DEM'MER4# PT - Niveau
8	DEM'MER4# PT - Temperature
9	DEM'MER5# PT - Niveau
10	DEM'MER5# PT - Temperature
11	DEM'MER1# PTEC - Temperature
12	DEM'MER1# PTEC - Conductivité
13	DEM'MER1# PTEC - Niveau
14	DEM'MER2# PTEC - Temperature
15	DEM'MER2# PTEC - Conductivité
16	DEM'MER2# PTEC - Niveau
17	DEM'MER3# PTEC - Temperature
18	DEM'MER3# PTEC - Conductivité
19	DEM'MER3# PTEC - Niveau
20	DEM'MER4# PTEC - Temperature
21	DEM'MER4# PTEC - Conductivité
22	DEM'MER4# PTEC - Niveau
23	DEM'MER5# PTEC - Temperature
24	DEM'MER5# PTEC - Conductivité
25	DEM'MER5# PTEC - Niveau
32	Power

Visualisation d'un fichier FTP push

T001:31.05.2019,01.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.48,CH04=17.95,CH05=1.33,CH06=18.63,CH07=0.87,CH08=18.32,CH09=0.04,CH10=19.17,CH11=18.35,CH12=42.36,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=40.01,CH16=1.47,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.86,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.57,
T001:31.05.2019,02.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.47,CH04=17.95,CH05=1.33,CH06=18.63,CH07=0.87,CH08=18.31,CH09=0.03,CH10=19.14,CH11=18.36,CH12=42.37,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=40.00,CH16=1.46,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.86,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.57,
T001:31.05.2019,03.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.48,CH04=17.95,CH05=1.33,CH06=18.63,CH07=0.87,CH08=18.32,CH09=0.03,CH10=19.12,CH11=18.35,CH12=42.40,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.99,CH16=1.46,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.86,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.59,
T001:31.05.2019,04.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.47,CH04=17.95,CH05=1.32,CH06=18.63,CH07=0.86,CH08=18.32,CH09=0.02,CH10=19.09,CH11=18.36,CH12=42.40,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=40.00,CH16=1.47,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.86,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.60,
T001:31.05.2019,05.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.47,CH04=17.95,CH05=1.31,CH06=18.63,CH07=0.85,CH08=18.32,CH09=0.02,CH10=19.06,CH11=18.35,CH12=42.43,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=40.00,CH16=1.46,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.85,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.62,
T001:31.05.2019,06.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.47,CH04=17.95,CH05=1.31,CH06=18.63,CH07=0.84,CH08=18.32,CH09=0.02,CH10=19.04,CH11=18.35,CH12=42.44,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.98,CH16=1.46,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.85,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.62,
T001:31.05.2019,07.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.47,CH04=17.95,CH05=1.30,CH06=18.63,CH07=0.84,CH08=18.32,CH09=0.00,CH10=19.02,CH11=18.35,CH12=42.46,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.98,CH16=1.45,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.86,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.63,
T001:31.05.2019,08.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.47,CH04=17.95,CH05=1.31,CH06=18.63,CH07=0.85,CH08=18.31,CH09=0.02,CH10=19.00,CH11=18.36,CH12=42.47,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.98,CH16=1.46,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.85,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.63,
T001:31.05.2019,09.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.11,CH03=1.47,CH04=17.95,CH05=1.31,CH06=18.63,CH07=0.86,CH08=18.32,CH09=0.03,CH10=18.98,CH11=18.35,CH12=42.50,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.98,CH16=1.46,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.86,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.62,
T001:31.05.2019,10.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.48,CH04=17.95,CH05=1.32,CH06=18.63,CH07=0.87,CH08=18.31,CH09=0.07,CH10=18.96,CH11=18.35,CH12=42.49,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.98,CH16=1.48,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.85,CH23=28.04,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.62,
T001:31.05.2019,11.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.49,CH04=17.95,CH05=1.33,CH06=18.63,CH07=0.87,CH08=18.32,CH09=0.11,CH10=18.94,CH11=18.35,CH12=42.50,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.98,CH16=1.48,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.85,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.60,
T001:31.05.2019,12.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.50,CH04=17.95,CH05=1.34,CH06=18.63,CH07=0.88,CH08=18.31,CH09=0.15,CH10=18.92,CH11=18.35,CH12=42.54,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.97,CH16=1.48,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.85,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.57,
T001:31.05.2019,13.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.50,CH04=17.95,CH05=1.35,CH06=18.63,CH07=0.89,CH08=18.32,CH09=0.17,CH10=18.91,CH11=18.35,CH12=42.55,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.97,CH16=1.48,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.86,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.57,
T001:31.05.2019,14.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.50,CH04=17.95,CH05=1.35,CH06=18.63,CH07=0.89,CH08=18.32,CH09=0.19,CH10=18.89,CH11=18.35,CH12=42.55,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.96,CH16=1.49,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.85,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.55,
T001:31.05.2019,15.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.50,CH04=17.95,CH05=1.35,CH06=18.63,CH07=0.88,CH08=18.31,CH09=0.20,CH10=18.87,CH11=18.35,CH12=42.58,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.97,CH16=1.49,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.85,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.55,
T001:31.05.2019,16.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.49,CH04=17.95,CH05=1.34,CH06=18.63,CH07=0.88,CH08=18.31,CH09=0.21,CH10=18.86,CH11=18.36,CH12=42.60,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.97,CH16=1.48,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.85,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.55,
T001:31.05.2019,17.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.49,CH04=17.95,CH05=1.33,CH06=18.63,CH07=0.86,CH08=18.32,CH09=0.20,CH10=18.85,CH11=18.36,CH12=42.63,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.97,CH16=1.47,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.86,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.53,
T001:31.05.2019,18.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.12,CH03=1.48,CH04=17.95,CH05=1.32,CH06=18.62,CH07=0.85,CH08=18.31,CH09=0.18,CH10=18.83,CH11=18.36,CH12=42.62,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.96,CH16=1.47,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.86,CH23=28.04,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.52,
T001:31.05.2019,19.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.11,CH03=1.47,CH04=17.95,CH05=1.31,CH06=18.63,CH07=0.85,CH08=18.31,CH09=0.14,CH10=18.80,CH11=18.36,CH12=42.65,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.97,CH16=1.45,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.86,CH23=28.04,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.52,
T001:31.05.2019,20.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.11,CH03=1.46,CH04=17.95,CH05=1.31,CH06=18.62,CH07=0.84,CH08=18.32,CH09=0.11,CH10=18.79,CH11=18.35,CH12=42.67,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.96,CH16=1.46,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.85,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.52,
T001:31.05.2019,21.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.11,CH03=1.47,CH04=17.95,CH05=1.32,CH06=18.63,CH07=0.85,CH08=18.32,CH09=0.10,CH10=18.78,CH11=18.36,CH12=42.69,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.96,CH16=1.46,CH20=26.09,CH21=0.43,CH22=0.86,CH23=28.04,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.53,
T001:31.05.2019,22.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.10,CH03=1.48,CH04=17.95,CH05=1.32,CH06=18.63,CH07=0.86,CH08=18.32,CH09=0.07,CH10=18.77,CH11=18.35,CH12=42.70,CH13=2.18,CH14=18.28,CH15=39.96,CH16=1.46,CH20=26.09,CH21=0.44,CH22=0.85,CH23=28.04,CH24=0.44,CH25=0.00,CH32=13.55,
T001:01.06.2019,00.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.11,CH03=1.47,CH04=17.95,CH05=1.32,CH06=18.63,CH07=0.86,CH08=18.32,CH09=0.06,CH10=18.76,CH11=18.36,CH12=42.71,CH13=2.17,CH14=18.28,CH15=39.97,CH16=1.47,CH20=26.09,CH21=0.44,CH22=0.85,CH23=28.04,CH24=0.44,CH25=0.00,CH32=13.57,
T001:01.06.2019,01.00,UCL20136,CH01=2.17,CH02=18.10,CH03=1.48,CH04=17.95,CH05=1.33,CH06=18.63,CH07=0.87,CH08=18.32,CH09=0.05,CH10=18.75,CH11=18.35,CH12=42.72,CH13=2.18,CH14=18.28,CH15=39.96,CH16=1.47,CH20=26.10,CH21=0.43,CH22=0.86,CH23=28.05,CH24=0.43,CH25=0.00,CH32=13.60,

4. Stations de mesure Dipper PT et Dipper PTEC

a. Station de mesure de niveau avec capillaire de mise à l'air : Dipper PT

Concernant **la fourniture de stations d'acquisition** pour mesurer le niveau des nappes phréatiques utilisant une méthode de mesure par cellule barométrique différentielle, le système d'acquisition de données **MDS Dipper PT de SEBA** est proposé. Le matériel SEBA est fabriqué en Allemagne.



Le nouvel enregistreur parfaitement autonome **SEBA MDS Dipper PT** est le développement du MDS Dipper qui a fait ses preuves pour l'enregistrement continu des niveaux d'eaux souterraines apportant une attention particulière à l'exploitation et à la qualité des données.

La fonction "**Watch-Dog**" intégrée dans le **MDS- Dipper PT** surveille en permanence les activités du microprocesseur et garantit ainsi une haute sécurité d'exploitation. Les états non reconnus du système sont aussitôt détectés et éliminés par la fonction "Watch-Dog".

Le **MDS-Dipper PT** est équipé d'une mémoire flash (**RAM FLASH**). Les valeurs enregistrées sont mémorisées dans une mémoire circulaire et accessible même en cas d'absence d'alimentation dans la mémoire d'archivage.

Le capteur à l'avantage d'être intégré à la centrale d'acquisition formant un tout. L'ensemble est contenu dans un **boîtier robuste en inox, étanche à l'eau (IP68)**, résistant à la pression, avec une haute stabilité chimique à long terme. Il intègre également deux **pile au lithium interchangeable** pour une **durée de vie supérieure à 8 ans** (dépend aussi du cycle de temps choisi).

Un capillaire de compensation de la pression atmosphérique relie la sonde de pression à la surface, son extrémité est intégrée dans un dessiccateur.

Le **capteur de pression en céramique** est robuste et de haute précision pour des plages de mesures différentes par exemple 1 bar, 2 bars, 5 bars, etc...).

Les **dimensions réduites** de la sonde de pression d'un diamètre de 22mm et d'une longueur de 300 mm) permettent d'équiper des puits de forage de 1" de diamètre.

Le capteur de mesure qui est intégré à l'enregistreur n'est pas installé en surface mais est introduit dans le puits (cf schéma ci-dessous).



Ce système permet ainsi d'équiper des puits d'une profondeur conséquente. Le câble de liaison et de communication est un câble rond avec un capillaire de pression intégré. Le système d'acquisition de données MDS Dipper PT est suspendu par le câble de communication qui assure également la transmission et le paramétrage des données. Le tout est maintenu par l'intermédiaire d'un système de fixation au niveau de la tête de puits. L'absence de boîtier externe au piézomètre est un avantage, car il réduit considérablement les actes de vandalisme et simplifie l'installation.

La centrale reçoit et enregistre **un signal numérique**. **L'interface numérique RS485** permet la transmission des données, ainsi que le paramétrage et la lecture des données avec un câble d'interface sur PC portable et Pocket PC.

Le MDS Dipper PT possède un **microprocesseur 32 bit**.

La **capacité de mémoire** est de 4 MB Flash pour la mémorisation d'environ 280 000 valeurs mesurées (en cas de mémoire compressée). Les données les plus récentes prennent la place des données les plus anciennes (**mémoire tournante**). Une fonction d'observation du niveau permet des repères de temps, des valeurs de contrôle.

La **cadence de scrutation** est réglable allant de 1 min à 45 jours. La **température de fonctionnement** est comprise entre -20°C et + 70°C.

Capteur de pression capacitif, en céramique



La **précision de l'instrument de mesure** est de 0,05% soit 1 cm avec une plage de mesure de 20 m. La stabilité à long terme est de 0,1% / an. La **stabilité en température** est de 0,01% / K. La **plage de mesure** est de 2/10/20/40/100/200 m ou selon souhait.

La **résolution standard** du MDS Dipper PT est de 1 mm.

La **plage de mesure de la sonde de température** est de -5 à +50 °C avec une précision de +/- 0,1°C.

b. Station de mesure de niveau et de conductivité : Dipper PTEC

Le nouveau **Dipper-PTEC** offre à l'utilisateur tous les avantages d'un appareil de mesure moderne : une forme élancée et robuste, une grande plage de mesure associée à une résolution maximale, des capteurs ne nécessitant pas d'entretien ainsi qu'une utilisation aisée. Disposant de nombreux raffinements techniques, le nouveau Dipper-PTEC n'a pas son pareil.

De plus, il possède, comme il se doit, des accessoires pratiques de programmation et d'extraction des données ainsi qu'un puissant logiciel de gestion et d'interprétation des données. En tant que fournisseur complet, nous sommes à même de vous livrer tout ce dont vous avez besoin pour garantir un parfait fonctionnement de mesure : depuis la récupération des données jusqu'à leur évaluation !

Corps robuste en acier inox et forte résistance du matériau adaptés à des conditions d'utilisation extrêmes (surveillance des décharges et des sites contaminés etc.).

Petit diamètre de 22 mm s'adaptant à des tubes de forage à partir de 1,5".

Module d'alimentation externe avec 4 piles Baby 1,5V remplaçables
(Option : piles Baby au lithium pour des durées de fonctionnement ≤ 5 ans)
données de mesure

Canaux librement programmables pour le niveau d'eau, la température, la conductivité, la salinité, la valeur TDS et la tension des piles.



Quelques caractéristiques techniques

Électronique :

- Microprocesseur 32 Bit
- Mémoire flash 4 MB (= 280 000 données de mesure)
- Watch-Dog pour la surveillance des activités du microprocesseur
- Horloge temps réel avec batterie de secours
- Plage de température de fonctionnement : -25...+70°C

Corps :

- Matériau : Acier inoxydable
- Dimensions : diamètre 22 mm, longueur 320 mm
- Classe de protection : **IP68**

Mémorisation des valeurs de mesure :

- en temps réel
- résolution 16 bit
- Stockage des valeurs de contrôle avec date/heure
- Intervalle de mesure : 1 seconde à 99 heures
- Programmation : Cadences fixes, Quicklog, moyenne, gestion d'événements
- 32 canaux max. (niveau d'eau, température, conductivité, salinité, valeur TDS, densité de l'eau, tension des piles etc.)

Module d'alimentation (enfichable) :

- Matériau (tube): aluminium
- Dimensions : diamètre 35 mm, longueur 345mm
- Classe de protection : **IP68**
- Dispositif d'accrochage pour obturateurs à partir de 2"
- Option : Plaque d'accrochage pour des diamètres de tube allant de 2" à 6"
- Interface de communication série RS 485 avec bouchon de protection connexion optionnelle via une interface Bluetooth

Capteur de pression :

- Capteur de pression en céramique, robuste et stable sur le long terme
- Principe de mesure : capacitif
- Précision de mesure : $\pm 0,05\%$ = 1 cm pour Plage de mesure de 20m
- Stabilité à long terme : $\pm 0,1\%$ / an
- Stabilité de température : $\pm 0,01\%$ / K
- Plages de mesure : 2 / 10 / 20 / 40 / 100 / 200 m ou selon indication
- Résolution : $\pm 0,01\%$

Sonde de température :

- NTC30 avec linéarisation des polynômes
- Plage de mesure : $-5...+60^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$
- Précision de mesure : $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$
- Résolution : $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$

Capteur de conductivité :

- Cellule de mesure : à 4 pôles
- Plage de mesure (globale): 0-200mS/cm, jusqu'à 400 mS/cm à 50°C
- Commutation automatique de plage de mesure :
0-200 $\mu\text{S/cm}$; 0,2-2mS/cm; 2,2mS/cm; 20-200 mS/cm
- Résolution : 0,03 $\mu\text{S/cm}$; 0,3 $\mu\text{S/cm}$; 3 $\mu\text{S/cm}$; 30 $\mu\text{S/cm}$
- Précision de mesure :
 $\pm 1\mu\text{S/cm}$ pour une plage de mesure de 0-200 $\mu\text{S/cm}$
 $\pm 0,5\%$ pour une plage de mesure de 0,2-200mS
- Plage de pression : 0..50 bar

Câble de mesure spécial : Câble rond blindé avec capillaire compensateur de pression (longueur jusqu'à 1000 m max.) comprenant un absorbeur d'humidité, à 2 parties, doté d'une cartouche dessiccative et d'une membrane Gore-Tex

5. Stations d'acquisition UnilogCom 3G+

UnilogCOM est un produit conçu par SEBA Hydrometrie, capable d'enregistrer numériquement le niveau de l'eau ou tout autre paramètre tel que le débit, la qualité de l'eau ou les précipitations. L'utilisation d'une mémoire flash qui est à la pointe de la technologie permet d'obtenir une capacité mémoire relativement importante associée à une haute sécurité des données. Les nouveaux systèmes d'enregistrement se caractérisent également par une faible consommation d'énergie et par une carte électronique aux dimensions réduites. Leurs fonctionnalités les plus importantes sont les suivantes :

Différents modes d'enregistrement : horloge, dynamique ou sur événements

Commande on/off individuelle des capteurs associés (optimisation de la consommation d'énergie)

Transmission des données via GSM/GPRS/3G/SMS, au travers du modem



L'enregistreur comporte une unité centrale (CPU) autonome. Au total, deux entrées analogiques et deux entrées impulsions peuvent être connectées à l'enregistreur via les terminaux. Un module externe permet d'augmenter le nombre de voies à 32. Une carte CPU fonctionne avec un bus CPU afin de pouvoir associer plusieurs capteurs numériques à un mono Master-Unit/multi-esclaves. De ce fait, il est possible de séparer entièrement le système de gestion de l'enregistreur avec celui de l'alarme. Une horloge temps réel (RTC-IC) assure les fonctions d'horloge et de surveillance, indépendamment du microcontrôleur.

L'enregistreur **UnilogCom** comprend un modem **GSM/GPRS/SMS intégré** pour la transmission des données et elle peut également se faire automatiquement grâce à la fonction FTP Push. Il n'a jamais été aussi facile de collecter automatiquement les données de toutes vos stations terrains.

La fonction "**Watch-Dog**" intégrée dans l'UNILOGCOM surveille en permanence les activités du microprocesseur et garantit ainsi une haute sécurité d'exploitation. Les états non reconnus du système sont aussitôt détectés et éliminés par la fonction "Watch-Dog"

La station est équipée d'une mémoire flash (**RAM FLASH**). Les valeurs enregistrées sont mémorisées dans une mémoire circulaire et accessible même en cas d'absence d'alimentation dans la mémoire d'archivage.

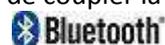
La centrale reçoit et enregistre **un signal numérique**. L'**interface numérique** RS485 permet la transmission des données, ainsi que le paramétrage et la lecture des données avec un câble d'interface sur PC portable et Tablet PC. (variante USB avec module adéquat)

L'enregistreur possède un **microprocesseur 16 bit**.

La **capacité de mémoire** est de 4 MB Flash pour la mémorisation d'environ 280 000 valeurs mesurées minimum. Les données les plus récentes prennent la place des données les plus anciennes (**mémoire tournante**). Une fonction d'observation du niveau permet des repères de temps, des valeurs de contrôle.

La **cadence de scrutation** est réglable allant de 1 min à 45 jours. La **température de fonctionnement** est comprise entre -30°C et + 85°C.

En option, il est possible de coupler la station avec un module **Bluetooth** pour une transmission sans fil.



Caractéristiques techniques

Caractéristiques électroniques :

alimentation électrique : externe 4,5... 20 V
Consommation (en mode veille) : 100 µA
Courant de pointe (transmission par modem) : 500 mA
Contrôleur flash M16C 16 bit avec watchdog intégré
Horloge temps réel
Mémoire flash de 4 MB (env. 280 000 valeurs)
Voies logiques : jusqu'à 32 canaux
Convertisseur A/D 16 bit

Commande et affichage :

Affichage (3 lignes de 16 caractères, 3,65 mm)
Clavier avec 3 touches de fonction

Interface :

RS232 - RS485

Entrées :

Interface pour capteur RS485 (SHWP)
Interface pour capteur SDI12 (en option)
Entrée compteur up/down, compteur de phases, impulsions (pluie)
2 entrées contact (contrôle, protocole)
2 entrées analogiques bi/unipolaires pour signaux standards, max 32 entrées analogiques (en option) grâce au module externe

Sorties optionnelles :

Binaire – BCD – Gray

Modem GSM / GPRS / 3G / SMS et FTP Push :

Fréquence : 850/900/1800/1900MHz
(EGSM, Quadband)
Sortie HF maxi : 2W 850/ 900MHz
1W 1800/1900MHzA
Impédance de l'antenne : 50 Ohm
Carte SIM : 1.8V / 3V
Courant électrique: 50mA (en mode réception)
15mA (en mode veille)
0.5A (en mode transmission)

Température de fonctionnement :

-30°C...70°C

Classe de protection :

IP65

Dimensions :

157x126x60 mm (LxlxH)

Boîtier :

Polycarbonat (robuste / résistant aux intempéries)

Annexe 8

Equipement des ouvrages DemTer0 et DemMer0 avec le matériel d'IMAGEAU et KLOE

RAPPORT DE CALIBRATION DES SMD INSTALLEES DANS LE CADRE DU PROJET DEM'EAUX ROUSSILLON ET PREMIERS RESULTATS

SITES DE SAINT CYPRIEN (DEM MER) ET POLLESTRES (DEM TERRE)

SMD Scy1 ET Pol1

BRGM Montpellier
Projet DEMEAUX-ROUSSILLON
N° Marchés : HAD3E170614-1 (Lot1) et HAD3E170614-2 (Lot 2)

Auteur	Denis Neyens - imaGeau
Version / Date	V1 / Septembre 2019
Numéro de projet	HAD3E170614

Synthèse

Ce rapport résume les travaux de calibration des Stations de Surveillance SMD (Subsurface Monitoring Device) installées par imaGeau sur les sites de Saint Cyprien (DemMer) et Pollestres (DemTerre) dans le cadre du projet Dem'Eaux.

Les SMD définis comme « Scy1 » et « Pol1 » ont été respectivement installés dans les piézomètres Dem'MERO et Dem'TERO. (Pour un compte rendu d'installation, cf. les rapports d'installation fournis sur chacun des sites en avril 2018 et mai 2018 par imaGeau).



Sommaire

1. Rappel sur l'état final de l'instrumentation	3
A. Dem'Terre – Pollestres (Pol1)	3
B. Dem'Mer – Saint Cyprien (Scy1).....	4
2. Calibration des SMD.....	8
A. Principe des SMD (cf. Annexe A).....	8
B. Passer de la Résistivité à la Conductivité du fluide	9
a) Détermination de la conductivité de surface C_s	9
b) Détermination du facteur de formation F.....	10
C. Résultats de calibration.....	10
a) DemTerre (Pol1)	10
b) Dem'Mer (Scy1)	11
3. Premiers résultats.....	15
A. Dem'Terre – Pollestres -Pol1.....	15
B. Dem'Mer – Saint Cyprien/Canet – Scy1	17
4. Suite des travaux.....	20

Liste des illustrations

<i>Figure 1: Chroniques des mesures de conductivité de l'eau à certaines profondeurs depuis février 2018 (acquisition au pas de 6 heures) et de pression (acquisition au pas de 2 minutes) sur le SMD Pol1.....</i>	16
<i>Figure 2: Visualisation de l'évolution de la conductivité électrique de l'eau (en couleur) versus temps et profondeurs sur août septembre 2018 – SMD Pol1</i>	17
<i>Figure 3: Chroniques des mesures de conductivité de l'eau à certaines profondeurs depuis février 2018 (acquisition au pas de 6 heures) et de pression (acquisition au pas de 2 minutes) sur le SMD Scy1</i>	18
<i>Figure 4: Chroniques des mesures de pression (acquisition au pas de 2 minutes) sur le SMD Scy1.....</i>	19
<i>Figure 5: Visualisation de l'évolution de la conductivité électrique de l'eau (en couleur) versus temps et profondeur sur juillet septembre 2018 – SMD Scy1</i>	19
<i>Figure 6 : principe de la mesure et calibration du SMD.....</i>	22

Liste des tableaux

<i>Tableau 1: Position et profondeurs des différents types de capteurs après installation</i>	4
<i>Tableau 2: Position et profondeurs des différents types de capteurs après installation</i>	8
<i>Tableau 3 : Paramètres de calibration du SMD Pol1.....</i>	11
<i>Tableau 8 : : Paramètres de calibration du SMD Scy1</i>	14



1. Rappel sur l'état final de l'instrumentation

A. Dem'Terre – Pollestres (Pol1)

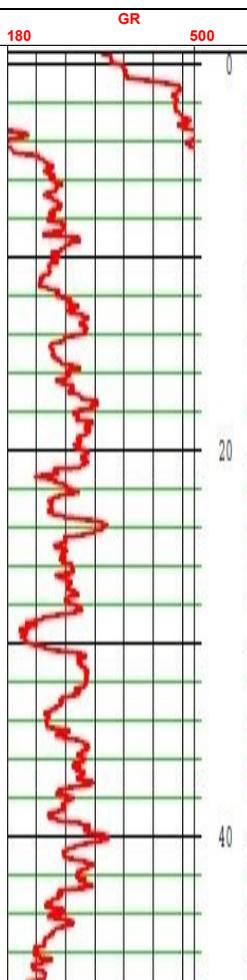
L'installation en forage a eu lieu le 11 mai 2018. Ce SMD comporte :

- 50 électrodes espacées tous les deux mètres pour les mesures de résistivité (et conductivité électrique de l'eau)
- 4 capteurs de Pression/température sur le profile

Le SMD est associée à une fibre optique de mesures de températures (installée par KLOE). Toute l'instrumentation a été installée dans le piézomètre Dem'TERO et coulée dans un mélange de bentonite pour éviter les connexions hydrauliques entre les différents aquifères via le piézomètre.

Les profondeurs des capteurs sont notées dans le tableau ci-dessous (Tableau 1).

Profondeur électrodes	N° Electrodes	Capteur P	Profondeur – Capteur T°	N° Capteur T	GR
0,5					180
1,5					500
2,5					
3,5					
4,5					
5,5	1				
6,5					
7,5	2		7	1	
8,5					
9,5	3				
10,5					
11,5	4				
12,5			12	2	
13,5	5				
14,5					
15,5	6				
16,5					
17,5	7		17	3	
18,5					
19,5	8				
20,5					20
21,5	9				
22,5			22	4	
23,5	10				
24,5					
25,5	11				
26,5					
27,5	12		27	5	
28,5		P1 - 29m			
29,5	13				
30,5					
31,5	14				
32,5			32	6	
33,5	15				
34,5					
35,5	16				
36,5					
37,5	17		37	7	
38,5					
39,5	18				
40,5					40
41,5	19				
42,5			42	8	
43,5	20				
44,5					
45,5	21				
46,5					



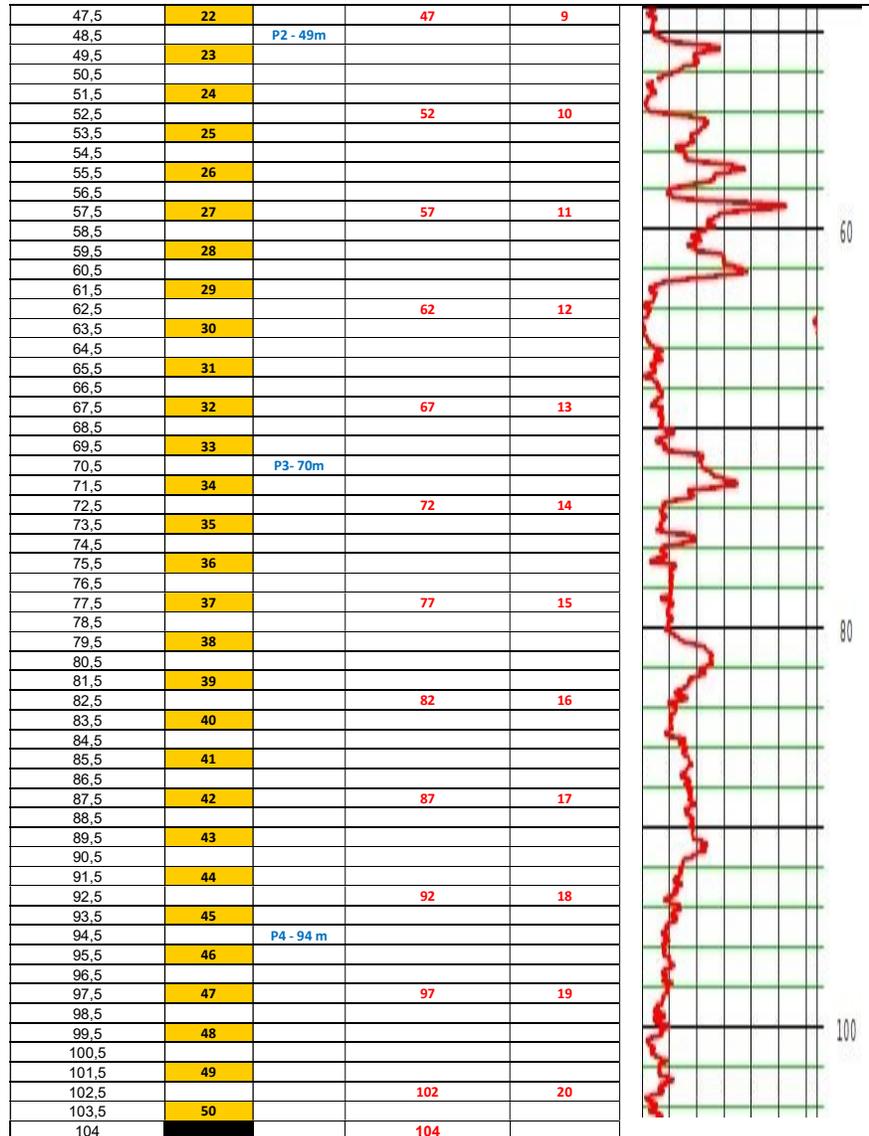



Tableau 1: Position et profondeurs des différents types de capteurs après installation

Les centrales d'acquisition n'ont été installées qu'un fois que le container et l'électricité ont été fournis sur place. La centrale d'acquisition du SMD Pol1 a ainsi été mise en place et en fonctionnement le 6 février 2018.

B. Dem'Mer – Saint Cyprien (Scy1)

L'installation en forage a eu lieu le 11 mai 2018. Ce SMD comporte :

- 120 électrodes espacées tous les deux mètres pour les mesures de résistivité (et conductivité électrique de l'eau)
- 4 capteurs de Pression/température sur le profile



Le SMD est associée à une fibre optique de mesures de températures (installée par KLOE).
Toute l'instrumentation a été installée dans le piézomètre Dem'MERO et coulée dans un mélange de bentonite pour éviter les connexions hydrauliques entre les différents aquifères via le piézomètre.

Les profondeurs des capteurs sont notées dans le tableau ci-dessous (Tableau 2).
Le tableau ci-dessous indique la profondeur de chaque capteur et/ou électrode.

Profondeur électrodes	N° Electrodes	Capteur P	Profondeur – Capteur T°	N° Capteur T
0,35				
1,35				
2,35				
3,35			3,85	1
4,35				
5,35				
6,35	1			
7,35				
8,35	2		8,85	2
9,35				
10,35	3			
11,35				
12,35	4			
13,35			13,85	3
14,35	5			
15,35				
16,35	6			
17,35				
18,35	7		18,85	4
19,35				
20,35	8			
21,35				
22,35	9			
23,35			23,85	5
24,35	10			
25,35				
26,35	11			
27,35				
28,35	12		28,85	6
29,35				
30,35	13	P1 – 30,05		
31,35				
32,35	14			
33,35			33,85	7
34,35	15			
35,35				
36,35	16			
37,35				
38,35	17		38,85	8
39,35				
40,35	18			
41,35				
42,35	19			
43,35			43,85	9
44,35	20			
45,35				
46,35	21			
47,35				
48,35	22		48,85	10
49,35				
50,35	23			
51,35				
52,35	24			
53,35			53,85	11
54,35	25			
55,35				
56,35	26			
57,35				
58,35	27	P2 – 58,05	58,85	12



59,35				
60,35	28			
61,35				
62,35	29			
63,35			63,85	13
64,35	30			
65,35				
66,35	31			
67,35				
68,35	32		68,85	14
69,35				
70,35	33			
71,35				
72,35	34			
73,35			73,85	15
74,35	35			
75,35				
76,35	36			
77,35				
78,35	37		78,85	16
79,35				
80,35	38			
81,35				
82,35	39			
83,35			83,85	17
84,35	40			
85,35				
86,35	41			
87,35				
88,35	42		88,85	18
89,35				
90,35	43			
91,35				
92,35	44			
93,35			93,85	19
94,35	45			
95,35				
96,35	46			
97,35				
98,35	47		98,85	20
99,35				
100,35	48			
101,35				
102,35	49			
103,35			103,85	21
104,35	50			
105,35				
106,35	51			
107,35				
108,35	52		108,85	22
109,35				
110,35	53			
111,35				
112,35	54			
113,35			113,85	23
114,35	55			
115,35				
116,35	56			
117,35				
118,35	57		118,85	24
119,35				
120,35	58			
121,35				
122,35	59			
123,35			123,85	25
124,35	60			
125,35				
126,35	61			
127,35				
128,35	62		128,85	26
129,35		P3 - 129,65		
130,35	63			
131,35				



132,35	64			
133,35			133,85	27
134,35	65			
135,35				
136,35	66			
137,35				
138,35	67		138,85	28
139,35				
140,35	68			
141,35				
142,35	69			
143,35			143,85	29
144,35	70			
145,35				
146,35	71			
147,35				
148,35	72		148,85	30
149,35				
150,35	73			
151,35				
152,35	74			
153,35			153,85	31
154,35	75			
155,35				
156,35	76			
157,35				
158,35	77		158,85	32
159,35				
160,35	78			
161,35				
162,35	79			
163,35			163,85	33
164,35	80			
165,35				
166,35	81			
167,35				
168,35	82		168,85	34
169,35				
170,35	83			
171,35				
172,35	84			
173,35			173,85	35
174,35	85			
175,35				
176,35	86			
177,35				
178,35	87		178,85	36
179,35				
180,35	88			
181,35				
182,35	89			
183,35			183,85	37
184,35	90			
185,35				
186,35	91			
187,35				
188,35	92		188,85	38
189,35				
190,35	93			
191,35				
192,35	94			
193,35			193,85	39
194,35	95			
195,35				
196,35	96			
197,35				
198,35	97		198,85	40
199,35				
200,35	98			
201,35				
202,35	99			
203,35			203,85	41
204,35	100			
205,35				



206,35	101			
207,35				
208,35	102	P4 - 208,55	208,85	42
209,35				
210,35	103			
211,35				
212,35	104			
213,35			213,85	43
214,35	105			
215,35				
216,35	106			
217,35				
218,35	107		218,85	44
219,35				
220,35	108			
221,35				
222,35	109			
223,35			223,85	45
224,35	110			
225,35				
226,35	111			
227,35				
228,35	112		228,85	46
229,35				
230,35	113			
231,35				
232,35	114			
233,35			233,85	47
234,35	115			
235,35				
236,35	116			
237,35				
238,35	117		238,85	48
239,35				
240,35	118			
241,35				
242,35	119			
243,35			243,85	49
244,35	120			
245			245	

Tableau 2: Position et profondeurs des différents types de capteurs après installation

Les centrales d'acquisition n'ont été installées qu'un fois que le container et l'électricité ont été fournis sur place. La centrale d'acquisition du SMD Scy1 a ainsi été mise en place et en fonctionnement le 18 juin 2018.

2. Calibration des SMD

A. Principe des SMD (cf. Annexe A)

Le SMD mesure la résistivité apparente ($\Omega \cdot m$) sur toute la profondeur du forage.

À partir de ces données de résistivité, les données de conductivité du fluide sont calculées (Cw exprimée en $\mu S / cm$ ou en mS / cm).

Les données enregistrées par le SMD dépendent de :

- la nature et la quantité d'argiles,
- la porosité,
- la connectivité des pores,
- température et
- salinité du liquide interstitiel



La calibration correspond à la soustraction des composantes géologiquement invariantes du signal mesuré. Les paramètres géologiques sont déduits de l'étude géologique et géophysique (réalisée à partir des diagraphies). A partir de ces deux informations (paramètres géologiques et mesures de résistivité), un programme développé par imaGeau calcule automatiquement la conductivité de l'eau pour chaque profondeur à chaque date.

Afin de bien contraindre ses mesures en forage, de calibrer le SMD et d'appréhender au mieux le site d'un point de vue hydrogéologique, des mesures in situ dans les forages ont été réalisées et analysées.

Ces profils verticaux de mesures ponctuelles permettent d'avoir des informations sur :

- la lithologie par mesure de sonde Gamma Ray et potentiel spontané,
- les paramètres hydro-chimiques des fluides dans le puits (Température, conductivité, ...)

Le laboratoire Géosciences du CNRS a eu la charge de la réalisation de ces diagraphies. Les données brutes ont ensuite été transmises à imaGeau pour interprétation, (via le logiciel WellCad).

B. Passer de la Résistivité à la Conductivité du fluide

La conversion en conductivité du fluide est basée sur les équations d'Archie et de Waxman & Smith :

$$C_0 = \frac{C_w}{F} + C_s$$

Il en résulte :

$$C_w = \left(\frac{1}{R_0} - C_s \right) \cdot F$$

avec R_0 : Résistivité du milieu (mesurée par l'observatoire)

C_s : Conductivité de surface due aux argiles

F : Facteur de formation où

a) Détermination de la conductivité de surface C_s

C_s peut être déduit de la diagraphie de Gamma Ray et des descriptions de la coupe de forage réalisé par Fugro. Le volume de schiste (V_{sh}) peut être calculé à partir de cette diagraphie à chaque point de profondeur en utilisant la formule :

$$V_{sh} = \frac{(GR - GR_{\min})}{GR_{\max} - GR_{\min}}$$

Où

- V_{sh} : volume d'argile à la profondeur z



- GR : valeur du Gamma Ray à la profondeur z
- GRmin : la valeur minimale du Gamma Ray de la diagraphie
- GRmax : la valeur maximale de la diagraphie de Gamma Ray

La conductivité de surface C_s est déduite du volume d'argile, en utilisant la valeur maximale de la conductivité d'argile ($C_{s\max}$) obtenue par la diagraphie électrique en face de couche d'argile.

$$C_s = V_{sh} * C_{s\max}$$

b) Détermination du facteur de formation F

Le facteur de formation F est donné par la loi d'Archie :

$$F = \Phi^{-m}$$

Où

- Φ : porosité,
- m : indice de cimentation

La porosité Φ peut être déduite de la diagraphie de conductivité électrique et de résistivité via l'équation de Waxman et Smith.

C. Résultats de calibration

a) DemTerre (Pol1)

Profondeur (m)	Porosité	F	C_s (mS/m)
9,50	0,40	4,33	109,38
11,50	0,35	5,36	76,13
13,50	0,40	4,33	98,00
15,50	0,40	4,33	92,75
17,50	0,40	4,33	98,00
19,50	0,40	4,33	90,13
21,50	0,40	4,33	96,25
23,50	0,40	4,33	78,75
25,50	0,40	4,33	100,63
27,50	0,40	4,33	86,63
29,50	0,40	4,33	59,50
31,50	0,35	5,36	68,25
33,50	0,40	4,33	59,50
35,50	0,40	4,33	67,38
37,50	0,40	4,33	77,00
39,50	0,40	4,33	75,25
41,50	0,40	4,33	77,00
43,50	0,40	4,33	91,88
45,50	0,40	4,33	26,25
47,50	0,35	5,36	24,50
49,50	0,35	5,36	28,00

51,50	0,35	5,36	48,13
53,50	0,35	5,36	37,63
55,50	0,35	5,36	63,88
57,50	0,40	4,33	65,63
59,50	0,40	4,33	113,75
61,50	0,40	4,33	96,25
63,50	0,40	4,33	65,63
65,50	0,35	5,36	35,00
67,50	0,35	5,36	26,25
69,50	0,35	5,36	28,88
71,50	0,35	5,36	34,13
73,50	0,40	6,25	61,25
75,50	0,35	5,36	28,88
77,50	0,35	5,36	30,63
79,50	0,35	5,36	23,63
81,50	0,35	8,16	21,00
83,50	0,40	6,25	43,75
85,50	0,35	8,16	15,75
87,50	0,40	4,33	19,25
89,50	0,40	6,25	17,50
91,50	0,40	6,25	10,50
93,50	0,35	5,36	20,13
95,50	0,35	5,36	20,13
97,50	0,35	5,36	14,00
99,50	0,35	5,36	14,00
101,50	0,35	5,36	14,00

Tableau 3 : Paramètres de calibration du SMD Pol1

b) Dem'Mer (Scy1)

Profondeur (m)	Porosité	F	Cs (mS/m)
10,35	0,40	5,20	2,41
12,35	0,48	3,01	2,41
14,35	0,44	3,29	9,66
16,35	0,40	3,95	24,23
18,35	0,40	5,20	29,99
20,35	0,40	4,14	31,63
22,35	0,40	6,25	29,66
24,35	0,44	3,57	33,62
26,35	0,40	5,20	44,88
28,35	0,36	7,72	45,86
30,35	0,40	5,70	62,26
32,35	0,40	6,25	60,80
34,35	0,40	6,25	49,44
36,35	0,42	5,67	45,86
38,35	0,42	5,67	44,78
40,35	0,44	3,43	77,24



42,35	0,44	3,72	70,81
44,35	0,44	3,72	71,33
46,35	0,40	4,33	61,83
48,35	0,45	3,59	127,93
50,35	0,40	4,33	111,03
52,35	0,35	5,36	82,07
54,35	0,35	5,36	82,07
56,35	0,35	5,36	71,45
58,35	0,35	5,36	62,76
60,35	0,35	5,36	51,66
62,35	0,35	5,36	50,69
64,35	0,36	5,13	48,28
66,35	0,44	3,72	45,86
68,35	0,40	4,33	45,86
70,35	0,35	5,36	48,28
72,35	0,35	8,16	33,79
74,35	0,35	8,16	33,79
76,35	0,25	16,00	24,14
78,35	0,28	9,89	24,14
80,35	0,29	9,28	24,14
82,35	0,30	9,85	24,14
84,35	0,37	7,30	38,62
86,35	0,40	5,20	41,03
88,35	0,40	5,20	31,38
90,35	0,40	4,33	67,59
92,35	0,40	4,33	55,52
94,35	0,35	5,36	59,87
96,35	0,40	4,33	69,19
98,35	0,40	4,33	76,96
100,35	0,40	4,33	82,03
102,35	0,40	4,33	75,06
104,35	0,40	4,33	64,05
106,35	0,40	4,33	65,52
108,35	0,40	4,33	82,07
110,35	0,40	4,33	96,55
112,35	0,40	4,33	77,72
114,35	0,40	4,33	79,66
116,35	0,40	4,33	62,76
118,35	0,35	5,36	42,48
120,35	0,35	5,36	47,79
122,35	0,35	5,36	41,03
124,35	0,35	5,36	39,59
126,35	0,40	4,33	78,21
128,35	0,40	4,33	75,79



130,35	0,40	4,33	81,10
132,35	0,40	4,33	73,86
134,35	0,40	4,33	65,17
136,35	0,35	5,36	46,34
138,35	0,40	4,33	82,07
140,35	0,40	4,33	67,59
142,35	0,40	4,33	118,28
144,35	0,40	4,33	84,48
146,35	0,40	4,33	93,17
148,35	0,40	4,33	82,07
150,35	0,35	5,36	78,21
152,35	0,40	4,33	73,38
154,35	0,40	4,33	50,69
156,35	0,40	4,33	69,03
158,35	0,35	5,36	53,10
160,35	0,40	4,33	85,45
162,35	0,40	4,33	105,24
164,35	0,40	4,33	99,45
166,35	0,40	4,33	77,24
168,35	0,45	3,59	128,90
170,35	0,40	4,33	77,24
172,35	0,40	4,33	67,59
174,35	0,40	4,33	68,55
176,35	0,35	5,36	59,38
178,35	0,40	4,33	86,90
180,35	0,40	4,33	118,28
182,35	0,40	4,33	94,14
184,35	0,40	4,33	106,21
186,35	0,40	4,33	71,01
188,35	0,40	4,33	127,93
190,35	0,40	4,33	57,93
192,35	0,45	3,59	118,28
194,35	0,40	4,33	85,04
196,35	0,40	4,33	85,93
198,35	0,40	4,33	82,07
200,35	0,35	5,36	60,34
202,35	0,35	5,36	113,45
204,35	0,40	4,33	84,48
206,35	0,40	4,33	89,31
208,35	0,40	4,33	105,24
210,35	0,40	4,33	76,28
212,35	0,45	3,59	82,07
214,35	0,35	5,36	43,93
216,35	0,35	5,36	38,62



218,35	0,35	5,36	55,03
220,35	0,40	4,33	68,55
222,35	0,40	4,33	80,14
224,35	0,40	4,33	77,24
226,35	0,40	4,33	78,21
228,35	0,40	4,33	50,69
230,35	0,40	4,33	115,86
232,35	0,40	4,33	125,52
234,35	0,40	4,33	111,03
236,35	0,40	4,33	82,07
238,35	0,40	4,33	96,55
240,35	0,40	4,33	67,59
242,35	0,40	4,33	77,72

Tableau 4: : Paramètres de calibration du SMD Scy1



3. Premiers résultats

A. Dem'Terre – Pollestres -Pol1

Le SMD Pol1 installé sur Dem'Terre réalise des profils verticaux toutes les 6 heures (donc 4 par jour) de résistivité qui sont ensuite convertis en conductivité électrique de l'eau. Des mesures de pression et températures multi-niveaux (4 profondeurs) sont aussi enregistrées à la fréquence de 2 minutes.

Par l'intermédiaire de l'application en ligne EConsult, nous pouvons générer des graphes (avec une multitude d'options).

Ainsi, nous pouvons tracer les mesures de conductivité en temps sur certaines profondeurs en associant les mesures de pression enregistrées (Figure 1).

Les chroniques de conductivité débutent le 8 février 2019. Sur les 6 premiers mois de données, nous observons une évolution à la baisse de la conductivité sur plusieurs niveaux correspondant aux différents aquifères (dans des proportions différentes jusqu'à 80m). Seul les mesures en profondeur (80 – 100m) ne semblent pas impactées.

Ce phénomène observé aujourd'hui n'est pas encore expliqué. Il faudra le corrélérer avec d'autres évènements et mesures pour pouvoir l'interpréter de manière correcte.

Par ailleurs, les mesures de niveau d'eau sur les 4 profondeurs ont des comportements très similaires avec une baisse du niveau d'eau depuis avril 2018 jusqu'à fin août (Figure 1). La remontée du niveau s'opère depuis septembre.

Les trois niveaux mesurés à 29m, 49m et 94 m sont très proches (avec un niveau NGF de l'ordre de 11m au début de l'acquisition). Cependant la mesure effectuée à 70m présente un décalage de 1,2 mètre par rapport à ces mesures, traduisant une surpression locale (Figure 1).



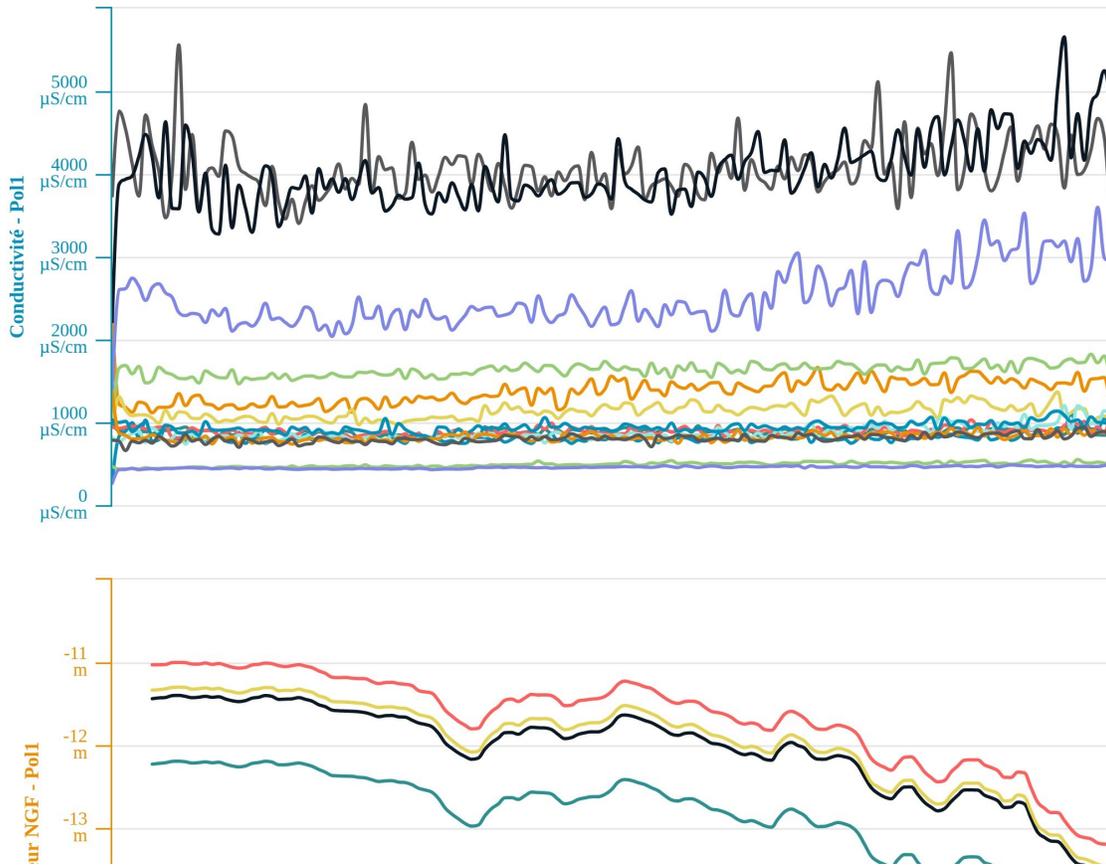


Figure 1: Chroniques des mesures de conductivité de l'eau à certaines profondeurs depuis février 2018 (acquisition au pas de 6 heures) et de pression (acquisition au pas de 2 minutes) sur le SMD Pol1

Par mesure de lisibilité, les chroniques de conductivité ne sont pas toutes représentées sur le graphe Figure 1.

L'ensemble de mesures peut s'observer en traçant les graphes en couleur (temps sur l'axe des abscisses, profondeur sur l'axe des ordonnées et conductivité en couleur ; Figure 2).



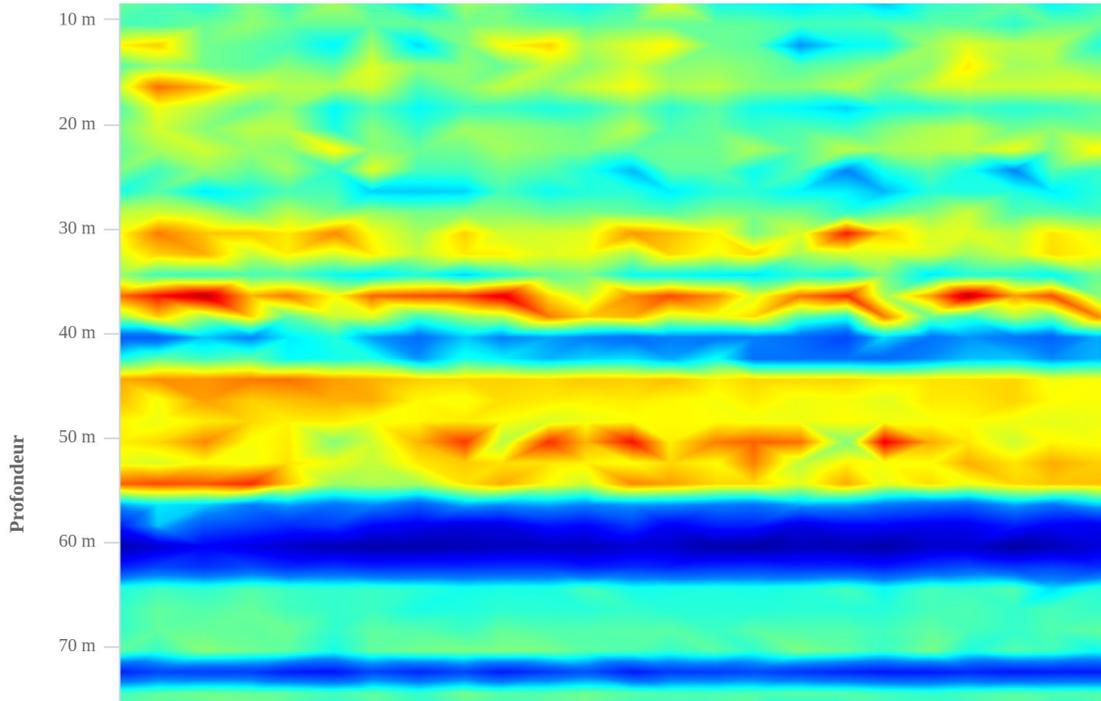


Figure 2: Visualisation de l'évolution de la conductivité électrique de l'eau (en couleur) versus temps et profondeurs sur août septembre 2018 – SMD Pol1

Ce type de graphe permet d'identifier les zones où la conductivité semble plus élevée et sa dynamique dans le temps. Sur Pollestres, la zone entre 45 et 55m semble présenter une eau plus conductive, de l'ordre de 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$; alors que les aquifères plus profonds (au-delà de 60 mètres) présentent des conductivités très douces (<500. $\mu\text{S}/\text{cm}$).

B. Dem'Mer – Saint Cyprien/Canet – Scy1

Au même titre que sur Pollestres, des chroniques de conductivité peuvent être représentées (Figure 3). Ces chroniques permettent de suivre l'évolution des conductivités de l'eau et d'identifier les zones les plus conductrices. Sur Saint cyprien, l'aquifère superficiel (Quaternaire) est très impactée par l'eau de mer très proche (conductivités supérieures à 20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$)



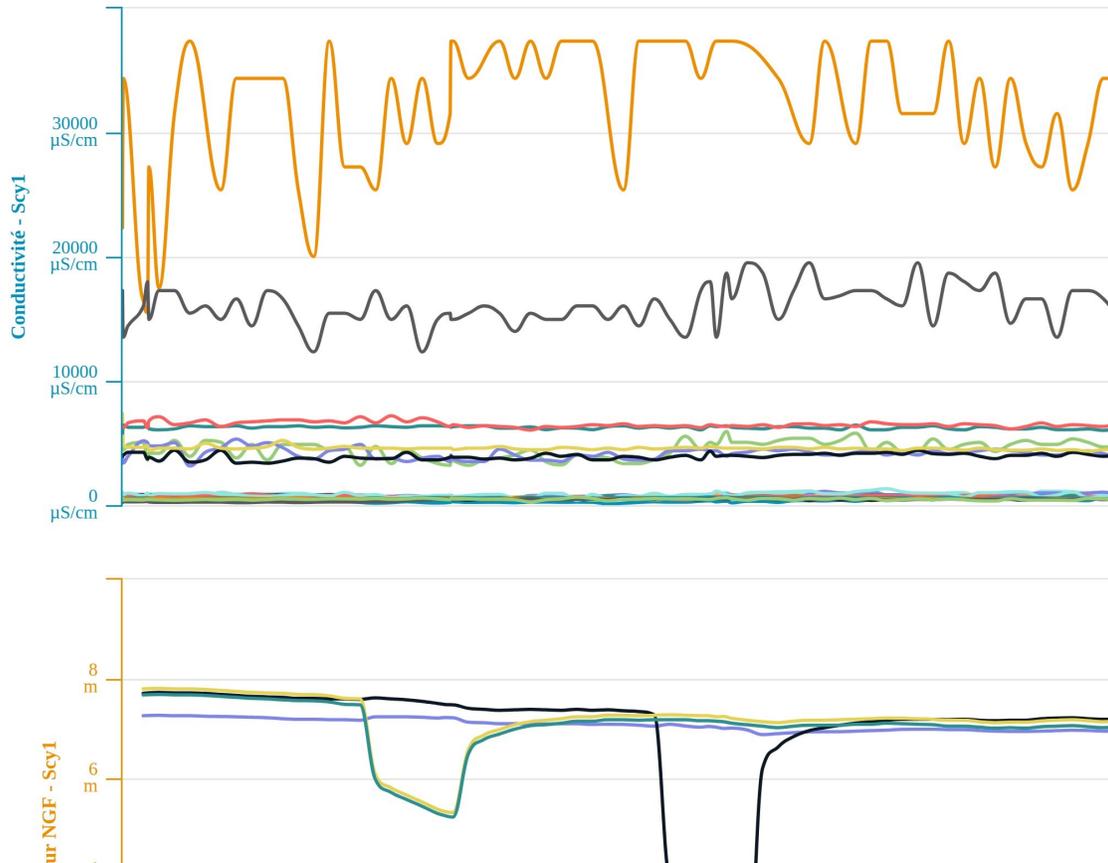


Figure 3: Chroniques des mesures de conductivité de l'eau à certaines profondeurs depuis février 2018 (acquisition au pas de 6 heures) et de pression (acquisition au pas de 2 minutes) sur le SMD Scy1

Ce SMD permet aussi de suivre des niveaux d'eau enregistrés à différentes profondeurs. Ces mesures sont très semblables (Figure 4).
Les essais de pompages réalisés en début juillet et fin juillet sur bien enregistrés.



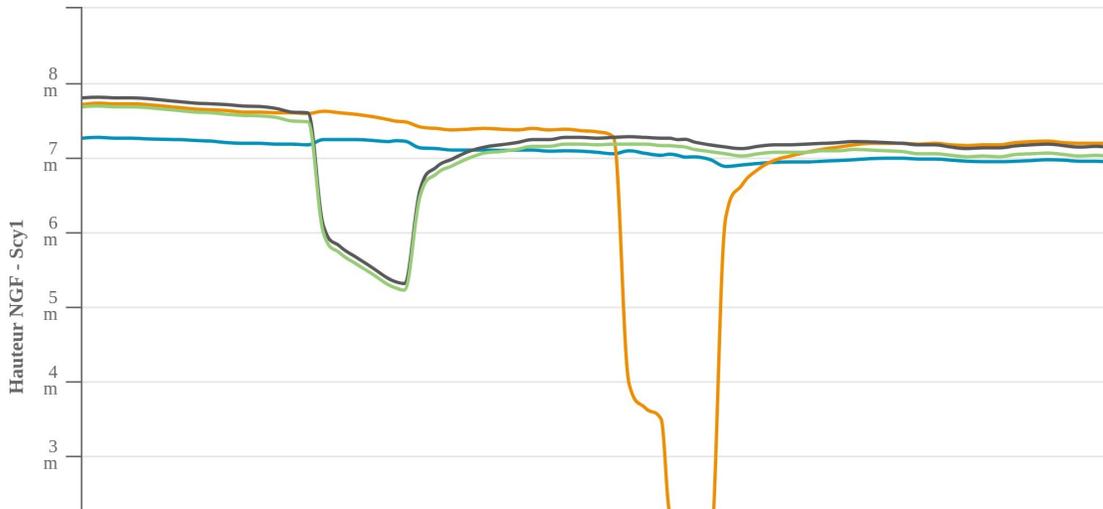


Figure 4: Chroniques des mesures de pression (acquisition au pas de 2 minutes) sur le SMD Scy1

Enfin, le graphe 3D (temps, profondeur, conductivité) permet de bien identifier l'aquifère quaternaire très impacté par l'eau de mer (zone 0 – 20m) avec une diminution progressive du sel en profondeur pour atteindre environ 4000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ vers 50 m).

Tous les aquifères en profondeurs (au-delà de 100 m) présente une eau très douce (400 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La chronique actuelle ne permet pas encore de voir des évolutions dans le temps ou très peu.

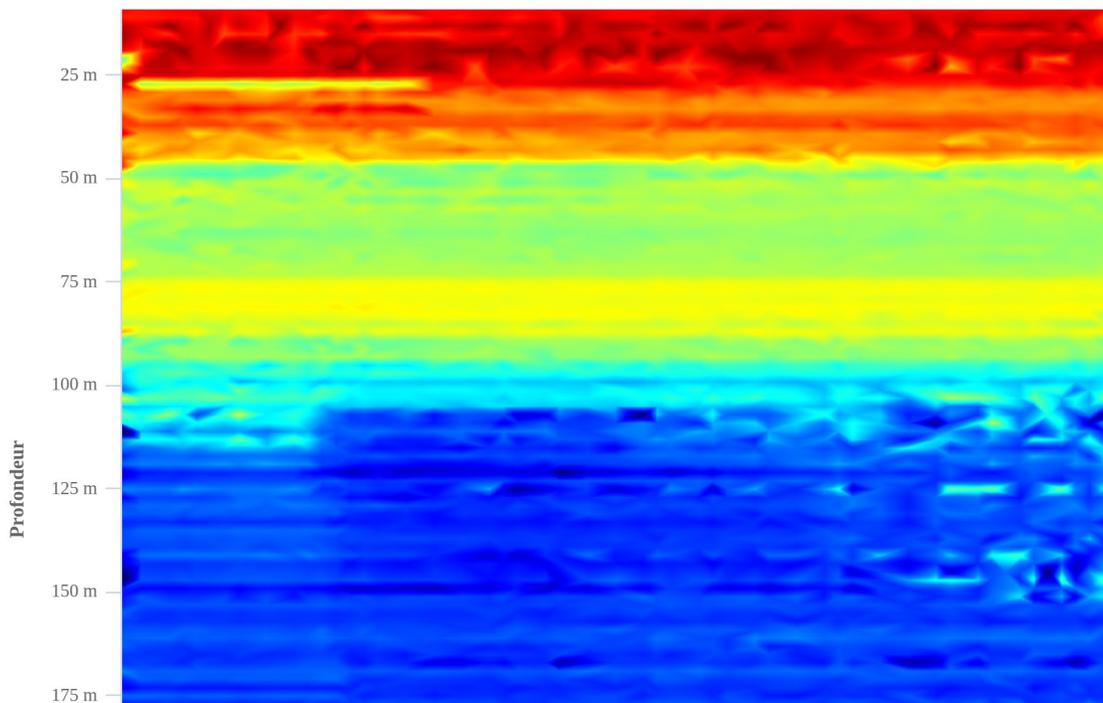


Figure 5: Visualisation de l'évolution de la conductivité électrique de l'eau (en couleur) versus temps et profondeur sur juillet septembre 2018 - SMD Scy1



4. Suite des travaux

La calibration des deux SMD est effective et les données sont automatiquement traitées. Elles sont accessibles à tous les partenaires du projet qui souhaitent y avoir accès (via notre application en ligne par exemple).

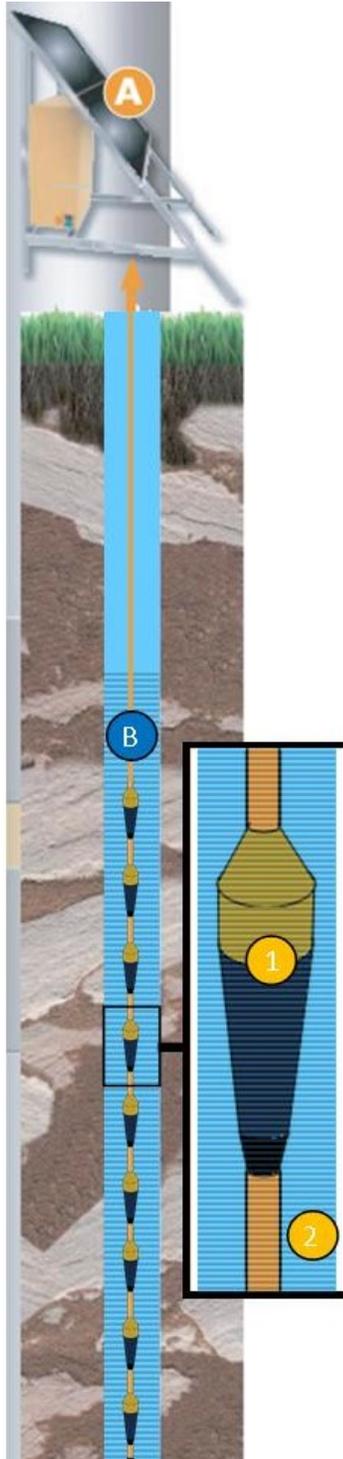
Elles vont aussi être envoyées à Synapse pour l'intégration dans le système de données du projet.

Pour le moment, le suivi représente 6 mois sur Dem'Terre et seulement 3 mois sur Dem'Mer. Il est encore tôt pour en sortir des éléments d'interprétation. Cette interprétation sera effectuée après au minimum un an de donnée (cycle hydrologique) avec l'ensemble de partenaires afin de croiser les données et les analyses.



Annexe A – Principe du SMD (2 pages)

Fonctionnement d'un SMD



Le SMD (Subsurface Monitoring Device) est un outil de monitoring des eaux souterraines qui permet d'enregistrer et de télétransmettre la conductivité électrique de l'eau, la pression, et la température de l'aquifère autour d'un piézomètre via un grand nombre de points de mesure (jusqu'à 60). Un boîtier d'acquisition placé en surface du piézomètre (A) contrôle une chaîne d'électrodes (B) permettant de réaliser des profils de résistivité électrique autour de l'ouvrage en utilisant des méthodes géophysiques. Ce signal est ensuite converti en conductivité électrique de l'eau de l'aquifère. Pour plus de détails, le principe de mesure est détaillé en page suivante.

Le SMD peut être installé dans des piézomètres **crépinés** en PVC dont les diamètres sont compris entre 40 mm et 400 mm (2). Le design de la chaîne d'électrode est réalisé sur mesure pour coller aux caractéristiques de l'aquifère à surveiller.

(A) Boîtier d'acquisition

- . *Fréquence d'acquisition minimale* : horaire (Cond), minute (P, T)
- . *Alimentation* : 220 V ou panneau solaire ou batterie
- . *Autonomie* : 220 V = illimité, panneau solaire = illimité (selon fréquence d'acquisition), batterie = 1 mois
- . *Gamme de mesure* : de 0.5 $\Omega.m$ à 5000 $\Omega.m$

(B) Flute électrique

Une flute électrique est un chapelet d'électrodes (1) en cupro-aluminium (pour résister à la corrosion) permettant de réaliser des mesures de résistivité. Une mesure nécessite 4 électrodes. Un à plusieurs capteurs de Pression et de Température sont intégrés aux câbles électriques installé dans le piézomètre.

- . *Densité* : conductivité = jusqu'à 57 points de mesure
P, T = à la demande
- . *Profondeur* : jusqu'à 200 m
- . *Résolution verticale* : de 15 cm à plusieurs mètres
- . *Résolution radiale* : 40% à 50 % de l'espacement entre 2 électrodes
- . *Diamètre de l'électrode* : 30 mm
- . *Espacement inter-électrode* : de 15 cm à 2 m

Le boîtier d'acquisition (A) injecte un courant électrique connu entre deux électrodes (A et B) et mesure la différence de potentiel induit entre deux autres électrodes (M et N) (Figure 6(1)). Au travers de la loi d'Ohm, la résistivité moyenne du milieu est alors mesurée autour du piézomètre entre ces 4 électrodes. La répétition de ce procédé sur toute la verticale du piézomètre permet de réaliser un profil de résistivité autour du piézomètre (Figure 6 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, (2)).

En utilisant l'équation de Waxman-Smiths (Figure 6, (3)) la conductivité électrique de l'eau de l'aquifère est ensuite déduite. Cette opération demande de connaître le facteur de formation (F) et la conductivité de surface (Cs) qui sont déterminés à l'installation du SMD en utilisant un jeu réduit de diagraphies (gamma ray pour les argiles, résistivité électrique et sonic P-wave velocity pour la porosité).

Finalement, un profil de conductivité électrique de l'eau de l'aquifère autour du piézomètre, normalisé en température et corrigé de l'effet de puits, est mesuré à intervalles répétés (Figure 6, (4)).

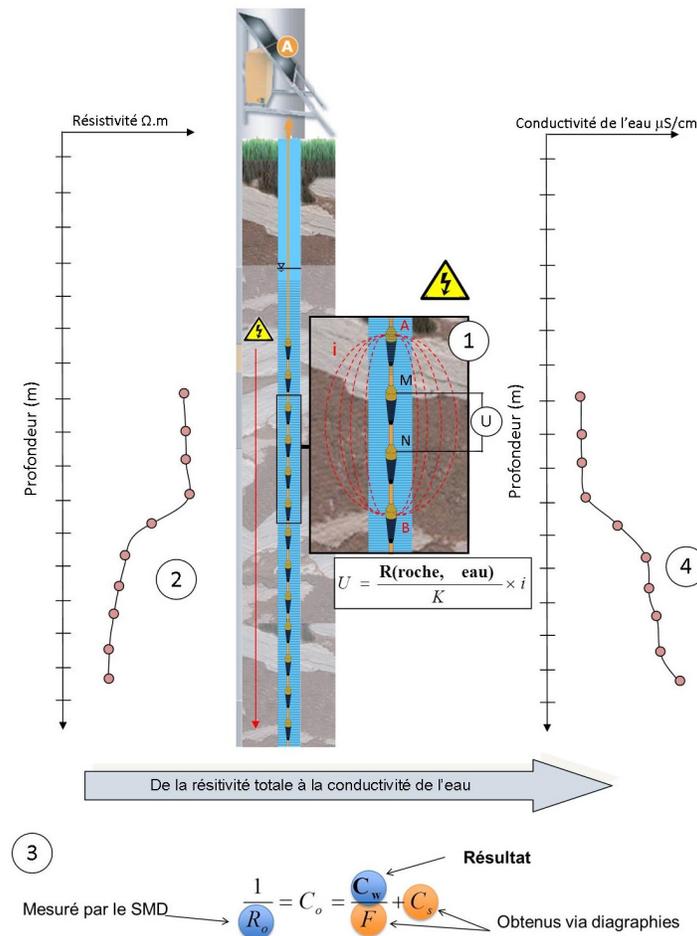


Figure 6 : principe de la mesure et calibration du SMD

Annexe 9

Exemple de résultats d'analyses des minéraux des carottes par diffraction RX

Échantillon L

Illustration graphique

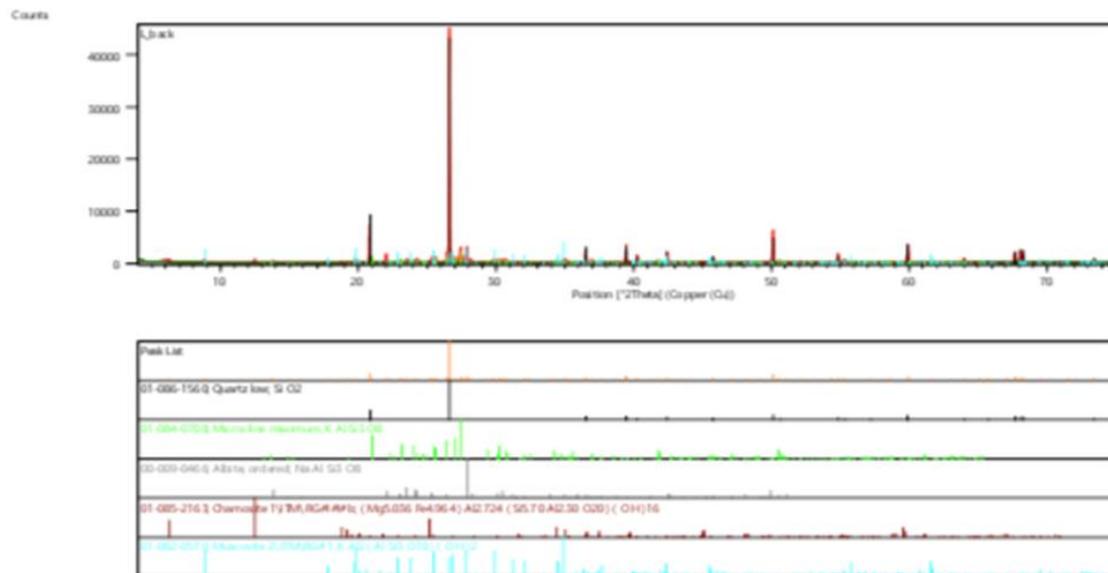


Figure 5 : résultat de l'analyse de phase sur l'échantillon L (vue agrandie p. 6)

Analyse semi-quantitative

No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQuant [%]	Crystal System	Display Color
1	01-086-1560	Silicon Oxide	SiO ₂	62	47	Hexagonal	Black
2	01-084-0708	Potassium Aluminum Silicate	KAlSi ₃ O ₈	57	12	Anorthic	Lime
3	00-009-0466	Sodium Aluminum Silicate	NaAlSi ₃ O ₈	40	5	Anorthic	Gray
4	01-085-2163	Magnesium Iron Aluminum Silicate Hydroxide (Mg _{5.036} Fe _{4.964})Al ₂ Si ₈ (OH) ₁₆	(Mg _{5.036} Fe _{4.964})Al ₂ Si ₈ (OH) ₁₆	2	2	Anorthic	Maroon
5	01-082-0576	Potassium Aluminum Silicate Hydroxide	KA ₂ (AlSi ₃ O ₈)(OH) ₂	31	35	Monoclinic	Aqua

Échantillon C

Illustration graphique

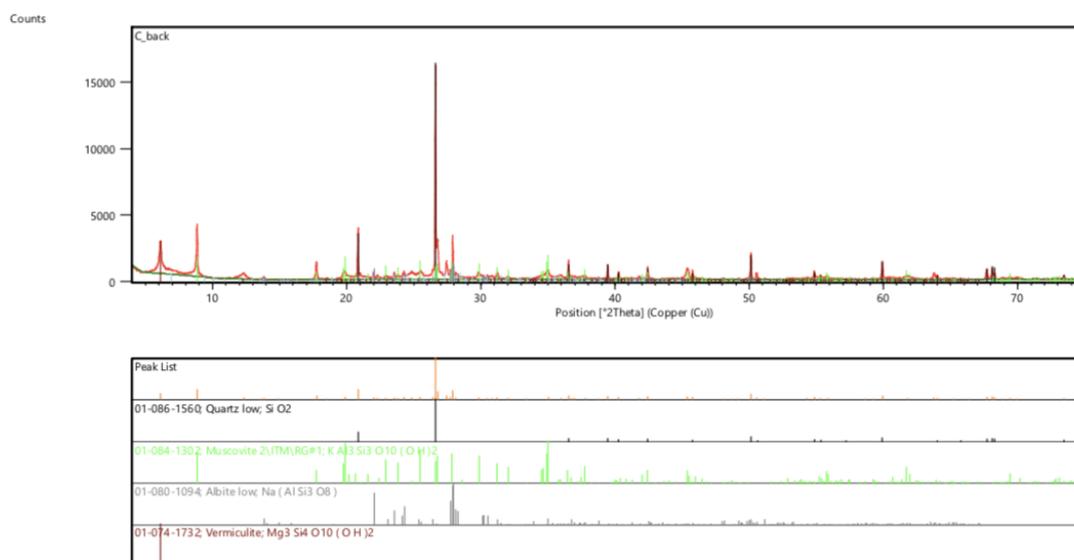


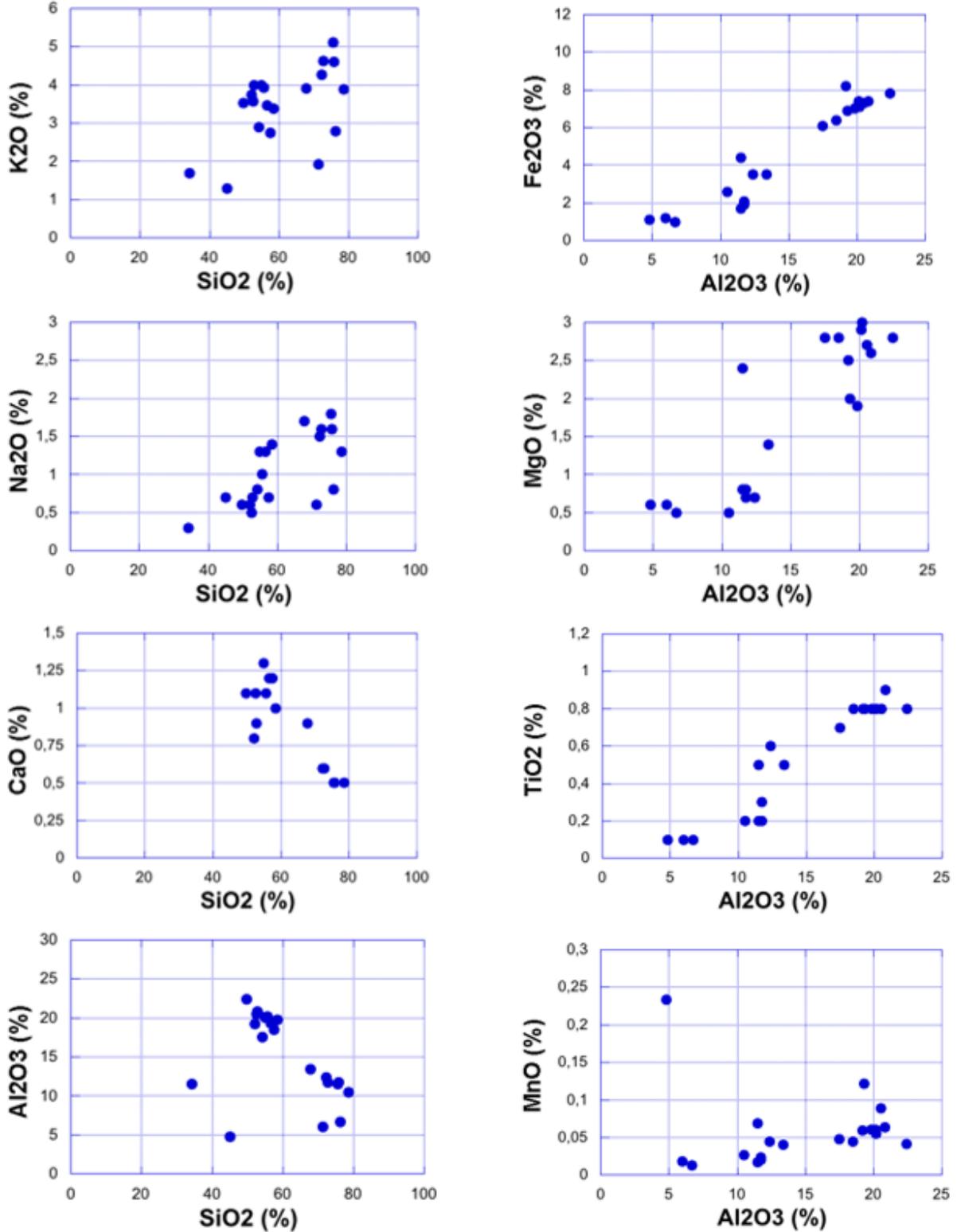
Figure 4 : résultat de l'analyse de phase sur l'échantillon C (vue agrandie p. 5)

Analyse semi-quantitative

No.	Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula	Score	SemiQuant [%]	Crystal System	Display Color
1	01-086-1560	Silicon Oxide	Si O2	65	45	Hexagonal	Black
2	01-084-1302	Potassium Aluminum Silicate Hydroxide	K Al3 Si3 O10 (O H)2	56	41	Monoclinic	Lime
3	01-080-1094	Sodium Aluminum Silicate	Na (Al Si3 O8)	41	13	Anorthic	Gray
4	01-074-1732	Magnesium Silicate Hydroxide	Mg3 Si4 O10 (O H)2	25	1	Monoclinic	Maroon

Annexe 10

Relations directes ou inverses entre divers éléments, du pôle sableux au pôle argileux





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

Direction Régionale Occitanie
1039 rue de Pinville
34000 Montpellier - France
Tél. : 04 67 15 79 90 - www.brgm.fr