

Rapport Hydrogéologique des forages RSBV pour la recherche et l'enseignement au Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie (CHYN) Commune de Concise (VD)

Contexte du projet	2
Objectifs du rapport.....	2
Contexte géologique.....	2
Contexte hydrogéologique	4
Implémentation des forages.....	6
Suivi des forages et suivi hydrogéologique.....	7
Calendrier des opérations des forages	7
Suivi de la source de la Raisse	8
Hydrochimie - ions majeurs	8
Profile technique des forages	9
Carottes des forages RSBV1, RSBV2 et RSBV3	13
Profile géologique et géotechnique	13

CONTEXTE DU PROJET

Dans le cadre de ses activités de recherche et d'enseignement, le CHYN a développé un site avec des forages dans les calcaires fracturés et karstifiés. Le but de ce site et de ces 3 forages réalisé à ce jour est d'étudier les roches calcaires facturées / karstiques et leurs propriétés thermo-hydro-mécaniques dans divers conditions hydrogéologiques. Ce site d'étude est dédié à la recherche et à l'enseignement au sein du Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie (CHYN) de l'Université de Neuchâtel. Il permettra aussi régulièrement de contrôler les conditions hydrodynamiques des écoulements souterrains de la région. Le site est utilisé initialement dans le cadre du projet « Heatstore » avec pour objectif d'éprouver des protocoles de test de puits pour estimer les caractéristiques hydrodynamiques et thermiques de l'aquifère.

OBJECTIFS DU RAPPORT

Ce rapport a pour objectif de documenter la phase de foration des puits. Les informations principales fournies dans le cadre de ce rapport sont :

- Le contexte géologique et hydrogéologique du site ;
- L'historique de foration ;
- Les données de forage, incluant les coupes géologiques et techniques des forages ;
- La documentation du suivi hydrogéologique des sources avoisinantes lors des travaux de foration.

Une description succincte des tests en cours et futurs prévus à ce jour dans ces forages est également fournie.

CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Le site se situe au pied sud du Jura à proximité du Lac de Neuchâtel. La stratigraphie régionale est bien connue. Pour les noms de formation, nous utiliserons ici la nouvelle nomenclature (Strasser et al., 2016) et nous indiquerons entre parenthèse l'ancienne nomenclature locale encore largement utilisée dans la pratique. À proximité du site de forage, les calcaires de la formation des Gorges de l'Orbe (Urgonien inférieur/jaune) d'âge Barrémien sont à l'affleurement (épaisseur estimée : 0-50m, Figure 1). Ces calcaires sont superposés aux calcaires de la partie supérieur de la formation du Grand Essert (Pierre Jaune de Neuchâtel) d'âge Hauterivien (épaisseur : 35-37m). La formation sous-jacente est le membre d'Hauterive (Marnes Bleues) plus marneux, de l'Hauterivien précoce ou Valanginien tardifs (épaisseur : 31m). La suite de la série, non perforée par nos forages est typique du Jura neuchâtelois.

Sur le site d'étude, les calcaires forment le flanc sud du premier pli jurassien et ont une orientation moyenne 135/15. Le site se situe à 1.6 km au nord-est de la faille de la Lance. La faille de la Lance est un décrochement d'une longueur de plus de 10 km avec un rejet horizontal d'environ 3 km.

Les détails de la géologie locale peuvent être abordés grâce à la présence d'une dizaine de forage effectués dans les années 1990 dans le cadre des travaux de Rail2000 et de le N5. Un aperçu de la situation des forages existants est donné en Figure 2. Une coupe géologique locale a été effectuée sur la base de ces données et est présentée en Figure 3.

Chronostratigraphy		Bio	Formations
E			'Sidérolithique'
LC	Coniacian	pF	Narlay Formation
	Turonian	Am	
	Cenomanian	Ec	Perte du Rhône Formation
	Albian	Or	
	Aptian	Da	
	Barremian	Ec	Vallorbe Formation
	Hauterivian	Na	
		Di	Gorges de l'Orbe Formation
		Am	
		Da	Grand ESSERT Formation
Valanginian		Or	
		Ec	Vuache Formation
		Na	
		Di	Chambotte Formation
		Ca	
		Os	Vions Formation
		Di	
		bF	Pierre-Châtel Formation
	Berriasian	Da	
J		Ch	Goldberg Formation
	Tithonian	Am	
		Da	Twannbach Formation
		bF	
		Os	
		Am	

Am: ammonites; bF: benthic foraminifera; Ca: calpionellids; Ch: charophytes;
Da: dasycladalean algae; Di: dinocysts; Ec: echinids; Na: nannofossils;
Or: orbitolinids; Os: ostracodes; pF: planktonic foraminifera

Figure 1: Contexte chrono- et lithostratigraphique dans le Jura Suisse. Les couleurs correspondent à celles utilisées dans l'Atlas géologique suisse 1 : 25 000. Axe vertical sans échelle. J : Jurassique ; LC : Crétacé supérieur. (Strasser et al., 2016).

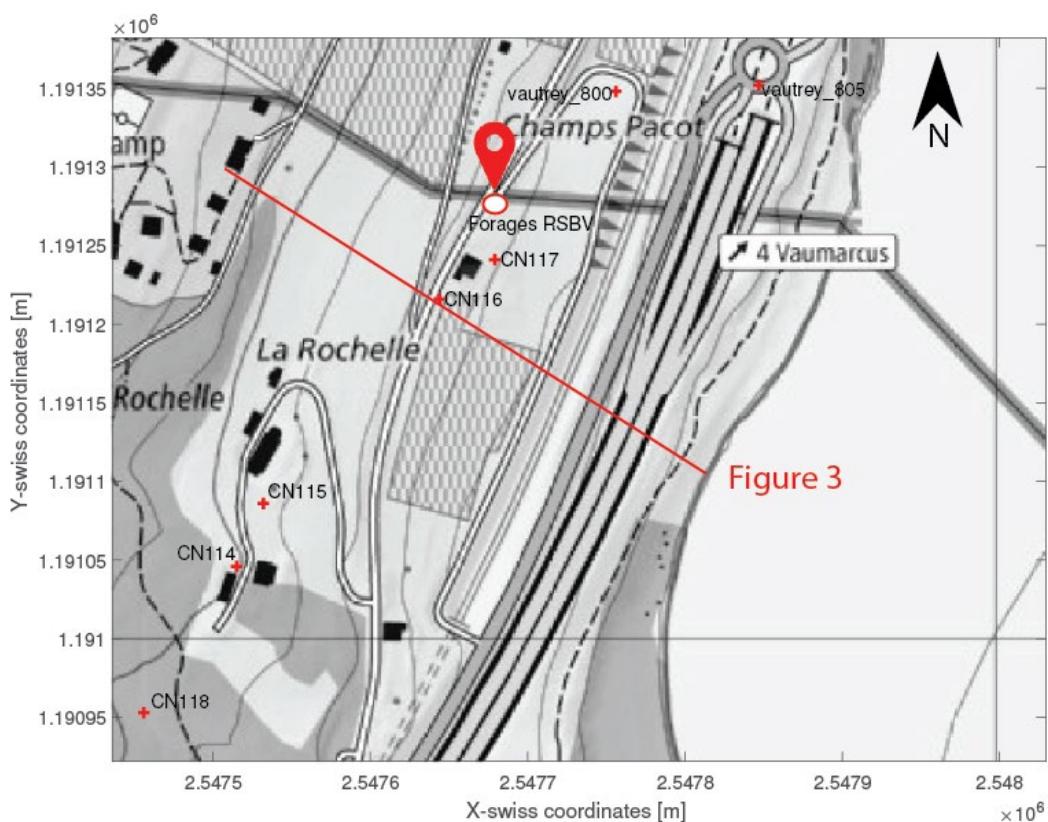


Figure 2: Localisation des forages dans la région (croix rouges) et des forages RSBV (pointeur rouge) et l'emplacement de la coupe géologique (cf. Figure 3).

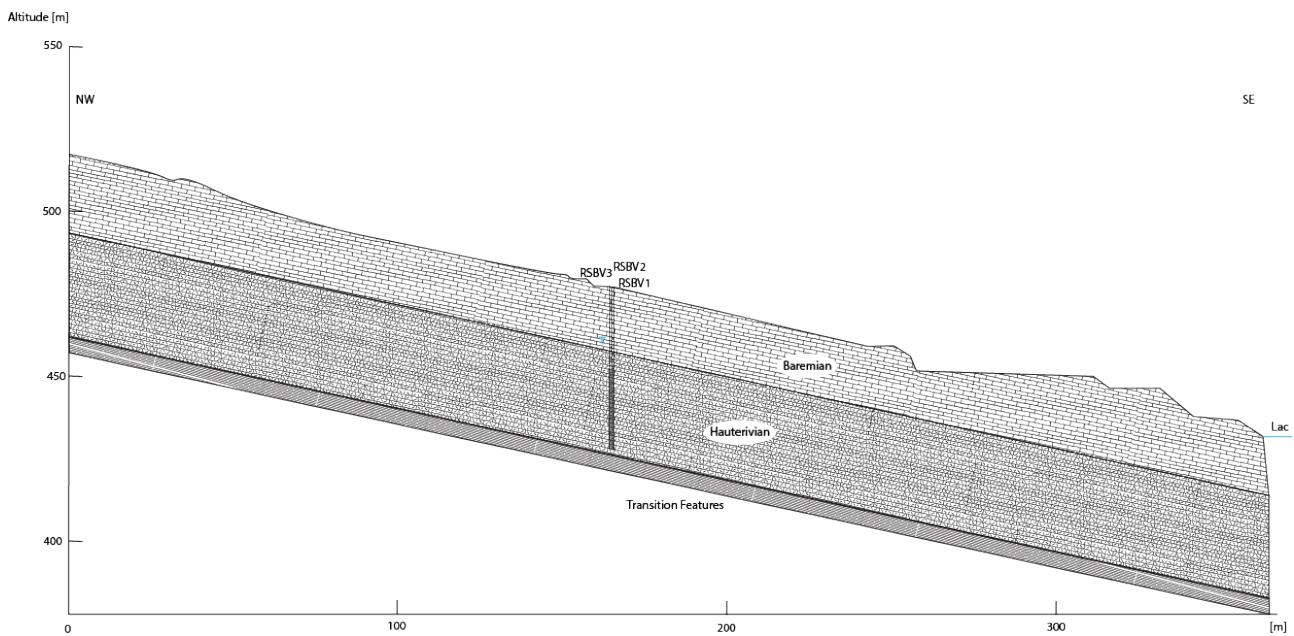


Figure 3: Coupe géologique NW-SE locale passant à proximité du site de forage.

CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

Le contexte hydrogéologique est dominé par la série stratigraphique avec alternance d'aquifères (calcaires fracturé et karstiques) et d'aquitards (couches marneuses). Pour notre site d'étude, l'aquifère est les calcaires de l'Hauterivien supérieur et du Barrémien avec en base d'aquifère, l'aquitard des Marnes bleu d'Hauterive. La présence de la faille de la Lance influence certainement les circulations à plus large échelle, avec une source karstique importante (La Raisse) situé dans le compartiment nord-est de la faille, à 730 m de notre site d'étude. Malgré son émergence dans les calcaires du Crétacé, la grande partie du bassin versant de la source et dans les calcaires jurassiques du Malm. Une source temporaire interprété comme un trop-plein du système karstique (la Dia) est située sur la faille de la Lance, à 1.9 km au Sud-Ouest de notre site d'étude (Figure 4).

La source de la Raisse était historiquement située à 460 m d'altitude (environ 30 m au-dessus du niveau du lac), mais elle est captée aujourd'hui dans le tunnel des CFF et est déversée en aval dans le hameau de la Raisse. Cette source pérenne principale au niveau régional devrait représenter le point bas du niveau de la nappe en approximation régionale. La source de la Dia est temporaire et est à une altitude de 470 m. Nous avons retrouvé un certain nombre de forages équipés de tubes piézométriques. Les altitudes de la nappe mesurée entre décembre 2018 et avril 2019, sont reporté sur la carte en Figure 5.

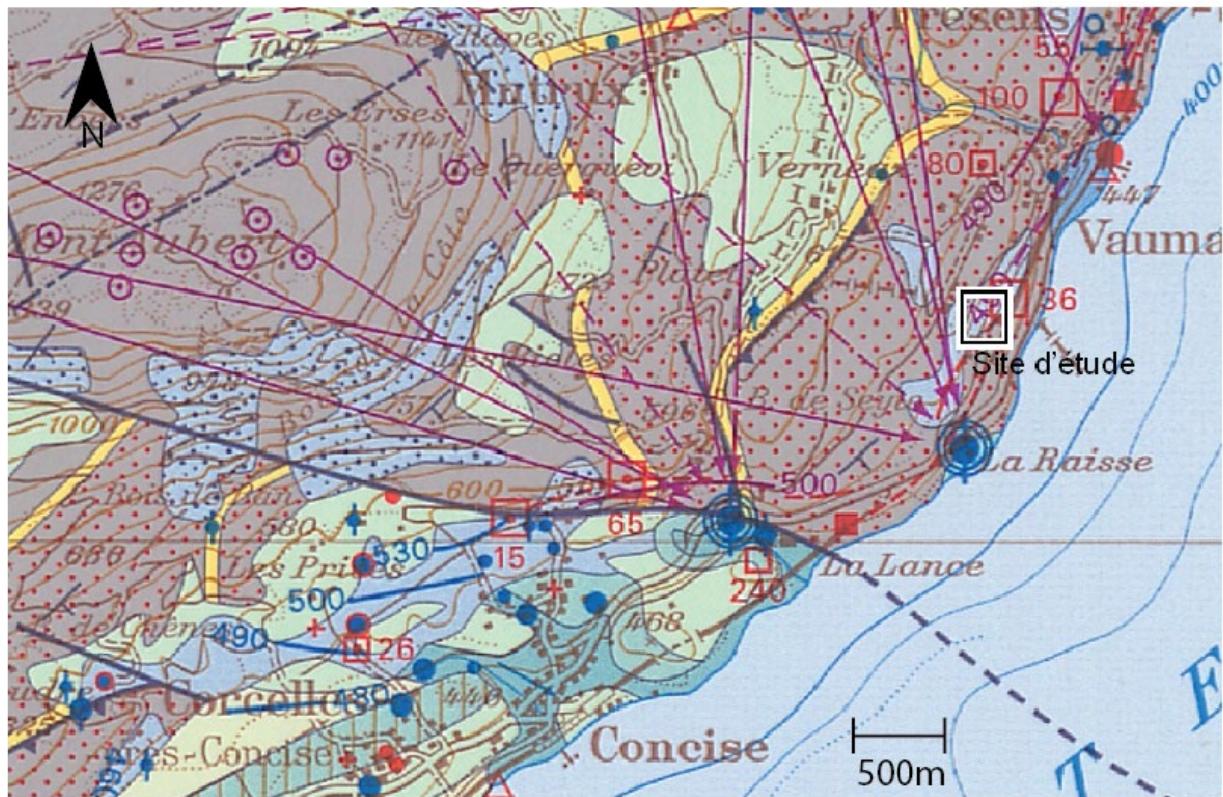


Figure 4: Extrait de la carte hydrogéologique suisse.



Figure 5: Modèle numérique de terrain avec observations de l'altitude de la nappe. Symboles bleus : Source ou nappe observées dans des piézomètres existants. Symboles ouverts : piézomètres existants secs pour lesquels l'altitude de la nappe est plus basse que le fond du piézomètre.

IMPLÉMENTATION DES FORAGES

Le choix de l'emplacement de ces forages (Figure 6) a été étudié au préalable avec les informations misent à disposition, la coupe géologique (Figure 3) et les 2 forages les plus proches CN116 et CN117 (réalisés en 1996). Les critères de sélection du site furent les suivants :

- La plus grande longueur possible des forages doit être dans un aquifère de calcaires fracturés et saturés ;
- Les forages sont verticaux et ne dépassent pas environ 50 m ;
- Le site est aussi positionné à distance du lac et des infrastructures de tunnels routier et ferroviaires présents dans la région afin d'éviter leur zone d'influence sur l'hydraulique et la thermique de la nappe ;
- Les forages restent dans un seul aquifère pour respecter les contraintes environnementales qui impose de ne pas mettre en contact des aquifères distincts ;
- La distance interforage a été déterminée afin de permettre des expériences de transfert de chaleur et doit être ainsi assez courte (5-10 m maximum)
- Le site doit être facilement accessible et peut être sécurisé pour y travailler sans risque (traffic,...)

Le site de forage choisi correspond finalement à la connexion entre la route entre Concise et Vaumarcus et un chemin agricole. Les coordonnées des forages sont présentées dans la Table 1.

Table 1 : Coordonnées des forages.

Forage	Coordonnée E	Coordonnée N	Altitude [m]
RSBV1	547683.47	191276.69	475.64
RSBV2	547685.97	191280.60	475.50
RSBV3	547681.22	191280.49	475.48



Figure 6: Emplacements des forages RSBV1, RSBV2, RSBV3 et des forages CN116 et CN117

SUIVI DES FORAGES ET SUIVI HYDROGÉOLOGIQUE

Le suivi des forages au niveau géologique et hydrogéologique a été réalisé par Reza Sohrabi du CHYN. Il a compris les aspects suivants :

- Suivi du chantier
- Collection et documentation des carottes (voir profile géologique)
- Suivi hydrogéologique des sources de la Raisse.
- Hydrochimie de base des eaux collectées aux forages

Calendrier des opérations des forages

Le calendrier des opérations de forage c'est déroulé comme suit :

01.11.19: Arrivée de KIBAG sur site avec la foreuse.

Semaine 1

04.11.19: Début du forage RSBV1, pose du fluorimètre à la Raisse

05.11.19: Forage jusqu'à env. 10m, après-midi installation du premier casing pur bétonnage.

07.11.19: Cimentation du forage RSBV1 à env. 10m.

Semaine 2

12.11.19 : Cimentation du forage RSBV2 à env. 10m.

13.11.19 : Avancement du forage RSBV1 à 20m de profondeur.

15.11.19 : Avancement du forage RSBV1 à env. 40m. Campagne de forages interrompue, à cause de casse de matériel.

Semaine 3

21.11.19 : Cimentation du forage RSBV3 à env. 10m.

Semaine 4

25.11.19 : Observation de perte d'eau entre 33-35 m grosses fracturations observées.

27.11.19 : Forage RSBV2 terminé.

28.11.19 : Avancement du forage RSBV3 à 20m de profondeur.

Semaine 5

02.12.19 : Fin de la perforation des forages RSBV1, RSBV2 et RSBV3.

04.12.19 : Remise en état du site avec KIBAG.

Semaine 6

09.12.19: Contrôle de la remise en état du chantier avec le responsable à la commune de Concise M. Marro.

Suivi de la source de la Raisse

Les données de la source sont présentées en Figure 7 avec une turbidité et conductivité normale et stable durant la campagne de forage. Il n'y a eu aucun impact à la source de la Raisse.

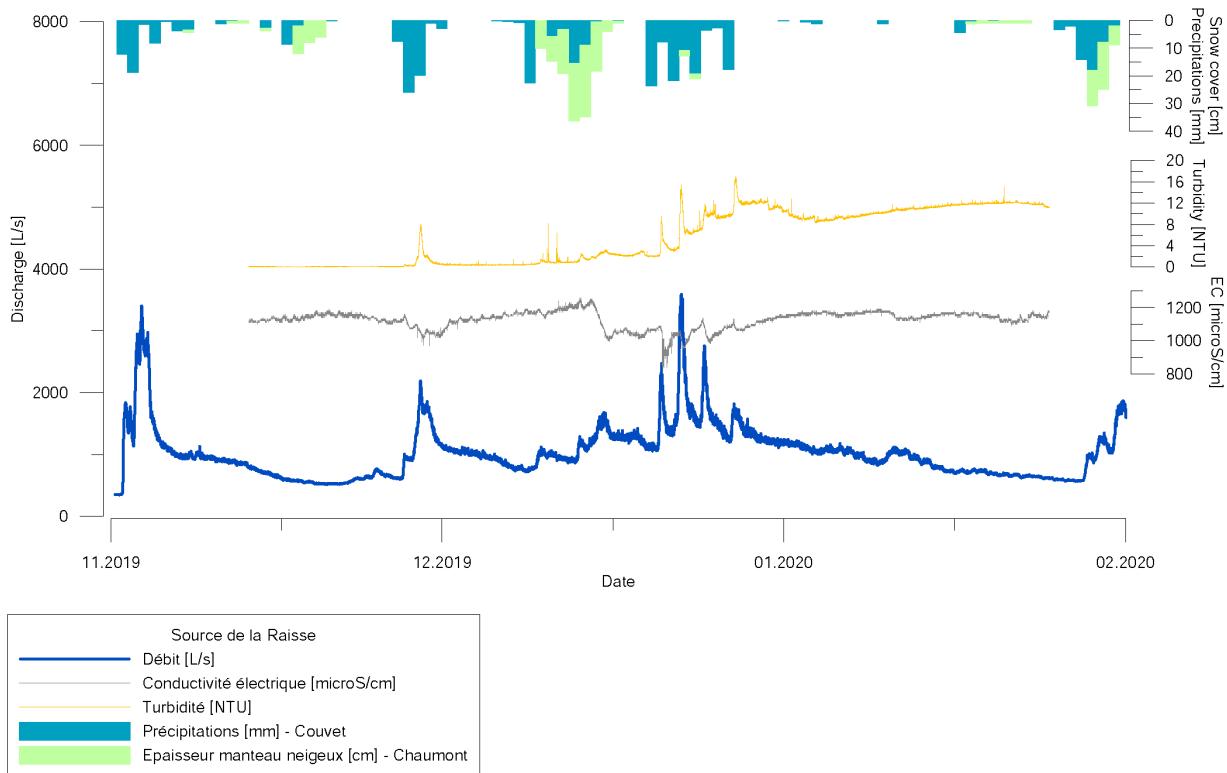


Figure 7: Evolution hydrologique et hydrogéologique à la source de Raisse lors de la campagne de forage

Hydrochimie - ions majeurs

Les eaux circulant dans les aquifères carbonatés, tels que ceux des unités crétacées de la zone d'étude, présentent généralement des faciès géochimiques dominés par le calcium (Ca) et le bicarbonate (HCO_3^-). Ici, la composition est normale pour des eaux peu profondes. Si celles-ci avaient été profondes avec des temps de séjour long, ces fluides auraient présenté des compositions géochimiques plus complexes. En outre, s'il y avait eu présence de fluides plus profonds, ils s'écouleraient vers la surface par des couloirs de failles, où les minéraux secondaires dominent les interactions eau-roche pendant les dernières étapes de la circulation. Quand les eaux peuvent atteindre plusieurs km de profondeur et une température supérieure à 100°C, la principale signature géochimique est dominée par le sodium (Na) et le chlorure (Cl). Ceci n'est pas le cas ici.

Les forages présentent une signature prédominante Ca-HCO₃ (Figure 8 et Tableau 2). Ce qui est normal pour des eaux peu profondes en roche calcaires.

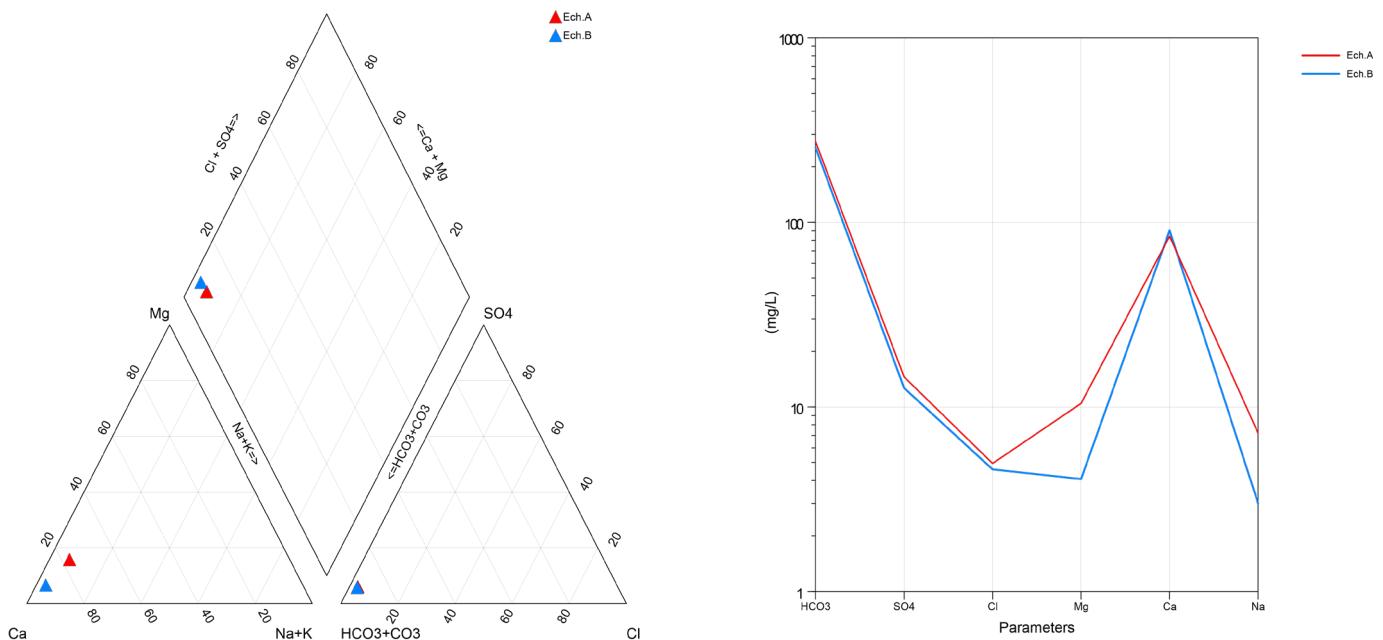


Figure 8: Diagramme de Piper (gauche) et de Shoeller (droite), ions Majeur dans RSBV1, Décembre 2019.

Table 2 : Analyses hydrochimique des eaux de forage RSBV1, Décembre 2019.

Date	Echantillon	Ca [mg/l]	HCO ₃ [mg/l]	Na [mg/l]	Cl [mg/l]	Mg [mg/l]	SO ₄ [mg/l]	K [mg/l]	NO ₃ [mg/l]	pH
20.12.2019	Ech. A	84.10	274.87	7.2	4.94	10.46	14.57	2.72	23.26	8.015
20.12.2019	Ech. B	90.41	255.10	3.0	4.59	4.07	12.68	1.33	27.17	7.808

PROFILE TECHNIQUE DES FORAGES

Le profile technique des forages sont les suivantes :

- Emplacement des forages sur une route donc une chambre d'accès avec plaque en fonte
- Les premiers 10 m de forage sont tubées et cimentés afin d'éviter les infiltrations et permettre des tests d'injections. Le tubage en acier et la cimentation résiste à une pression en base de tubage de 11 bars (10 bars de surpression).
- La partie principale du forage est en trou ouvert (non-tubée, non-crépinée) pour permettre les tests prévus en forage (p.ex. test entre packers).
- Le diamètre de partie principale du forage est de 122.2 mm de diamètre (carottier standard PQ). La partie tubée (146 mm) et cimentée (152 mm) est donc de plus grand diamètre.
- Les forages sont entièrement carottés.

Le profile technique schématique est présenté en Figure 9. Les trajectoires des puits mesurées à l'aide d'un logging avec televueur optiques et acoustique est présenté en Tableau 3, 4, 5 et sur la Figure 10.

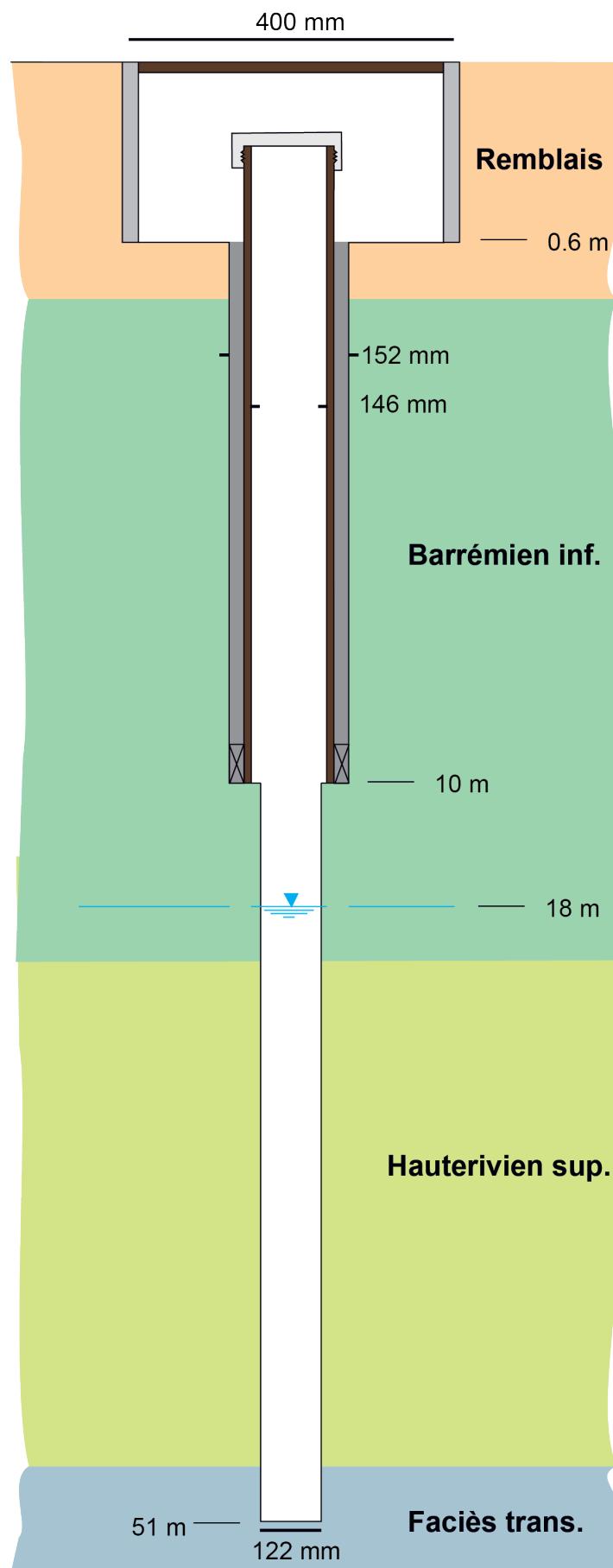


Figure 9: Complétion des forages RSBV1, RSBV2 et RSBV3 (pas à l'échelle)

MD	Deviation	Azimut	E	N	TVD	Altitude
1.70	0.46	98.59	547683.47	191276.70	1.70	473.62
5.00	0.46	98.59	547683.50	191276.69	5.00	470.32
10.00	0.45	102.65	547683.54	191276.69	10.00	465.32
15.00	0.45	97.05	547683.58	191276.68	15.00	460.32
20.00	0.45	89.13	547683.61	191276.68	20.00	455.32
25.00	0.48	80.83	547683.66	191276.68	25.00	450.32
30.00	0.58	81.00	547683.70	191276.68	30.00	445.33
35.00	0.60	71.75	547683.75	191276.70	35.00	440.33
40.00	0.65	68.60	547683.80	191276.72	40.00	435.33
45.00	0.60	66.00	547683.85	191276.74	45.00	430.33
50.00	0.70	66.70	547683.90	191276.76	50.00	425.33

Tableau 3 : Trajectoires des puits mesurées à l'aide d'un logging avec televiewer optiques et acoustique dans RSBV1.

MD	Deviation	Azimut	E	N	TVD	Altitude
2.50	1.11	91.43	547685.97	191280.60	2.50	472.69
5.00	1.11	91.43	547686.02	191280.60	5.00	470.19
10.00	1.11	91.43	547686.12	191280.60	10.00	465.19
15.00	1.20	89.10	547686.22	191280.60	15.00	460.19
20.00	1.25	87.20	547686.32	191280.60	20.00	455.20
25.00	1.30	81.90	547686.44	191280.62	25.00	450.20
30.00	1.35	82.50	547686.55	191280.63	29.99	445.20
35.00	1.35	75.05	547686.67	191280.65	34.99	440.20
40.00	1.65	78.50	547686.81	191280.68	39.99	435.20
45.00	1.73	75.60	547686.95	191280.72	44.99	430.20
50.00	1.70	71.80	547687.09	191280.75	49.99	425.21

Tableau 4 : Trajectoires des puits mesurées à l'aide d'un logging avec televiewer optiques et acoustique dans RSBV2.

MD	Deviation	Azimut	E	N	TVD	Altitude
2.50	0.74	69.20	547681.22	191280.49	2.50	472.70
5.00	0.74	69.20	547681.25	191280.50	5.00	470.20
10.00	0.74	69.20	547681.31	191280.52	10.00	465.20
15.00	0.75	74.45	547681.38	191280.55	15.00	460.20
20.00	0.83	78.05	547681.44	191280.56	20.00	455.20
25.00	0.90	77.60	547681.52	191280.58	25.00	450.20
30.00	0.88	86.88	547681.59	191280.59	30.00	445.20
35.00	0.95	82.25	547681.68	191280.60	35.00	440.20
40.00	1.05	81.30	547681.76	191280.61	40.00	435.20
45.00	1.00	88.60	547681.85	191280.62	45.00	430.20
50.00	1.10	77.45	547681.93	191280.63	49.99	425.20

Tableau 5 : Trajectoires des puits mesurées à l'aide d'un logging avec televiewer optiques et acoustique dans RSBV3.

RSBV1, RSBV2 and RSBV3 Borehole Deviation

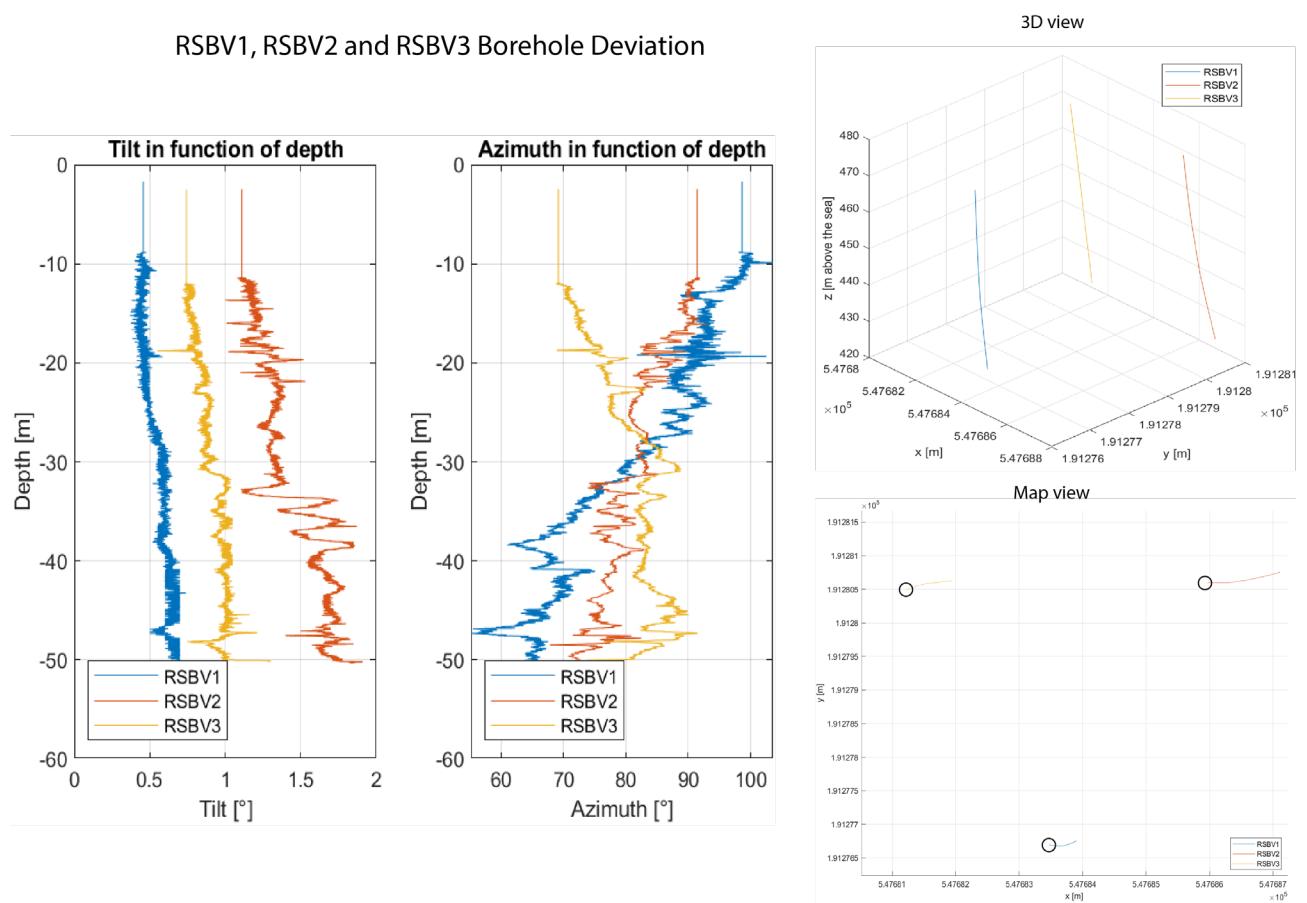


Figure 10 : Trajectoires des puits mesurées à l'aide d'un logging avec televueur optiques et acoustique.

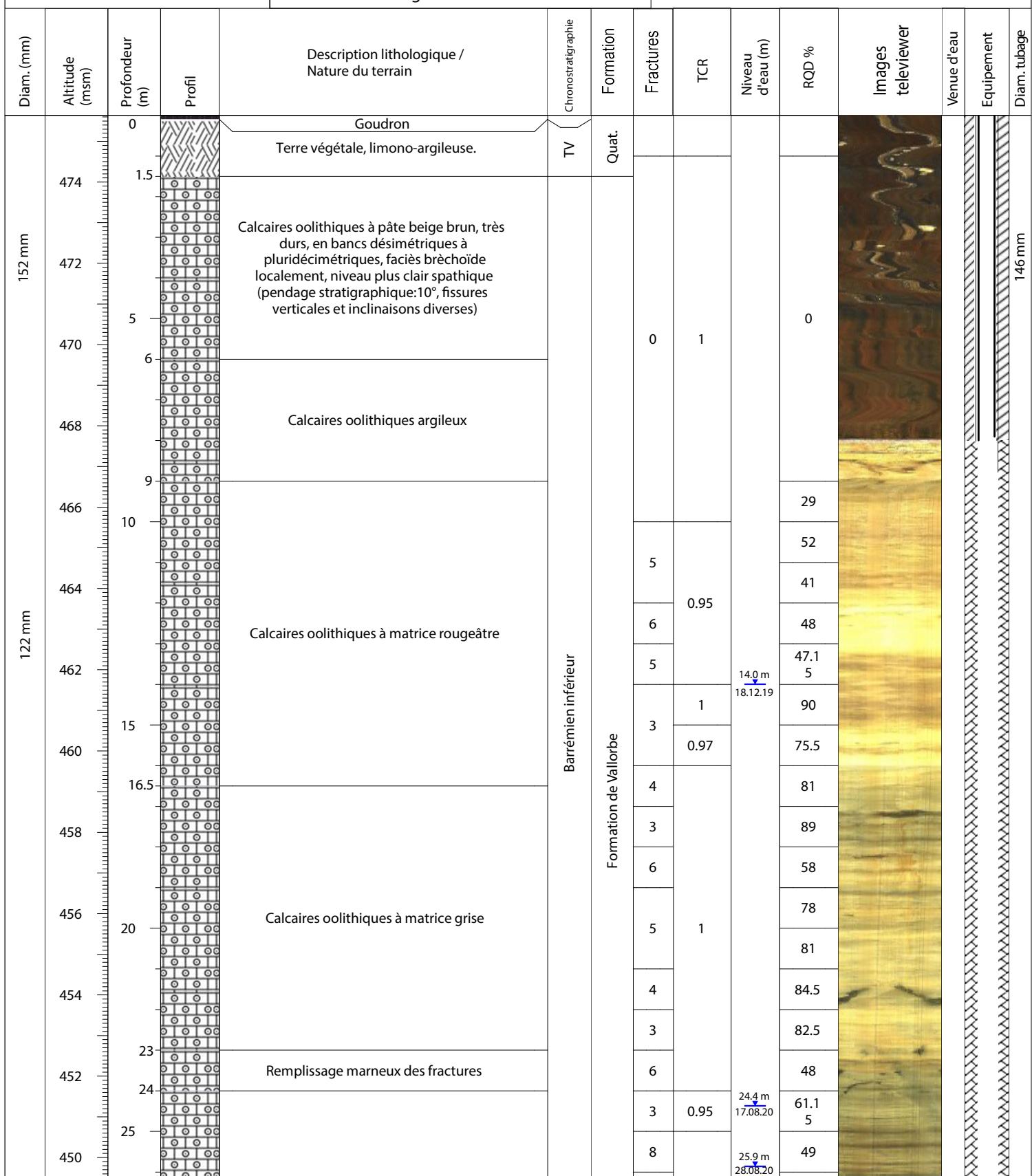
CAROTTES DES FORAGES RSBV1, RSBV2 ET RSBV3



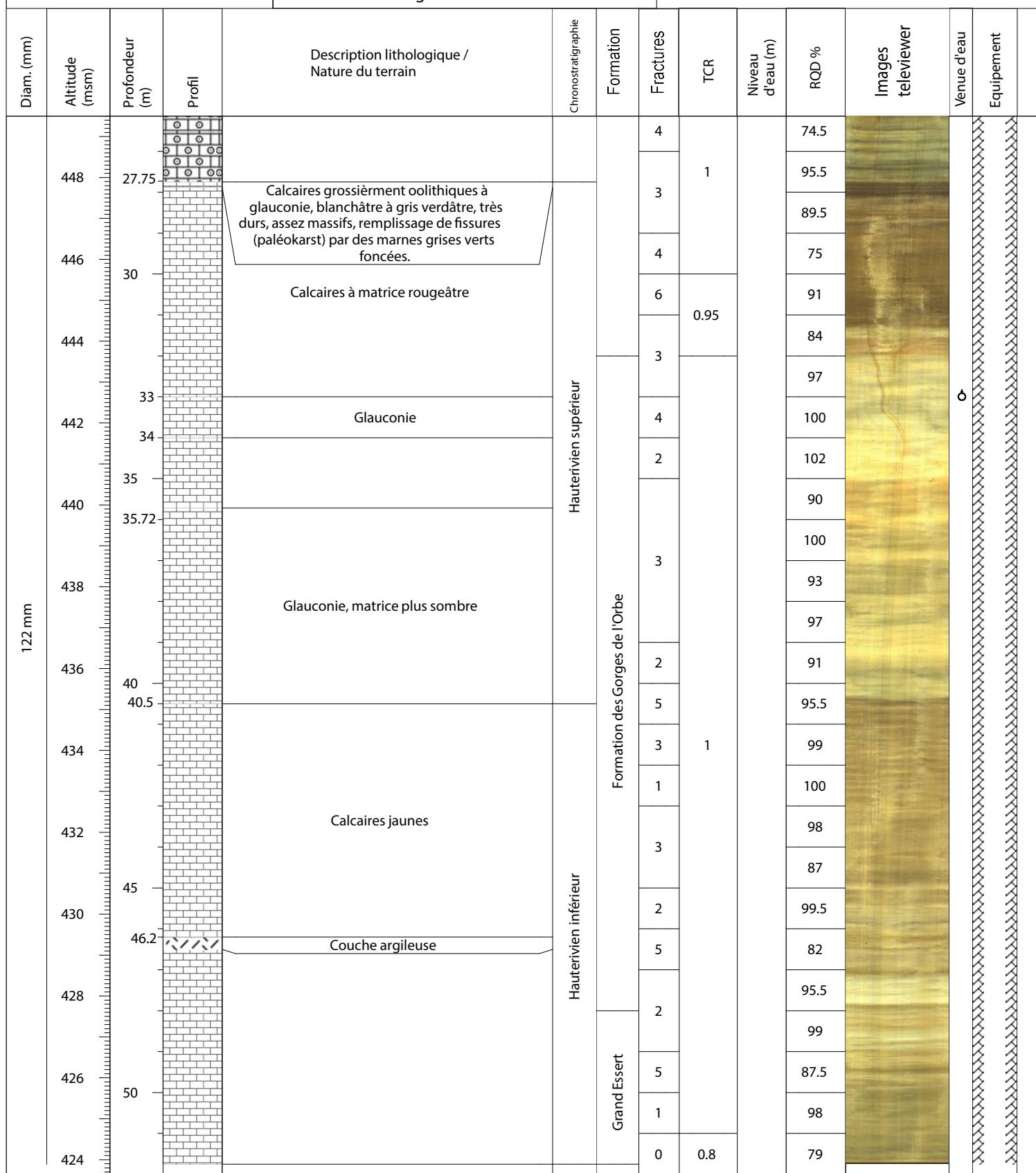
PROFILE GÉOLOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE

Pour les 3 forages RSBV un profile géologique complet est présenté en annexe A.

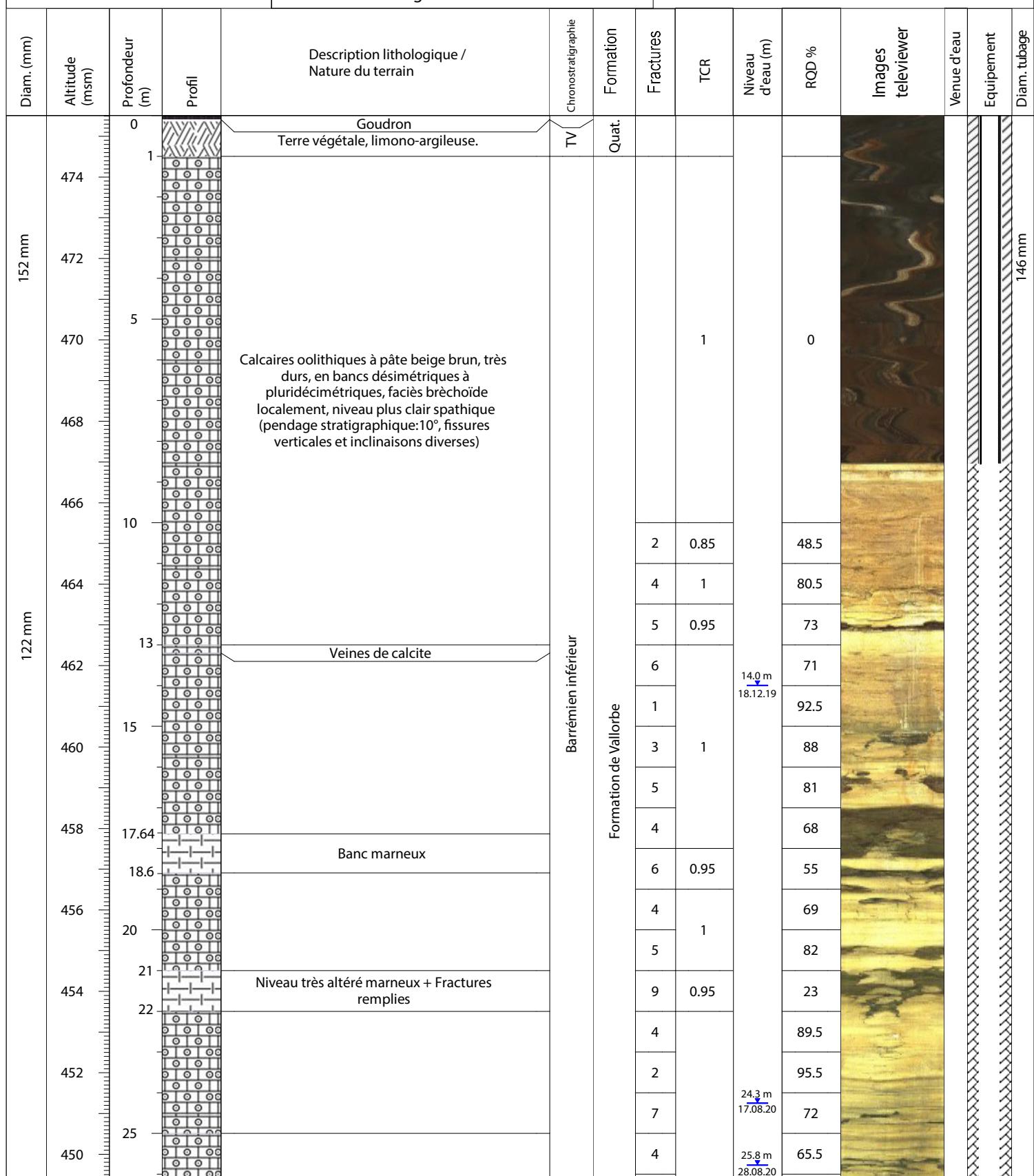
Coordonées :	547'683.4708/191'276.6958	Projet :	HEATSTORE
Cote terrain :	475.6402 msm	Date des travaux :	Novembre-Décembre 2019
Inclinaison :	0°	Réalisation forage :	KIBAG
Longeur :	51.75 m	Levé géologique :	CHYN
Méthode de forage :	Carotté		



Coordonées :	547'683.4708/191'276.6958	Projet :	HEATSTORE
Cote terrain :	475.6402 msm	Date des travaux :	Novembre-Décembre 2019
Inclinaison :	0°	Réalisation forage :	KIBAG
Longeur :	51.75 m	Levé géologique :	CHYN
Méthode de forage :	Carotté		

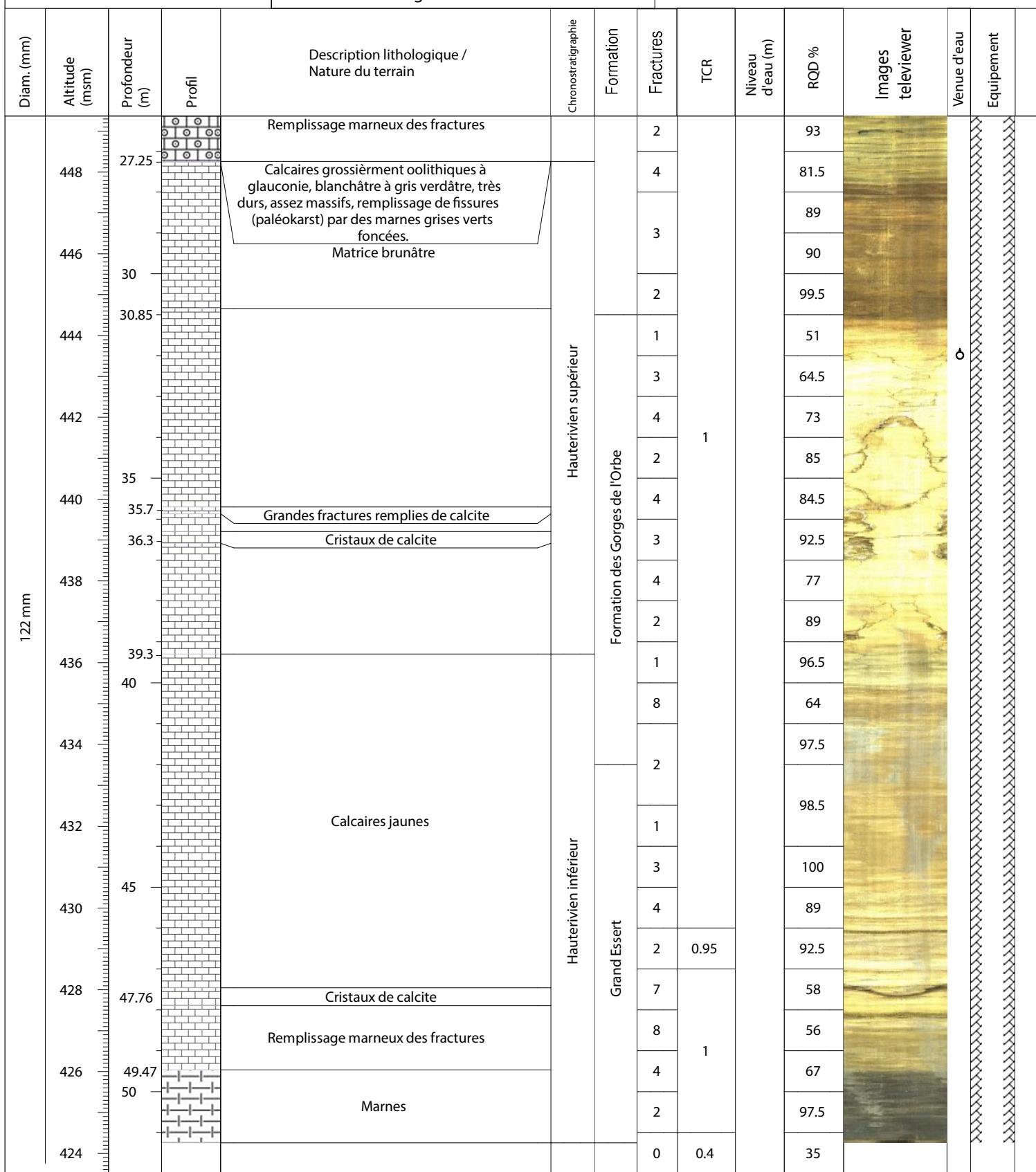


Coordonées :	547'685.9705/191'280.6022	Projet :	HEATSTORE
Cote terrain :	475.5096 msm	Date des travaux :	Novembre-Décembre 2019
Inclinaison :	0°	Réalisation forage :	KIBAG
Longeur :	51.25 m	Levé géologique :	CHYN
Méthode de forage :	Carotté		

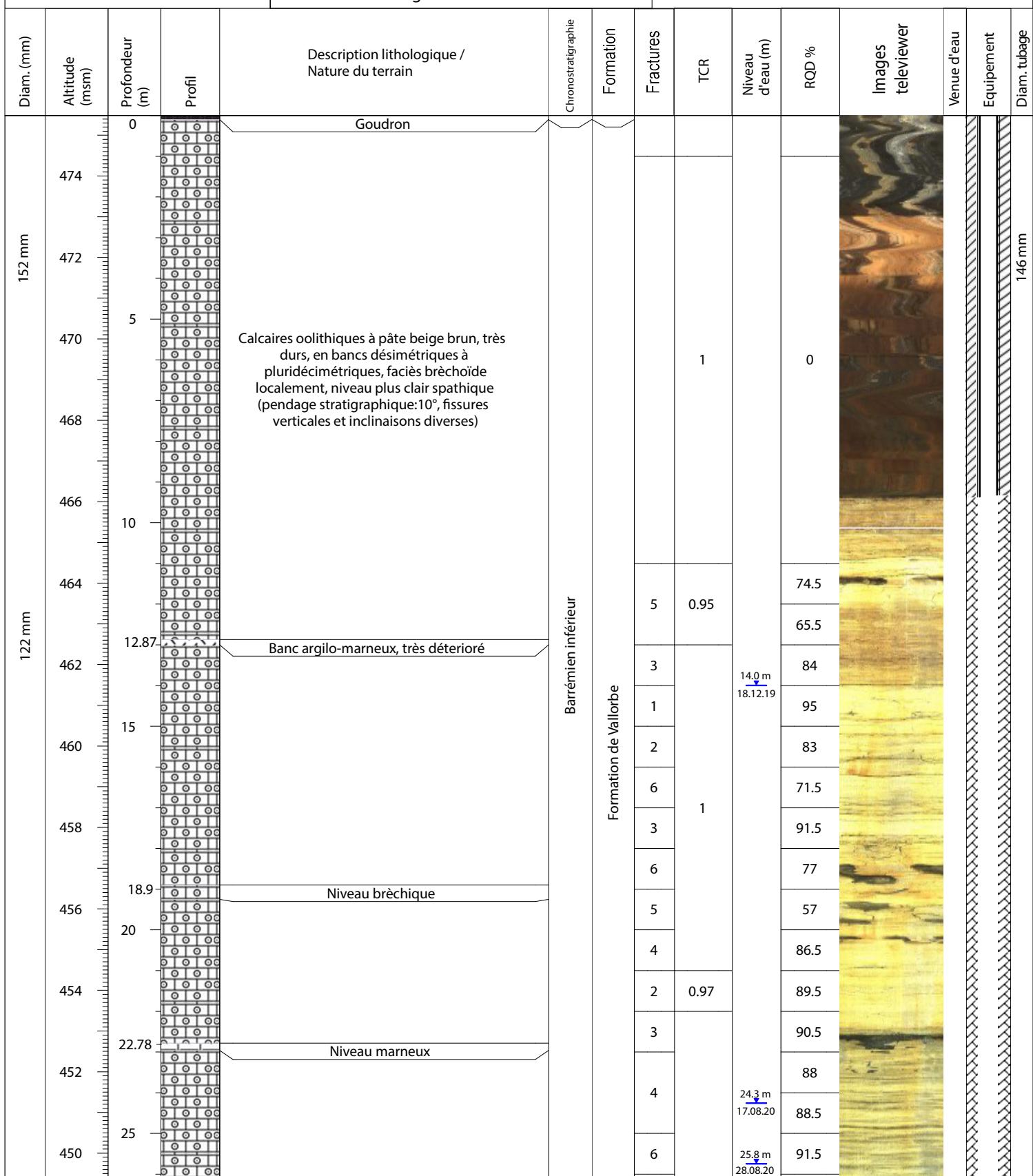


**Centre d'Hydrogéologie et de
Géothermie (Chyn)**
Bâtiment UniMail
Rue Emile-Argand 11
2000 Neuchâtel
Suisse

Coordonées :	547'685.9705/191'280.6022	Projet :	HEATSTORE
Cote terrain :	475.5096 msm	Date des travaux :	Novembre-Décembre 2019
Inclinaison :	0°	Réalisation forage :	KIBAG
Longeur :	51.25 m	Levé géologique :	CHYN
Méthode de forage :	Carotté		



Coordonées :	547'681.224/191'280.4894	Projet :	HEATSTORE
Cote terrain :	475.4846 msm	Date des travaux :	Novembre-Décembre 2019
Inclinaison :	0°	Réalisation forage :	KIBAG
Longeur :	51.5 m	Levé géologique :	CHYN
Méthode de forage :	Carotté		



Coordonées :	547'681.224/191'280.4894	Projet :	HEATSTORE
Cote terrain :	475.4846 msm	Date des travaux :	Novembre-Décembre 2019
Inclinaison :	0°	Réalisation forage :	KIBAG
Longeur :	51.5 m	Levé géologique :	CHYN
Méthode de forage :	Carotté		

