

# **Annexe 12**

## **Rapport de chantier de Ginger-CEBTP**



UNE EXPERTISE QUI FAIT LA DIFFÉRENCE

JANVIER 2016

Dossier : EST2.F.067

## GEODERIS

Réalisation de sondages carottés équipés en piézomètres et réalisation de diagraphies gamma-ray

## MISSION D'INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES

LOCHWILLER (67) – Lotissement Weingarten



## DIRECTION REGIONALE GRAND NORD

**Agence de STRASBOURG**  
13 rue de l'Electricité  
67800 HOENHEIM

Téléphone : 03 88 81 20 50  
Télécopie : 03 88 81 21 50  
Email : [cebtpt.strasbourg@groupe-cebtp.com](mailto:cebtpt.strasbourg@groupe-cebtp.com)

**GEODERIS**

**REALISATION DE SONDAGES CAROTTES EQUIPES EN PIEZOMETRES ET REALISATION DE  
DIAGRAPHIES GAMMA-RAY**

LOCHWILLER (67) – Lotissement Weingarten

**RAPPORT - MISSION D'INVESTIGATIONS GEOTECHNIQUES**

Dossier : EST2.F.067

Contrat : EST2.F.0149

Indice	Date	Chargé d'affaire	Visa	Vérfié par	Visa	Contenu	Observations
1	06/01/16	PO SEDRATI		O LEFLON		10 pages 8 annexes	

A compter du paiement intégral de la mission, le client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser à condition de respecter et de faire respecter les limites d'utilisation des résultats qui y figurent et notamment les conditions de validité et d'application du rapport.

## SOMMAIRE

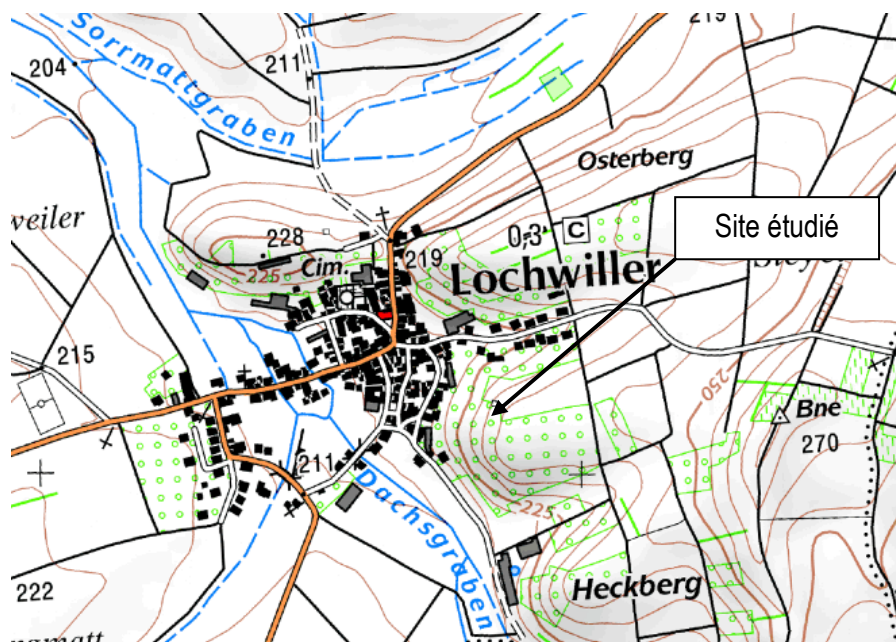
<b>1</b>	<b>PLANS DE SITUATION</b>	<b>4</b>
1.1	EXTRAIT DE CARTE IGN	4
1.2	IMAGE AERIENNE DE LA ZONE CONCERNEE	4
<b>2</b>	<b>CONTEXTE DE L'ETUDE</b>	<b>5</b>
2.1	DONNEES GENERALES	5
2.1.1	Généralités	5
2.1.2	Documents communiqués	5
2.2	NATURE ET OBJECTIFS DE LA MISSION GINGER CEBTP	5
<b>3</b>	<b>SONDAGES ET ESSAIS REALISES</b>	<b>6</b>
3.1	PREAMBULE	6
3.2	IMPLANTATION ET NIVELLEMENT	6
3.3	SONDAGES IN SITU	6
3.3.1	Sondages carottés équipés en piézomètre	6
3.3.2	Sondage destructif équipé en piézomètre	7
3.4	REALISATION DES SONDAGES EQUIPES EN PIEZOMETRES	7
3.4.1	Sondages carottés équipés en piézomètres	7
3.4.2	Sondage destructif équipé en piézomètre	9
3.4.3	Matériel utilisé	9
3.4.4	Aléas rencontrés lors du chantier	10
3.4.5	Méthode de développement des piézomètres	10
3.5	REALISATION DES DIAGRAPHIES GAMMA-RAY	10

## ANNEXES

<b>ANNEXE 1 – PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES</b>
<b>ANNEXE 2 – SONDAGES CAROTTES EQUIPES EN PIEZOMETRES</b>
<b>ANNEXE 3 – SONDAGE DESTRUCTIF EQUIPE EN PIZOMETRE</b>
<b>ANNEXE 4 – RAPPORTS REALISES PAR LES SONDEURS DES SONDAGES CAROTTES EQUIPES EN PIEZOMETRES</b>
<b>ANNEXE 5 – RAPPORT REALISE PAR LES SONDEURS DU SONDAGE DESTRUCTIF EQUIPE EN PIEZOMETRE</b>
<b>ANNEXE 6 – FICHE TECHNIQUE DE LA MACHINE INNOVA UTILISEE</b>
<b>ANNEXE 7 – LITHOLOGIES DETAILLEES DES SONDAGES CAROTTES REALISEES PAR GEODERIS</b>
<b>ANNEXE 8 – DIAGRAPHIES GAMMA-RAY DES SONDAGES</b>

## 1 PLANS DE SITUATION

### 1.1 Extrait de carte IGN



Source : CartoExplorer 3

### 1.2 Image aérienne de la zone concernée



Source : [www.google.fr/maps](http://www.google.fr/maps)

## 2 CONTEXTE DE L'ETUDE

---

### 2.1 Données générales

#### 2.1.1 Généralités

Nom de l'opération : Réalisation de sondages carottés équipés en piézomètres et réalisation de diagraphies gamma-ray

Localisation : LOCHWILLER (67) – Lotissement Weingarten

Commune : LOCHWILLER (67)

Client : GEODERIS

#### 2.1.2 Documents communiqués

Les documents qui nous ont été communiqués et qui ont été utilisés dans le cadre de ce rapport sont les suivants :

- Cahier des charges établi par GEODERIS.

### 2.2 Nature et objectifs de la mission GINGER CEBTP

La mission de GINGER CEBTP est conforme au contrat n°EST2.F.0149 et concernait la réalisation de quatre forages carottés à équiper de tubes piézométriques ainsi que la réalisation de diagraphies Gamma-Ray de ces forages.

Le lotissement Weingarten est le siège, depuis plusieurs années, de désordres aux terrains, aux infrastructures et au bâti, liés à un phénomène de surrection des sols. Cette situation trouve son origine dans des réactions de gonflement d'anhydrite, qui se transforme en gypse en présence d'eau. Un forage géothermique fuyard serait l'élément déclencheur auquel s'ajouteraient ensuite des infiltrations d'eau météorique.

L'objectif des quatre forages était de :

- fournir une description précise des couches sédimentaires en présence ;
- fournir une évaluation de l'extension spatiale des zones concernées actuellement par les transformations minéralogiques et de leur intensité ;
- permettre la réalisation de diagraphies ;
- permettre d'effectuer des prélèvements d'eau à des fins d'analyses chimiques ;
- permettre de prélever des échantillons de sols/roches en vue d'essais de caractérisation et géotechniques en laboratoire.

### 3 SONDAGES ET ESSAIS REALISES

#### 3.1 Préambule

Les moyens de reconnaissance et d'essais ont été définis par GEODERIS lors de la consultation.

Il était prévu la réalisation de 4 forages carottés, équipés en piézomètres, de longueurs suivantes :

- Sondage SC4 : 20 m,
- Sondage SC5 : 35 m,
- Sondage SC6 : 40 m,
- Sondage SC7 : 50 m.

Il était également prévu la réalisation de diagraphies gamma-ray de tous les forages.

#### 3.2 Implantation et nivellement

L'implantation des sondages in situ figure sur le plan joint en annexe 1. Elle a été définie par GEODERIS et réalisée par GINGER CEBTP en fonction des accès et en présence de GEODERIS.

Les coordonnées des têtes de sondages ont été relevées en X, Y et Z par GEODERIS.

#### 3.3 Sondages in situ

##### 3.3.1 Sondages carottés équipés en piézomètre

Les sondages suivants ont été réalisés :

Type de sondage	Quantité	Noms	Prof. / TN	Altitude NGF
<b>Sondages carottés</b> battus en diamètre extérieur 114 mm et rotatifs en en diamètre extérieur 122 mm	4	SC4	43.4 m	+220.310 m
		SC5	33.0 m	+230.050 m
		SC6	35.2 m	+225.804 m
		SC7	43.4 m	+243.511 m

Les coupes lithologiques simplifiées des sondages carottés sont présentées en annexe 2. Les levés géologiques ont été réalisés par GEODERIS.

Les profondeurs définitives des sondages ont été déterminées par GEODERIS les jours des sondages.

Les détails des équipements piézométriques sont indiqués sur les coupes lithologiques simplifiées présentées en annexe 2.

Les rapports de sondages carottés, réalisés par le chef de chantier, sont présentés en annexe 4.

### 3.3.2 Sondage destructif équipé en piézomètre

A la demande de GEODERIS un sondage destructif complémentaire équipé en piézomètre a été réalisé.

Type de sondage	Quantité	Noms	Prof. / TN	Altitude NGF
Sondage destructif avec enregistrement des paramètres en continu	1	SC6-2	22.0 m	+224.790 m

Le détail de l'équipement piézométrique mis en place est présenté en annexe 3.

Le rapport du sondage destructif, réalisé par le chef de chantier, est présenté en annexe 5.

## 3.4 Réalisation des sondages équipés en piézomètres

### 3.4.1 Sondages carottés équipés en piézomètres

Avant la réalisation des sondages carottés, des avant-trous ont été réalisés selon les indications du CCTP établi par GEODERIS. L'objectif était d'isoler les forages de venues d'eau provenant des formations géologiques superficielles.

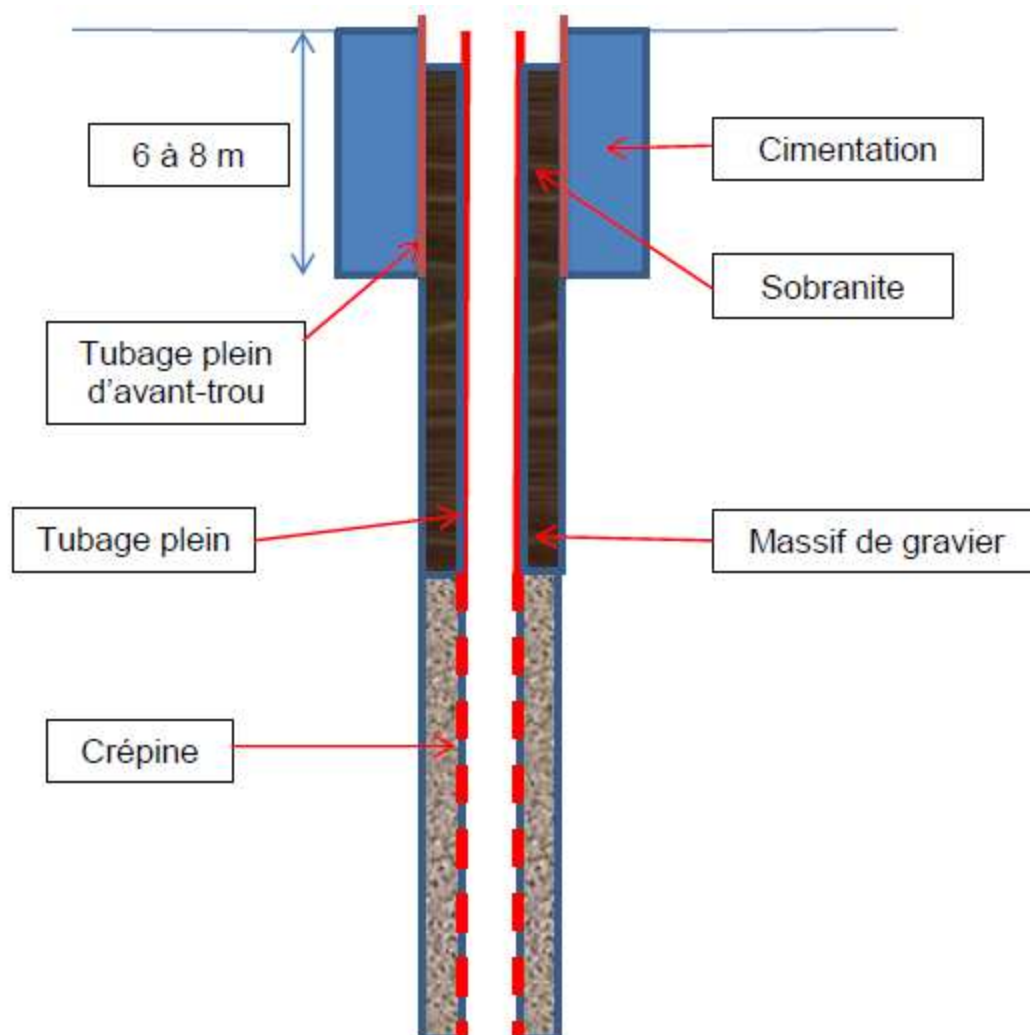
Les caractéristiques des avant-trous ne sont pas visibles sur les coupes de forages en annexe 3.

Les 4 avant-trous ont été réalisés de la manière suivante :

- Carottages battus en diamètre extérieur 114 mm et rotatifs en en diamètre extérieur 122 mm jusqu'à 8.0 m de profondeur ;
- Réalésage du trou à la tarière en Ø254 mm jusqu'à 7.0 m de profondeur ;
- Mise en place d'un tubage galvanisé Ø168 mm entre 0.0 et 7.0 m de profondeur ;
- Cimentation extradados du tube ;
- Poursuite du carottage.



La figure ci-dessous présente un schéma des ouvrages réalisés :



Les piézomètres ont été mis en place selon la méthode suivante :

- Mise en place du tubage de l'avant-trou ;
- Réalisation des carottages jusqu'à la profondeur indiquée par GEODERIS ;
- Réalésage du trou de forage au tricône Ø154 mm pour les sondages SC5, SC6 et SC7 (pas le SC4) ;
- Cimentation du trou de forage jusqu'à la profondeur de la base du piézomètre fixée par GEODERIS ;
- Mise en place des tubes piézométriques ;
- Mise en œuvre du massif filtrant et du bouchon de sobranite aux profondeurs fixées par GEODERIS ;
- Cimentation du piézomètre jusqu'à la surface ;
- Mise en place du capot orange avec cadenas (ou de la bouche-à-clef pour le sondage SC5).

### Remarques :

- les caractéristiques des piézomètres (niveaux crépinés et pleins, profondeur) sont indiquées sur les coupes de forage présentées en annexe 2,
- les lithologies détaillées établies par GEODERIS sont présentées en annexe 7.

#### 3.4.2 Sondage destructif équipé en piézomètre

A la demande de GEODERIS un sondage complémentaire, non prévu initialement, a été réalisé. Il s'agit d'un sondage destructif, avec enregistrements des paramètres de forage, équipé en piézomètre.

Aucun avant-trou n'a été réalisé pour ce sondage.

La réalisation du sondage s'est déroulée selon la méthode suivante :

- Réalisation du sondage destructif au tricône Ø154mm jusqu'à 22.0 m de profondeur ;
- Mise en place des tubes piézométriques Ø75mm jusqu'à 22.0 m de profondeur ;
- Mise en œuvre du massif filtrant entre 15.5 m et 22.0 m de profondeur,
- Mise en œuvre du bouchon de sobranite entre 13.0 m et 15.5 m de profondeur ;
- Cimentation du piézomètre jusqu'à la surface ;
- Mise en place du capot orange avec cadenas.

Les caractéristiques du piézomètre (niveaux crépiné et plein, profondeur) sont indiquées sur la coupe de forage présentée en annexe 3.

#### 3.4.3 Matériel utilisé

Le matériel suivant a été utilisé :

- Foreuse INNOVA (fiche technique présentée en annexe 6) ;
- Pompe à eau ;
- Compresseur ;
- Carottier battu LS Ø114mm ;
- Carottier rotatif PQ Ø122mm ;
- Tricône Ø152mm ;
- Caisses à carottes ;
- Tubes galvanisé Ø154/168mm pour les avant-trous ;
- Tubes piézométriques en PVC pleins et crépinés Ø75mm ;
- Bouchons de fonds piézométriques ;
- 4 Capots orange avec cadenas d'artillerie ;

- 1 bouche-à-clef ;
- Sacs de gravette pour les massifs filtrants ;
- Sacs de sobranite ;
- Sacs de coulis de ciment ;
- Compresseur pour le développement des piézomètres.

#### 3.4.4 Aléas rencontrés lors du chantier

Aucun aléa particulier n'a été rencontré lors du chantier.

#### 3.4.5 Méthode de développement des piézomètres

Les piézomètres ont été soufflés au compresseur comme prévu initialement au contrat. A la demande de GEODERIS, l'eau présente dans les piézomètres a également été évacuée à l'aide d'une pompe.

### 3.5 Réalisation des diagraphies gamma-ray

Les diagraphies gamma-ray ont été réalisées dans le sondage SC4 avant et après la pose du piézomètre et du tube galvanisé pour vérifier les différences de signaux obtenus. Ces différences se sont avérées minimales. Il a donc été convenu avec GEODERIS de réaliser les diagraphies après la réalisation définitives des autres sondages.

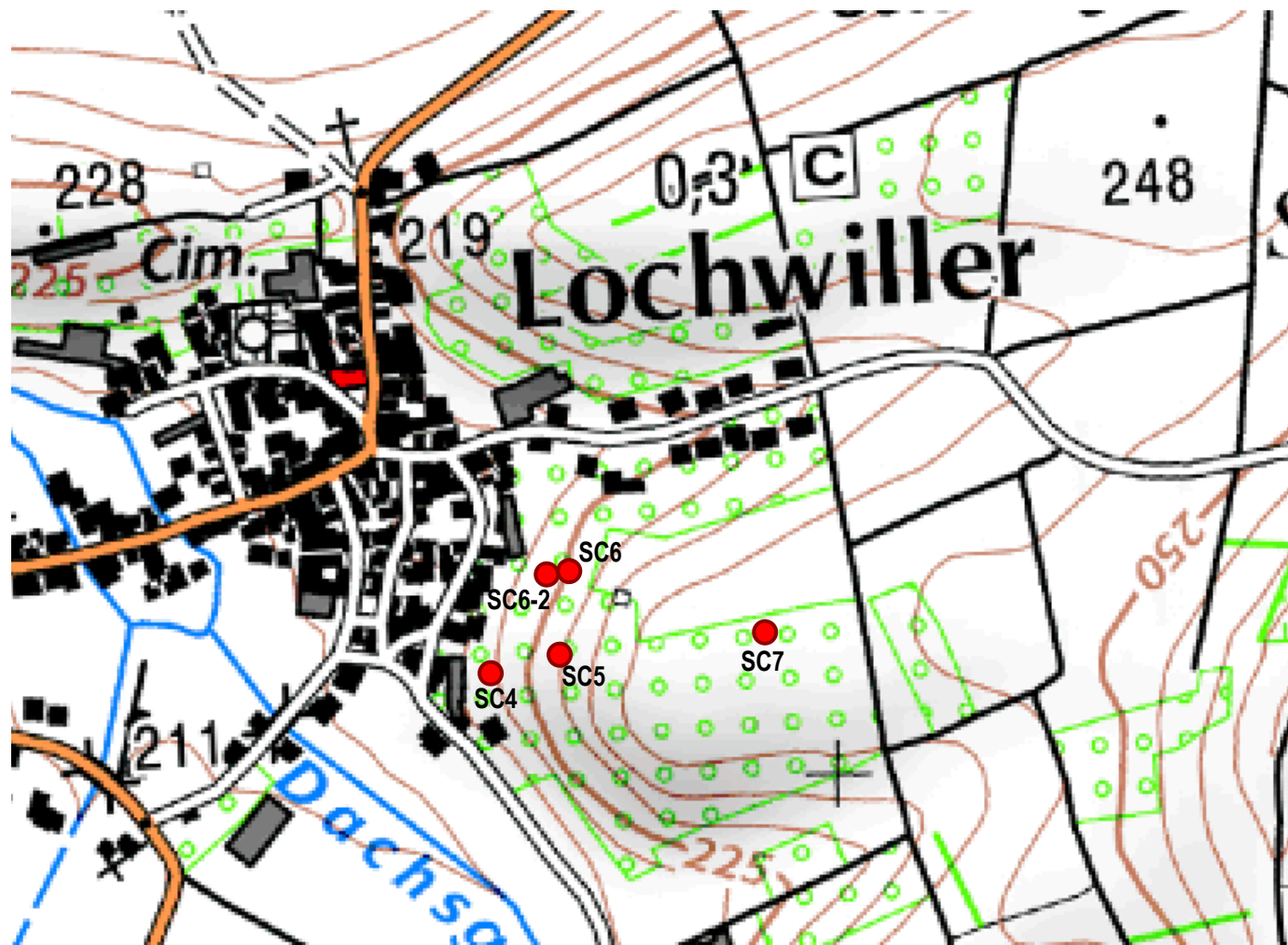
Il a également été réalisé des diagraphies dans le sondage existant avec inclinomètre.

Les résultats des diagraphies sont présentés en annexe 8.



## ***ANNEXE 1 – PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES***

### PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES





## ***ANNEXE 2 – SONDAGES CAROTTES EQUIPES EN PIEZOMETRES***

- Coupes lithologiques simplifiées,
- Détails des équipements piézométriques.

Prof. (m)	Outils Tubage Etages	COUPE		Description des sols	Piezomètre	Echant.	équipement Piezo et observations
		Prof	NGF				
1	Carottier battu Ø114mm		0.20	220.11	Remblais de surface Terrain remanié : argile marron gris, légèrement sableuse et graveleuse		Cimentation au mortier entre 0.0m et 4.3m
			0.80	219.51	Argile silteuse bariolée vert et marron avec nodules blancs		
			1.45	218.86	Argile silteuse bariolée gris vert		
2	Carottier battu Ø114mm		1.95	218.36	Argile gris-vert légèrement silteuse		Bouchonde sobranite de 4.3m à 8.0m
			3.60	216.71	Argile marneuse gris-vert		
4	Carottier rotatif Ø122mm		4.40	215.91	Argile plastique légèrement silteuse vert kaki avec bancs sableux		Massif filtrant entre 8.0m et 19.0m
			5.10	215.21	Argile marneuse gris-vert avec alternance de lits gypseux		
9	Carottier rotatif Ø122mm		8.50	211.81	Alternance d'argile marneuse gris-vert et de bancs d'anhydrite		
			9.20	211.11	Marne calcaire et argile molle beige clair		
10	Carottier rotatif Ø122mm		9.60	210.71	Alternance de marne gris ou bariolée et de bancs d'anhydrite millimétriques à pluricentimétriques		
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.62 du 03-12-2015 -- [DQ.E137 - V.1 du 17/05/2011]

Sondeuse: INNOVA (M416)

... SUITE en PAGE 2

Nappe : /  
à la date du sondage

Observations : /

PIEZOMETRIE: tube Ø Int. 64mm, longueur 19m, crépiné de 4.3 à 19m.  
Protection: Capot avec cadenas en tête.

**SONDAGE CAROTTE SC4**

Chantier : LOCHWILLER (67) - Lotissement Weingarten

Sondages carottés équipés en piézomètres

Client : GEODERIS

Dossier : EST2.F.067

PAGE 2 / 3

Coordonnées du sondage:

X : 1024946.811 Y : 6852938.904 Z : 220.310 (NGF)



date travaux: Du 07 au 23 juillet 2015

Ech.Prof: 1/100°

Prof. (m)	Outils	Tubage	Etages	COUPE		Description des sols	Piezomètre	Echant.	équipement Piezo et observations
				Prof	NGF				
21	Carottier rotatif Ø122mm								
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30						Alternance de marne gris ou bariolée et de bancs d'anhydrite millimétriques à pluricentimétriques			Trou de carottage cimenté entre 19.0 et 43.4m
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.62 du 03-12-2015 -- [ DQ.E137 - V.1 du 17/05/2011 ]

Sondeuse: INNOVA (M416)

... SUITE en PAGE 3

Nappe : /  
à la date du sondage

Observations : /



**SONDAGE CAROTTE SC4**

Chantier : LOCHWILLER (67) - Lotissement Weingarten

Sondages carottés équipés en piézomètres

Client : GEODERIS

Dossier : EST2.F.067

PAGE 3 / 3



Coordonnées du sondage:

X : 1024946.811 Y : 6852938.904 Z : 220.310 (NGF)

date travaux: Du 07 au 23 juillet 2015

Ech.Prof: 1/100°

Prof. (m)	Outils	Tubage	Etages	COUPE		Description des sols	Piezomètre	Echant.	équipement Piezo et observations
				Prof	NGF				
41	Carottier rotatif Ø122mm			~	~	Alternance de marne gris ou bariolée et de bancs d'anhydrite millimétriques à pluricentimétriques			Trou de carottage cimenté entre 19.0 et 43.4m
42				~	~				
43				~	~				
44					43.40	176.91	[ Arrêt du sondage ]		
45									
46									
47									
48									
49									
50									
51									
52									
53									
54									
55									
56									
57									
58									
59									
60									

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.62 du 03-12-2015 -- [ DQ.E\37 - V.1 du 17/05/2011 ]

Sondeuse: INNOVA (M416)

Observations : /

Nappe : /  
à la date du sondage

**SONDAGE CAROTTE SC5**

Chantier : LOCHWILLER (67) - Lotissement Weingarten  
Sondages carottés équipés en piézomètres

Client : GEODERIS  
Dossier : EST2.F.067



Coordonnées du sondage:  
X : 1025002.730 Y : 6852955.688 Z : 230.050 (NGF)

date travaux: Du 21 au 24 juillet 2015

Ech.Prof: 1/100°

Prof. (m)	Outils	Tubage	Etages	COUPE		Description des sols	Piezomètre	Echant.	équipement Piezo et observations
				Prof	NGF				
1	Carottier battu Ø114mm			0.20	229.85	Enrobé + couche de forme et couche de fondation			
2				1.60	228.45	Terrain remanié : argile brun-rouge avec graviers siliceux			
3						Argile bariolée brun-rouge et grise avec lits d'anhydrite/gypse			
4	Tubage galvanisé Ø168mm			5.00	225.05	Argile marneuse gris-vert avec alternance de lits d'anhydrite/gypseux			Cimentation au mortier entre 0.0m et 9.0m
6				6.40	223.65	Argile brun-rouge avec lits d'anhydrite/gypse			
9				9.00	221.05	Argile marneuse gris-vert avec nodules d'anhydrite/gypse			
10				10.20	219.85	Argile marneuse bariolée brun-rouge ou gris avec nodules d'anhydrite/gypse			
12				12.00	218.05	Argile marneuse gris-vert à bariolée avec lits d'anhydrite/gypse			
13									
14									
15									
16									
17									
18	Carottier rotatif Ø122mm			18.60	211.45	Alternance de marne gris ou bariolée et de bancs d'anhydrite/gypse millimétriques à pluricentimétriques			Bouchon de sobranite entre 17.0m et 19.0m
19									
20									

Loticiel SONDAGE32 - Version 3.62 du 03-12-2015 -- [ DQ.E137 - V.1 du 17/05/2011 ]

Sondeuse: INNOVA (M416)

... SUITE en PAGE 2

Nappe : /  
à la date du sondage

Observations : /

PIEZOMETRIE: tube Ø Int. 64mm, longueur 30.9m, crépiné de 19 à 25m.  
Protection: bouche à clé en tête.

**SONDAGE CAROTTE SC5**

Chantier : LOCHWILLER (67) - Lotissement Weingarten

Sondages carottés équipés en piézomètres

Client : GEODERIS

Dossier : EST2.F.067

PAGE 2 / 2

Coordonnées du sondage:

X : 1025002.730 Y : 6852955.688 Z : 230.050 (NGF)



date travaux: Du 21 au 24 juillet 2015

Ech.Prof: 1/100°

Prof. (m)	Outils	Tubage	Etages	COUPE		Description des sols	Piezomètre	Echant.	équipement Piezo et observations
				Prof	NGF				
21	Carottier rotatif Ø122mm					Alternance de marne gris ou bariolée et de bancs d'anhydrite/gypse millimétriques à pluricentimétriques			Massif filtrant entre 19.0m et 28.0m  Bouchon de sobranite entre 28.0m et 33.0m
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33					33.00				
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.62 du 03-12-2015 -- [ DQ.E137 - V.1 du 17/05/2011 ]

Sondeuse: INNOVA (M416)

Observations : /

PIEZOMETRIE: tube Ø Int. 64mm, longueur 30.9m, crépiné de 19 à 25m.  
Protection: bouche à clé en tête.

Nappe : /  
à la date du sondage

**SONDAGE CAROTTE SC6**

Chantier : LOCHWILLER (67) - Lotissement Weingarten

Sondages carottés équipés en piézomètres

Client : GEODERIS

Dossier : EST2.F.067

PAGE 1 / 2



Coordonnées du sondage:

X : 1025004.388 Y : 6853017.895 Z : 225.804 (NGF)

date travaux: Du 27/07 au 30/07

Ech.Prof: 1/100°

Prof. (m)	Outils	Tubage	Etages	COUPE		Description des sols	Piézomètre	Echant.	équipement Piezo et observations
				Prof	NGF				
1	Carottier battu Ø114mm	Tube galvanisé Ø168mm		0.25	225.55	Terre végétale			
2				1.70	224.10	Argile brun-rouge			
3				3.00	222.80	Argile bariolée brun-rouge/gris-vert avec lits d'anhydrite/gypse			
4				4.20	221.60	Argile marneuse gris-vert avec lits d'anhydrite/gypse			
5									
6									
7									
8	Carottier rotatif Ø122mm			7.80	218.00	Argile bariolée brun-rouge avec lits d'anhydrite/gypse			Bouchon de sobranite entre 7.5m et 9.0m
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18				17.35	208.45	Argile gris-vert légèrement silteuse			
19				18.60	207.20	Alternance de marne grise et de lits d'anhydrite/gypse			
20									
									Bouchon de sobranite entre 15.0m et 18.0m
									Trou de carottage cimenté entre 18,0 et 35.2m

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.62 du 03-12-2015 -- [ DQ.E137 - V.1 du 17/05/2011 ]

Sondeuse: INNOVA (M416)

... SUITE en PAGE 2

Nappe : /  
à la date du sondage

Observations : /

PIEZOMETRIE: tube Ø Int. 64mm, longueur 18m, crépiné de 9 à 15m.  
Protection: Capot avec cadenas en tête.

**SONDAGE CAROTTE SC6**

Chantier : LOCHWILLER (67) - Lotissement Weingarten

Sondages carottés équipés en piézomètres

Client : GEODERIS

Dossier : EST2.F.067



Coordonnées du sondage:

X : 1025004.388 Y : 6853017.895 Z : 225.804 (NGF)

date travaux: Du 27/07 au 30/07

Ech.Prof: 1/100°

Prof. (m)	Outils	Tubage	Étages	COUPE		Description des sols	Piezomètre	Echant.	équipement Piezo et observations	
				Prof	NGF					
21	Carottier rotatif Ø122mm			20.40	205.40	Marne grise avec nombreux lits d'anhydrite/gypse millimétriques				
22				Alternance de marne grise et d'anhydrite/gypse pluricentimétriques						
23										
24										
25				25.10	200.70	Alternance de marne grise et de lits d'anhydrite/gypse millimétriques				
26										
27										
28				Alternance de marne grise et de lits d'anhydrite/gypse millimétriques	29.40	196.40				
29										
30										
31				Alternance de marne grise et de lits d'anhydrite/gypse millimétriques	35.20	190.60				
32										
33										
34										
35										
36				[ Arrêt du sondage ]						
37										
38										
39										
40										

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.62 du 03-12-2015 -- [ DQ.E137 - V.1 du 17/05/2011 ]

Sondeuse: INNOVA (M416)

Observations : /

Nappe : /  
à la date du sondage

**SONDAGE CAROTTE SC7**

Chantier : LOCHWILLER (67) - Lotissement Weingarten

Sondages carottés équipés en piézomètres

Client : GEODERIS

Dossier : EST2.F.067

PAGE 1 / 3



Coordonnées du sondage:

X : 1025149.935 Y : 6852969.129 Z : 243.511 (NGF)

date travaux: Du 31/07 au 07/08/2015

Ech.Prof: 1/100°

Prof. (m)	Outils	Tubage	Etages	COUPE		Description des sols	Piézomètre	Echant.	équipement Piezo et observations	
				Prof	NGF					
1	Carottier battu Ø111.			0.25	243.26	Terre végétale				
2				1.50	242.01	Argile marneuse gris-beige avec lits discontinus d'évaporites				
3	Tubage galvanisé Ø168mm					Argile marneuse gris-vert avec lits et cavités d'évaporites				Cimentation au mortier entre 0.0m et 7.0m
4										
5				4.50	239.01					
6										
7						Argile marneuse gris vert avec lits d'évaporites				
8										
9				8.60	234.91					
10				9.80	233.71	Alternance d'argile marneuse gris-vert et de bancs d'anhydrite/gypse				
11						Marne induré et lits d'anhydrite/gypse				
12				Carottier rotatif Ø122mm						
13										
14			Marne gris-vert et lits d'anhydrite/gypse							
15										
16	15.90	227.61								
17										
18			Marne grise et lits d'anhydrite/gypse							
19										
20										

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.62 du 03-12-2015 -- [ DQ.E137 - V.1 du 17/05/2011 ]

Sondeuse: INNOVA (M416)

... SUITE en PAGE 2

Nappe : /  
à la date du sondage

Observations : /

PIEZOMETRIE: tube Ø Int. 64mm, longueur 46m, crépiné de 34 à 46m.  
Protection: Capot avec cadenas en tête.

**SONDAGE CAROTTE SC7**

Chantier : LOCHWILLER (67) - Lotissement Weingarten

Sondages carottés équipés en piézomètres

Client : GEODERIS

Dossier : EST2.F.067



Coordonnées du sondage:

X : 1025149.935 Y : 6852969.129 Z : 243.511 (NGF)

date travaux: Du 31/07 au 07/08/2015

Ech.Prof: 1/100°

Prof. (m)	Outils	Tubage	Etages	COUPE		Description des sols	Piezomètre	Echant.	équipement Piezo et observations		
				Prof	NGF						
21	Carottier rotatif Ø122mm					<p>Marne grise et lits d'anhydrite/gypse</p> <p>Marne bariolée grise et lie de vin</p> <p>Marne grise et de lits d'anhydrite/gypse millimétriques à centimétriques</p>			<p>Coulis de ciment entre 9.0m et 31.0m</p> <p>Bouchon de sobranite entre 31.0 et 33.0m</p> <p>Massif filtrant de 33.0m à 46.0m</p>		
22											
23											
24											
25											
26											
27											
28											
29					28.90		214.61				
					29.40		214.11				
30											
31											
32											
33											
34											
35											
36											
37											
38											
39											
40											

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.62 du 03-12-2015 -- [DQ.E137 - V.1 du 17/05/2011]

Sondeuse: INNOVA (M416)

... SUITE en PAGE 3

Nappe : /  
à la date du sondage

Observations : /

PIEZOMETRIE: tube Ø Int. 64mm, longueur 46m, crépiné de 34 à 46m.  
Protection: Capot avec cadenas en tête.

**SONDAGE CAROTTE SC7**

Chantier : LOCHWILLER (67) - Lotissement Weingarten

Sondages carottés équipés en piézomètres

Client : GEODERIS

Dossier : EST2.F.067



Coordonnées du sondage:

X : 1025149.935 Y : 6852969.129 Z : 243.511 (NGF)

date travaux: Du 31/07 au 07/08/2015

Ech.Prof: 1/100°

Prof. (m)	Outils	Tubage	Etages	COUPE		Description des sols	Piezomètre	Echant.	équipement Piezo et observations
				Prof	NGF				
41	Carottier rotatif Ø122mm					Marne grise et de lits d'anhydrite/gypse millimétriques à centimétriques			Massif filtrant de 33.0m à 46.0m
42									
43									
44									
45									
46									
47									
47.50									
196.01									
48									
48						[ Arrêt du sondage ]			
49									
50									
51									
52									
53									
54									
55									
56									
57									
58									
59									
60									

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.52 du 03-12-2015 -- [ DQ.E137 - V.1 du 17/05/2011 ]

Sondeuse: INNOVA (M416)

Observations : /

PIEZOMETRIE: tube Ø Int. 64mm, longueur 46m, crépiné de 34 à 46m.

Protection: Capot avec cadenas en tête.

**Nappe : /**  
à la date du sondage





### ***ANNEXE 3 – SONDAGE DESTRUCTIF EQUIPE EN PIZOMETRE***

- Coupe lithologique très simplifiée,
- Détails de l'équipement piézométrique.

**SONDAGE DESTRUCTIF SC6-2**

Chantier : LOCHWILLER (67) - Lotissement Weingarten

Sondages carottés équipés en piézomètres

Client : GEODERIS

Dossier : EST2.F.067

Coordonnées du sondage:

X : 1024999.866 Y : 6853022.350 Z : 224.790 (NGF)



date travaux: Du 11/08 au 12 août 2015

Ech.Prof: 1/100°

Prof. (m)	Outils	Tubage	Étages	COUPE		Description des sols	Piézomètre	Echant.	équipement Piezo et observations
				Prof	NGF				
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									Coulis de ciment entre 0.0m et 13.0m
8									
9									
10						Alternance de marne brun-rouge, grise et verte			
11									
12									
13									
14									Bouchon de sobranite entre 13.0m et 15.5m
15									
16									
17									
18									
19									Massif filtrant entre 15.5m et 22.0m
20									

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.62 du 03-12-2015 -- [ DCL E137 - V.1 du 17/05/2011 ]

Tricône Ø154mm

Sondeuse: INNOVA (M416)

... SUITE en PAGE 2

Nappe : /  
à la date du sondage

Observations : /

PIEZOMETRIE: tube Ø Int. 64mm, longueur 22m, crépiné de 16 à 22m.

Protection: Capot avec cadenas en tête.

**SONDAGE DESTRUCTIF SC6-2**

Chantier : LOCHWILLER (67) - Lotissement Weingarten

Sondages carottés équipés en piézomètres

Client : GEODERIS

Dossier : EST2.F.067

Coordonnées du sondage:

X : 1024999.866 Y : 6853022.350 Z : 224.790 (NGF)



Ech.Prof: 1/100°

date travaux: Du 11/08 au 12 août 2015

Prof. (m)	Outils	Tubage	Étages	COUPE		Description des sols	Piezomètre	Echant.	équipement Piezo et observations
				Prof	NGF				
21	Tricône Ø154mm				22.00	202.79			Massif filtrant entre 15.5m et 22.0m
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									
31									
32									
33									
34									
35									
36									
37									
38									
39									
40									

Logiciel SONDAGE32 - Version 3.62 du 03-12-2015 -- [ D0.E.137 - V.1 du 17/05/2011 ]

Sondeuse: INNOVA (M416)

Observations : /

PIEZOMETRIE: tube Ø Int. 64mm, longueur 22m, crépiné de 16 à 22m.

Protection: Capot avec cadenas en tête.

**Nappe : /**  
à la date du sondage



## ***ANNEXE 4 – RAPPORTS REALISES PAR LES SONDEURS DES SONDAGES CAROTTES EQUIPES EN PIEZOMETRES***



PÔLE SONDAGE

PS-E519

Version 0 - 18/03/11

Fiche de suivi d'un carottage

Processus affaire

Chantier : *Lochwiller* Dossier : ..... Folio n° *1/3*  
 Date : *07.09.10/07.15* Atelier : *M.4.16.(innova)* Sondage N° : *SC.4*

Suivi des couronnes : types, n°, vitesse avancement, linéaire réalisé par couronne,.... Nbre caisses à carottes : ..... *22*.  
 Photos des caisses :  à faire  réalisées

Date	profondeur de Passe		Carottier			Fluide et Tubage		Description	
	de	à	Type	Diamètre (mm)	Nature couronne	Perte Retour	Diamètre Tubage	Longueur carotte	Nature du sol
07/07	0,00	1,45	<i>simpl LS</i>	<i>114</i>	<i>à vagues</i>		<i>tube perdu</i>	<i>1,30</i>	
" "	1,45	2,90	"	"	"		<i>Ø 168</i>	<i>1,30</i>	
08/07	<i>2,90</i>	<i>3,60</i>	<i>PQ</i>	<i>122</i>	<i>pierres serties</i>			<i>0,70</i>	
	<i>3,60</i>	<i>3,70</i>						<i>0,10</i>	
	<i>3,70</i>	<i>4,20</i>						<i>0,50</i>	
	<i>4,20</i>	<i>5,40</i>						<i>1,20</i>	
	<i>5,40</i>	<i>6,30</i>						<i>0,90</i>	
	<i>6,30</i>	<i>6,80</i>						<i>0,50</i>	
	<i>6,80</i>	<i>8,00</i>					<i>700m</i>	<i>0,80</i>	
09/07	8,00	9,00	<i>simpl LS</i>	<i>114</i>	<i>à vagues</i>	<i>perte totale</i>		<i>1,00</i>	
	<i>9,00</i>	<i>9,30</i>	<i>PQ</i>	<i>122</i>	<i>pierres serties</i>			<i>0,25</i>	
	<i>9,30</i>	<i>11,00</i>						<i>1,65</i>	
	<i>11,00</i>	<i>12,45</i>						<i>1,40</i>	
10/07	12,45	12,80						<i>0,35</i>	

*Alternance Argile grise / brune / brune beige / jaune vert. avec nodules blancs*

*Horne grise noire avec filonnets gypse*

Niveau d'eau par Poste			Piézomètre provisoire <input type="checkbox"/>			Essais d'eau Lugeon / Perméa.			Remarques :
Date	début	fin	Profondeur : .....	N°	de	à	N°	de	
07/07	<i>Sec</i>		crépine de : .....	①	<i>0,00</i>	<i>1,45</i>			
08/07	<i>Sec</i>		à : .....	②	<i>1,45</i>	<i>3,60</i>			
10/07	<i>10,62</i>	<i>10,10</i>		③	<i>3,60</i>	<i>5,40</i>			
15/07	<i>10,80</i>	<i>/</i>		④	<i>5,40</i>	<i>7,30</i>			
16/07	<i>10,63</i>	<i>/</i>		⑤	<i>7,30</i>	<i>9,65</i>			
17/07	<i>10,60</i>			⑥	<i>9,65</i>	<i>11,65</i>			
20/07	<i>10,60</i>			⑦	<i>11,65</i>	<i>13,70</i>			
				⑧	<i>13,70</i>	<i>15,55</i>			
				⑨	<i>15,55</i>	<i>17,00</i>			

*0,00/7,00 réalisation ..... tarières Ø 245mm*

*Cimentation extrados tube galva Ø 168mm de 0,00 à 7,00m*

Nom du Chef d'équipe : *NICOD R*



# PÔLE SONDAGE

PS-E519

Version 0 - 18/03/11

## Fiche de suivi d'un carottage

Processus affaire

Chantier : Lachwiller Dossier : ..... Folio n° 2/3

Date : 10:15:16.10.7/15 Atelier : M.4.1.6.(Inova) Sondage N° : SC4

Suivi des couronnes : types, n°, vitesse avancement, linéaire réalisé par couronne,...

Nbre caisses à carottes : ..... 22..

Photos des caisses :  à faire  réalisées

Date	profondeur de Passe		Carottier			Fluide et Tubage		Description		
	de	à	Type	Diamètre (mm)	Nature couronne	Perte Retour	Diamètre Tubage	Longueur carotte	Nature du sol	
10/07	12,80	14,40	PQ	122	pierres serties			1,60		
10/07	14,40	15,90						1,50	Marne grise noire + ou - feuilletée avec nombreuses pièces de gypse blanc au rose.	
15/07	15,90	17,40						1,50		
	17,40	18,80						1,40		
	18,80	20,40						1,60		
	20,40	21,90						1,40		
	21,90	23,40						1,40		
	23,40	24,90						1,50		
16/07	24,90	26,40						1,45		Marnes à gypse
	26,40	27,90						1,40		
	27,90	29,40						1,50		
	29,40	30,90	1,45							
	30,90	32,40	1,40							
	32,40	33,90	1,45							

Niveau d'eau par Poste			Piézomètre provisoire <input type="checkbox"/>			Essais d'eau Lugeon / Perméa.			Remarques :
Date	début	fin	Profondeur : .....	PREI. caisses échantillons <input type="checkbox"/>			N°	de	
			crépine de : .....	10	17,00	19,55			
			à : .....	11	19,55	21,50			
				12	21,50	23,60			
				13	23,60	25,40			
				14	25,40	27,35			
				15	27,35	29,30			
				16	29,30	31,30			
				17	31,30	33,30			
				18	33,30	35,35			

Remplir la fiche PS-E522

Nom du Chef d'équipe : NICOD P.



Chantier : ...Lochwiller..... Dossier : ..... Folio n°  
 Date : 17-20-21-23/07/15 Atelier : M416.(Inova) Sondage N° : ...S.C4..... 3/3  
 Suivi des couronnes : types, n°, vitesse avancement, linéaire réalisé par couronne,.... Nbre caisses à carottes : ...22....  
 Photos des caisses :  
 à faire  réalisées

Date	profondeur de Passe		Carottier			Fluide et Tubage		Description	
	de	à	Type	Diamètre (mm)	Nature couronne	Perte Retour	Diamètre Tubage	Longueur carotte	Nature du sol
16/07	33,90	35,40	PQ	122	pierres scories			1,45	Marnes à gypse très lâches.
}	35,40	36,10	}	}	}			0,55	
	36,10	37,60						1,50	
17/07	37,60	38,90						1,30	
	38,90	40,45						1,45	
	40,45	41,90						1,40	
	41,90	43,40						1,40	

20/07 Remontée du carottier PQ complet  
 Descente d'un train de tiges 160mm au fond (43m)  
 Injection par ce train de tiges d'un coulis de ciment. (340 litres)  
 Remontée du train de tiges.

21/07 Pose d'un tube piézométrique Ø 175mm. à 19,00m, plein de 0,00 à 4,30m ; crépine de 4,30 à 19,00 ; bouchon de fond ; Sabranite de 19,00m à 21,00 (ciment de 21,00 à 43,40m) ; gravillon de 8,00 à 19,00m  
 Sabranite de 4,30m à 8,00m

23/07 Cimentation de 0,40 à 4,30m avec mortier et pose d'un capot de protection métallique adhésif.

Niveau d'eau par Poste			Piézomètre provisoire <input type="checkbox"/>			Essais d'eau Lugeon / Perméa.			Remarques :
Date	début	fin	Profondeur : .....	N°	de	à	N°	de	
			crépine de : .....	(19)	35,35	37,50			
			à : .....	(20)	37,50	39,55			
				(21)	39,55	41,90			
				(22)	41,90	43,40			
			Piézomètre définitif <input checked="" type="checkbox"/>						
			Remplir la fiche PS-E522						Nom du Chef d'équipe : NICO D P.
			bouche à clef... <input type="checkbox"/>						
			capot..... <input checked="" type="checkbox"/>						



# PÔLE SONDAGE

PS-E519

Version 0 - 18/03/11

## Fiche de suivi d'un carottage

Processus affaire

Chantier : *Lochwiller* Dossier : ..... Folio n° *1/2*

Date : *21-22.10.7.2015* Atelier : *M416 (Inova)* Sondage N° : *SC3*

Suivi des couronnes : types, n°, vitesse avancement, linéaire réalisé par couronne,...

Nbre caisses à carottes : *16*

Photos des caisses :  à faire  réalisées

Date	profondeur de Passe		Carottier			Fluide et Tubage		Description	
	de	à	Type	Diamètre (mm)	Nature couronne	Perte Retour	Diamètre Tubage	Longueur carotte	Nature du sol
21/07	0,00	1,90	LS	114	Subot à vagues		PW(160) à 1,50	1,40	0,00/0,10 bitume, 0,10/1,70 galets, gravier, argilux rouge
	1,90	3,10	"	"	"			1,20	
	3,10	4,50	PQ	122	flax Pax			1,40	
	4,50	5,30						0,80	
	5,30	6,80						1,50	
	6,80	8,30				perte totale 90%		1,50	Marne blanche, grise brun rouge, ou verte + ou en plaquettes
	8,30	10,20						1,75	
22/07	10,20	11,35						0,90	
	11,35	12,95						1,60	
	12,95	14,40						1,55	
	14,40	15,90						1,30	
	15,90	16,95						1,00	
	16,95	18,55						1,60	
	18,55	20,05						1,50	

Niveau d'eau par Poste			Piézomètre provisoire <input type="checkbox"/>			Essais d'eau Lugeon / Perméa.			Remarques :	
Date	début	fin	Profondeur : .....	casse P.E.I. échantillonnage <input checked="" type="checkbox"/>			N°	de		à
			crépine de : .....	①	0,00	2,50				0,00/7,00 t. él. s. s. g. Sta tarière Ø 245mm Pose d'1 tube galva Ø 154/118 avec cimentation extra dite de 0,00 à 1,00m
			à : .....	②	2,50	4,50				
				③	4,50	6,50				
				④	6,50	8,30				
				⑤	8,30	10,50				
				⑥	10,50	12,50				
				⑦	12,50	14,40				
				⑧	14,40	16,70				
				⑨	16,70	18,70				
			Piézomètre définitif <input type="checkbox"/>							Nom du Chef d'équipe : <i>Nico P.</i>
			Remplir la fiche PS-E522							
			bouche à clef... <input type="checkbox"/>							
			capot..... <input type="checkbox"/>							





PÔLE SONDAGE

PS-E519

Version 0 - 18/03/11

Fiche de suivi d'un carottage

Processus affaire

Chantier : ...Lochwiller..... Dossier : ..... Folio n°  
 Date : ...22.10.2015... Atelier : M.46.(Inova) Sondage N° : ...S.C.5..... 2/2  
 Suivi des couronnes : types, n°, vitesse avancement, linéaire réalisé par couronne,...

Nbre caisses à carottes : ...16...  
 Photos des caisses :  
 à faire  réalisées

Date	profondeur de Passe		Carottier			Fluide et Tubage		Description	
	de	à	Type	Diamètre (mm)	Nature couronne	Perte Retour	Diamètre Tubage	Longueur carotte	Nature du sol
22/07	20,05	21,65	PQ	122	Mux Pax			1,60	
23/07	21,65	23,20						1,35	Morne à gypse ↗
	23,20	24,70						1,50	
	24,70	26,35						1,60	
	26,35	27,75						1,30	
	27,75	29,90						1,85	
	29,90	31,40						1,50	
	31,40	33,00						1,60	
			Fin de carottage						
24/07	Remontée du carottier PQ complet, réaléage tricone φ150mm à 31,00m. Mise en place d'un tube piezo métrique φ75mm à 30,90m; plein de 25,00m à 30,90m; crépine de 19,00 à 25,00m; plein de 9,00m à 19,00m; sablonite de 28,00 à 33,00m; gravette de 19,00 à 28,00m; sablonite de 17,00 à 19,00m; coulis de ciment de 9,00m à 17,00m et béton de 9,00m à 9,00m avec bouche à clef en tête. Le carottage a été réalisé au tricone φ.153mm de 9,00 à 31,50m.								

Niveau d'eau par Poste			Piézomètre provisoire <input type="checkbox"/>		caisses échantillons <input checked="" type="checkbox"/>			Essais d'eau Lugeon / Perméa.			Remarques :
Date	début	fin	Profondeur : .....	N°	de	à	N°	de	à		
22/07	Sec	Sec	crépine de : .....	10	18,70	20,65					Nom du Chef d'équipe : NICOD P.
23/07	20,20		à : .....	11	20,65	22,70					
24/07	20,60			12	22,70	25,10					
27/07	20,78			13	25,10	27,10					
				14	27,10	29,30					
				15	29,30	31,50					
				16	31,50	33,00					



# PÔLE SONDAGE

PS-E519

Version 0 - 18/03/11

## Fiche de suivi d'un carottage

Processus affaire

Chantier : *Lochwiller* Dossier : ..... Folio n° *1/2*

Date : *27-28/07/15* Atelier : *M.4/16 (Inova)* Sondage N° : *SC6*

Suivi des couronnes : types, n°, vitesse avancement, linéaire réalisé par couronne,...

Nbre caisses à carottes : *18*

Photos des caisses :  à faire  réalisées

Date	profondeur de Passe		Carottier			Fluide et Tubage		Description	
	de	à	Type	Diamètre (mm)	Nature couronne	Perte Retour	Diamètre Tubage	Longueur carotte	Nature du sol
27/07	0,00	1,40	Simple LS	114mm	à vagues			1,35	Argile bariolée brune et rouge brune
	1,40	2,80						1,40	
	2,80	4,20						1,60	
	4,20	5,70						1,50	
	5,70	7,00				galva 168mm		1,30	
28/07	7,00	8,40	PR	122mm	Max Pax			1,40	Alternance marne rouge brune et marne grise
	8,40	10,00						1,60	
	10,00	11,50						1,35	
	11,50	13,20						1,70	
	13,20	14,50						1,30	
	14,50	15,80						1,25	
29/07	15,80	17,30						1,50	marne à gypse
	17,30	18,80						1,50	
	18,80	20,30						1,45	

Niveau d'eau par Poste			Piézomètre provisoire <input type="checkbox"/>			Essais d'eau Lugeon / Perméa.			Remarques :	
Date	début	fin	Profondeur : .....	RE: caisses échantillons <input checked="" type="checkbox"/>			N°	de		à
29/07	7,80	—	crépine de : .....	N°	de	à	N°	de	à	Réalisation tarière 250mm de 0,00 à 7,00 avec cimentation extrados d'1 tube galva de 168mm
30/07	7,50	—	à : .....	①	0,00	2,00				
				②	2,00	4,00				
				③	4,00	6,00				
				④	6,00	8,00				
				⑤	8,00	10,00				
				⑥	10,00	12,15				
				⑦	12,15	14,15				
				⑧	14,15	16,30				
				⑨	16,30	18,30				
Remplir la fiche PS-E522										Nom du Chef d'équipe : <i>NLEP P.</i>
bouche à clef... <input type="checkbox"/>										
capot..... <input type="checkbox"/>										



Chantier : ..... Lochwiller ..... Dossier : ..... Folio n°  
 Date : 29.30.10.7.2015 Atelier : M.416.(Inava) Sondage N° : ..... SC.6 ..... 2/2

Suivi des couronnes : types, n°, vitesse avancement, linéaire réalisé par couronne, ... Nbre caisses à carottes : ..... 18 .....  
 Photos des caisses :  
 à faire  réalisées

Date	profondeur		Carottier			Fluide et Tubage		Description	
	de	à	Type	Diamètre (mm)	Nature couronne	Perte Retour	Diamètre Tubage	Longueur carotte	Nature du sol
29/07	20,30	21,90	PQ	122	Max Pax		gulva ø 168 à 7,00m	1,60	
	21,90	23,50						1,60	
	23,50	24,90						1,40	
	24,90	26,30						1,40	
	26,30	27,80						1,50	
	27,80	29,30						1,50	
	29,30	30,90						1,60	
	30,90	32,30						1,40	
	32,30	33,90						1,60	
	33,90	35,20						1,30	

Marnne  
à 9/10m

30/07 Rebouchage du carottage au coulis CEBTP injecté par le fond de 18,00 à 35,20m. Réal. sage au tricone ø 153mm de 7,00m à 18,00m. Pose d'1 tube piézométrique ø 41/75mm à 18,00m ; plein de 9,00 à 9,00m ; crépine de 9,00 à 15,00m et plein de 15,00m à 18,00m avec bouchon de fond. Subramite de 15,00m à 18,00m ; gravette de 18,00m à 15,00m ; subramite de 7,50 à 9,00m et bafon de 9,00 à 7,50m avec capot cadenas sé.

Niveau d'eau par Poste			Piézomètre provisoire <input type="checkbox"/>			Essais d'eau Lugeon / Perméa.			Remarques :	
Date	début	fin	Profondeur : .....	caisses P.E.H. échantillons <input checked="" type="checkbox"/>			N°	de		à
			crépine de : .....	(10)	18,30	20,40				
			à : .....	(11)	20,40	22,40				
				(12)	22,40	24,50				
				(13)	24,50	26,45				
				(14)	26,45	28,40				
				(15)	28,40	30,45				
				(16)	30,45	32,40				
				(17)	32,40	34,35				
				(18)	34,35	35,20				

Nom du Chef d'équipe : NICOD P,



# PÔLE SONDAGE

PS-E519

Version 0 - 18/03/11

## Fiche de suivi d'un carottage

Processus affaire

Chantier : ... L. Sch. W. Ller. ..... Dossier : ..... Folio n°Date : 31/07 ; 03.06/08/15 Atelier : M4A6... (Inova) Sondage N° : ... SC7 ..... 1/3 .....Suivi des couronnes : types, n°, vitesse avancement, linéaire réalisé par couronne, ... Nbre caisses à carottes : ... 24 ...  
Photos des caisses :  
 à faire  réalisées

Date	profondeur		Carottier			Fluide et Tubage		Description	
	de	à	Type	Diamètre (mm)	Nature couronne	Perte Retour	Diamètre Tubage	Longueur carotte	Nature du sol
31/07	0,00	1,30	Simple LS	114	à vagues			1,30	
"	1,30	2,60	"	"	"			1,30	
"	2,60	4,10	PQ	122	Max Pax			1,50	
03/08	4,10	5,40	"	"	"			1,20	Argile bariolée grise verte et rouge-brune
"	5,40	7,00	"	"	"			1,60	
04/08	7,00	8,40						1,05	Alternance Horns rouge-brun, grise verte et grise
	8,40	9,90						1,45	
	9,90	11,40						1,50	
	11,40	12,80						1,40	
	12,80	14,40						1,60	
	14,40	16,10						1,65	
	16,10	17,40						1,50	
	17,40	19,00						1,50	
	19,00	20,60						1,60	

Niveau d'eau par Poste			Piézomètre provisoire <input type="checkbox"/>			cassettes P.E.L. échantillons <input checked="" type="checkbox"/>			Essais d'eau Lugeon / Perméa.			Remarques :
Date	début	fin	Profondeur : .....	N°	de	à	N°	de	à			
			crépine de : .....	①	0,00	1,90					0,00/7,00 : réalisation à la tarière φ 254 mm pour cimentation ext. du d.t. tube galva à 7,00 m.	
			à : .....	②	1,90	3,90						
				③	3,90	6,00						
				④	6,00	8,00						
				⑤	8,00	10,25						
				⑥	10,25	12,15						
				⑦	12,15	14,10						
				⑧	14,10	16,05						
				⑨	16,05	18,00						
Remplir la fiche PS-E522											Nom du Chef d'équipe :	
bouche à clef... <input type="checkbox"/>											NICOD P.	
capot..... <input type="checkbox"/>												



# PÔLE SONDAGE

PS-E519

Version 0 - 18/03/11

## Fiche de suivi d'un carottage

Processus affaire

Chantier : *Lochwiller* ..... Dossier : ..... Folio n° .....  
 Date : *04-05/10/11* ..... Atelier : *M416 (Inova)* ..... Sondage N° : *SC7* ..... *213* .....

Suivi des couronnes : types, n°, vitesse avancement, linéaire réalisé par couronne, ...  
 Nbre caisses à carottes : ... *24* ...  
 Photos des caisses :  
 à faire       réalisées

Date	profondeur de Passe		Carottier			Fluide et Tubage		Description	
	de	à	Type	Diamètre (mm)	Nature couronne	Perte Retour	Diamètre Tubage	Longueur carotte	Nature du sol
<i>04/108</i>	<i>20,60</i>	<i>22,20</i>	<i>PQ</i>	<i>122</i>	<i>Max Pax</i>		<i>galva 168 7,00m</i>	<i>1,60</i>	<i>Alternance Marnes grise et marnes rouges</i>
	<i>22,20</i>	<i>23,60</i>						<i>1,40</i>	
	<i>23,60</i>	<i>25,00</i>						<i>1,40</i>	
	<i>25,00</i>	<i>26,60</i>						<i>1,60</i>	
	<i>26,60</i>	<i>28,20</i>						<i>1,60</i>	
	<i>28,20</i>	<i>29,70</i>						<i>1,50</i>	
<i>05/108</i>	<i>29,70</i>	<i>30,60</i>						<i>0,90</i>	
	<i>30,60</i>	<i>32,20</i>						<i>1,60</i>	
	<i>32,20</i>	<i>33,80</i>						<i>1,60</i>	
	<i>33,80</i>	<i>35,40</i>						<i>1,60</i>	
	<i>35,40</i>	<i>36,90</i>						<i>1,50</i>	
	<i>36,90</i>	<i>38,10</i>						<i>1,20</i>	
	<i>38,10</i>	<i>39,20</i>				<i>perte Franche à 39,10</i>		<i>0,95</i>	
	<i>39,20</i>	<i>40,75</i>						<i>1,55</i>	

Niveau d'eau par Poste			Piézomètre provisoire <input type="checkbox"/>			caisses <input type="checkbox"/> / échantillons <input checked="" type="checkbox"/>			Essais d'eau Lugeon / Perméa.			Remarques :
Date	début	fin	Profondeur : .....	N°	de	à	N°	de	à	<i>Perte totale Franche à 39,10m</i>  Nom du Chef d'équipe :		
			crépine de : .....	<i>(10)</i>	<i>18,00</i>	<i>20,00</i>						
			à : .....	<i>(11)</i>	<i>20,00</i>	<i>21,85</i>						
				<i>(12)</i>	<i>21,85</i>	<i>23,80</i>						
			Piézomètre définitif <input type="checkbox"/>	<i>(13)</i>	<i>23,80</i>	<i>25,70</i>						
				<i>(14)</i>	<i>25,70</i>	<i>27,60</i>						
			Remplir la fiche PS-E522	<i>(15)</i>	<i>27,60</i>	<i>29,70</i>						
				<i>(16)</i>	<i>29,70</i>	<i>31,50</i>						
			bouche à clef... <input type="checkbox"/>	<i>(17)</i>	<i>31,50</i>	<i>33,45</i>						
			capot..... <input type="checkbox"/>	<i>(18)</i>	<i>33,45</i>	<i>35,50</i>						



Chantier : Loch Miller Dossier : ..... Folio n° 3/2  
 Date : 05.06.07/08/15 Atelier : M.416 (Tnova) Sondage N° : SC7

Suivi des couronnes : types, n°, vitesse avancement, linéaire réalisé par couronne, ...  
 Nbre caisses à carottes : 24  
 Photos des caisses :  
 à faire  réalisées

Date	profondeur de Passe		Carottier			Fluide et Tubage		Description			
	de	à	Type	Diamètre (mm)	Nature couronne	Perte Retour	Diamètre Tubage	Longueur carotte	Nature du sol		
05/08	40,75	41,95	PQ	122	Max Pax			1,05			
"	41,95	43,55	"	"	"			1,60			
06/08	43,55	44,50	}	}	}			0,95	Marnes à g/p sec		
	44,50	46,00									1,50
	46,00	47,50									1,50
07/08			Fin de carottage.								
<p>Réalisation au tricone <math>\phi</math> 154 mm de 7,00 m à 47,50 m (2 fois)          Mise en place d'un tube prismatique <math>\phi</math> 64/75 mm avec bouchon de fond ; crépine de 31,00 à 46,00 m ; plein de 0,00 à 3,00 m ; gravillon de 33,00 à 46,00 m ; Sabraite de 31,00 à 33,00 m ; coulis de ciment de 9,00 m à 31,00 m ; Sabraite de 7,00 m à 9,00 ; béton de 0,00 à 7,00 m avec capot métallique en tête cadencée.</p>											

Niveau d'eau par Poste			Piézomètre provisoire <input type="checkbox"/>			Essais d'eau Lugeon / Perméa.			Remarques :	
Date	début	fin	Profondeur : .....	caisse s'échantillons <input checked="" type="checkbox"/>			N°	de		à
05/08	16,50	—	crépine de : .....	N°	de	à	N°	de	à	Après remontée du carottier, réalisation au tricone $\phi$ 154 mm jusqu'à 47,50 m
06/08	19,50	—	à : .....	(19)	35,50	37,65				
				(20)	37,65	39,65				
				(21)	39,65	41,60				
			Piézomètre définitif <input type="checkbox"/>	(22)	41,60	43,75				
			Remplir la fiche PS-E522	(23)	43,75	45,70				
			bouche à clef... <input type="checkbox"/>	(24)	45,70	47,50				
			capot..... <input type="checkbox"/>							Nom du Chef d'équipe :



## ***ANNEXE 5 – RAPPORT REALISE PAR LES SONDEURS DU SONDAGE DESTRUCTIF EQUIPE EN PIEZOMETRE***



# PÔLE SONDAGE

PS-E519

## Fiche de suivi d'un ~~carottage~~ destructif

Version 0 - 18/03/11

Processus affaire

Chantier : <u>Lochwiller</u>		Dossier : .....	Folio n°
Date : <u>10.11.12/0815</u>	Atelier : <u>M.616 (L. M. V. A.)</u>	Sondage N° : <u>S.D. 6.2</u>	<u>1/1</u>
Suivi des couronnes : types, n°, vitesse avancement, linéaire réalisé par couronne,...		Nbre caisses à carottes : .....	
		Photos des caisses : <input type="checkbox"/> à faire <input type="checkbox"/> réalisées	

Date	profondeur de Passe de à		Carottier			Fluide et Tubage		Description	
	Type	Diamètre (mm)	Nature couronne	Perte Retour	Diamètre Tubage	Longueur carotte	Nature du sol		
<u>11/08</u>	<u>0,00</u>	<u>22,00</u>	<u>Tricône</u>	<u>φ 154 mm</u>	<u>(enregistreur)</u>			<u>Alternance blanc brun rouge, vert et grise.</u>	
	<u>Mise en place d'un tube piézométrique φ 64/75 mm à 22,00 m avec bouchon de fond; crépine de 16,00 m à 22,00 m; gravillon de 15,50 m à 22,00; Sobranite de 13,00 m à 15,50; coulis de 0,00 à 13,00 m avec bouchon métallique en tête adhésive.</u>								
<u>12/08</u>	<u>Réplis de la machine; finition sur SC 7</u>								
	<u>Livraison des caisses à carottes à Metz (chez Terrafor)</u>								
	<u>Réplis du matériel de forage à Chartres pas camion grue venu de Chartres.</u>								

Niveau d'eau par Poste			Piézomètre provisoire <input type="checkbox"/>		P.E.I. <input type="checkbox"/>			Essais d'eau Lugeon / Perméa.			Remarques :
Date	début	fin	Profondeur : .....	N°	de	à	N°	de	à		
<u>12/08</u>	<u>15,50</u>		crépine de : .....								
			à : .....								
			<b>Piézomètre définitif <input type="checkbox"/></b>								
			Remplir la fiche PS-E522								Nom du Chef d'équipe : <u>Niwol P.</u>
			bouche à clef... <input type="checkbox"/>								
			capot..... <input type="checkbox"/>								





## ***ANNEXE 6 – FICHE TECHNIQUE DE LA MACHINE INNOVA UTILISEE***

**TYPE D'ATELIER : SONDEUSE GEOTECHNIQUE**

**MARQUE : EMCI**

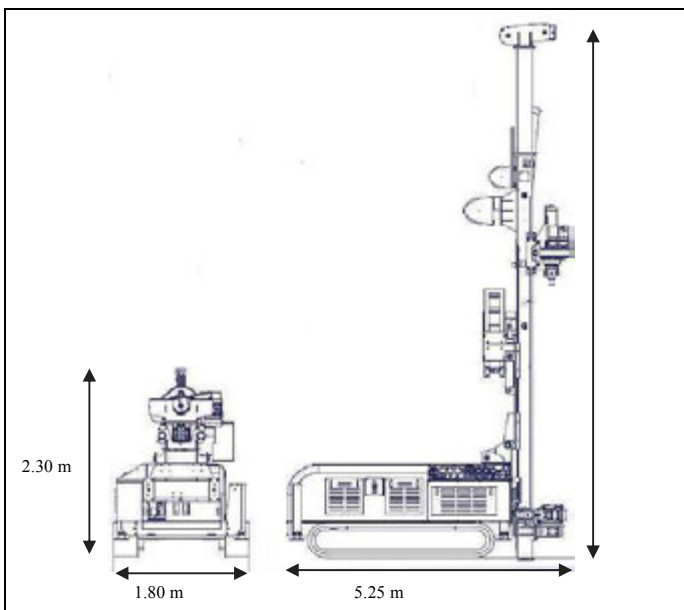
**MODELE : INOVA**

**M 410** : n° de série 06-274, mise en service Août 2007

**M 416** : n° de série xxxx, mise en service xxxx

Utilisations :

- Forage à la tarière hélicoïdale
- Forage en roto-percussion
- Carottage en vibro-percussion et en rotation
- Destructif en rotation ou au marteau fond de trou



Caractéristiques Principales :

**Moteur** : 100 ch Deutz diesel insonorisé  
**Capacité d'enfoncement** : 3000 kg **et de traction** : 7000 kg  
**Treuil manœuvre** : 2000 kg - 50 m/mn  
**Mât** : 5,25 m  
**Pompe** : ORION double 120 l/mn à 40 bars  
**Accessoires** : frein de tiges double, capacité 200 mm  
 extracteur hydraulique

**Tête de rotation** : 400 daN.m - 370 tr/mn  
**Rotopercussion** : 1200 cps/min, 240 joules  
**Course** : 3,40 m

Dimensions :

**Poids** : 6200 kg  
**Longueur transport** : 5,25 m **Longueur travail** : 5,25 m

**Largeur** : 1,80 m  
**Hauteur transport** : 2,30 m **Hauteur travail** : 5,60 m

Performances indicatives :

Sondeuse de grande capacité, montée sur chenillard METALLIQUE vitesse de déplacement 3,5 km/h.

- 40 m en tarière 114 mm
- 100 m au mft 90 mm

- 80 m en destructif 100 mm
- 80 m au carottier à câble type HQ



## ***ANNEXE 7 – LITHOLOGIES DETAILLEES DES SONDAGES CAROTTES REALISEES PAR GEODERIS***

GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

0,00m	Remblai : argile / grès rose/ sable / verre ....		
0,20m	Terrain remanié : Argile marron gris, légèrement sableuse. Quelques graviers de quartz. Présence de bois (racines ?).	Passé 1 : Carrotier battu (100/114mm) Longueur 1,45m Récup 1,20m (86 %)	
0,80m	Argile silteuse bariolée vert et marron. Présence de petits nodules blancs (jusqu'à 2cm). A partir de 1,3m minéral blanc poudreux et friable (cristaux jusqu'à 3cm).		
1,00m	Je pense qu'il s'agit de calcite et non pas de gypse (ou anhydrite) car il n'y a pas de réaction à la flamme.		Entre 0 et 0,80m les terrains sont secs
1,45m	Prélèvement d'un échantillon entre 1,25 et 1,45m.		
1,95m	Argile silteuse bariolée gris-vert et localement rose. Présence de quelques traces poudreuses rose clair et de petits nodules (quelques millimètres) dispersés dans la matrice. Je pense qu'il s'agit de calcite et non pas de gypse (ou anhydrite)	Passé 2 : Carrotier battu (100/114mm) Longueur 1,45m Récup 1,35m (93 %)	Entre 0,80m et 5,10m les terrains sont relativement secs.
2,50m	Argile gris-vert légèrement silteuse, localement rose. Quelques passées marnieuses, présence d'un litage. Présence de quelques nodules calcaires gris foncé et de petits lits de quartz.		
2,90m			
3,00m			

GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

3,00m			Passé 3 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longueur 0,60m Récup 0,60m (100 %)	
3,60m		Argile mameuse gris-vert. Traces jaune-orangé (oxydation). Nodules de Quartz et rares traces poudreuses blanche (anhydrite/gypse) en particulier entre 3,6 et 3,8m.	Passé 4 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longueur 1,20m Récup 1,20m (100 %)	Entre 0,80m et 5,10m les terrains sont relativement secs.
4,00m				
4,20m				
4,40m				
5,00m		Argile plastique, légèrement silteuse, vert kaki. Présence de lits de sable fin et de quelques grains de quartz.	Passé 5 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longueur 1,20m Récup 1,20m (100 %)	Entre 5,10m et 9,00m, les terrains sont humides,
5,10m				
5,50m		Argile mameuse gris-vert. Traces jaune orangé (oxydation). Présence de lits durs (Quartz). Nodules poudreux ou granuleux roses pale entre 5,2 et 5,4m (anhydrite/gypse).	Passé 6 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longueur 1,40m Récup 1,40m (100 %)	
6,00m				

GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

6,00m			
6,80m	A 6,3m, lit d'anhydrite/gypse rose (2 à 3 cm d'épaisseur) de forme granuleuse (quelques mm de diamètre).		
7,00m	A 7,3m, lit d'anhydrite/gypse rose (quelques mm d'épaisseur) de forme granuleuse (quelques mm de diamètre).	<p>Passes 7 :</p> <p>Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,20m Récup 0,90m (75 %)</p>	Entre 5,10m et 9,00m, les terrains sont humides.
8,00m	Entre 7,95 et 8m, lit d'anhydrite/gypse rose (forme granuleuse avec en plus quelques nodules jusqu'à 2cm).		
8,50m	Je pense qu'il s'agit plutôt de gypse car il y a une réaction positive à la flamme.	<p>Passes 8 :</p> <p>Carrotier battu (100/114mm) Longeur 1,00m Récup 0,90m (90 %)</p>	
9,00m	Alternance d'argile marneuse gris-vert et de bancs d'anhydrite/gypse (de quelques mm à 2 à 3 cm d'épaisseur).		
	L'anhydrite/gypse est granulaire et parfois fibreuse. Je pense qu'il s'agit plutôt d'anhydrite (et pas de gypse) car il n'y a pas de réaction à la flamme. La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 30%.		

GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

9,00m			
9,20m	Marne calcaire grise contenant des lits millimétriques et des mouchetures d'anhydrite/gypse. Présence de micro-fissures rectifiées par de l'anhydrite/gypse. La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 10%.		
9,40m	Argile molle beige clair, avec quelques lits millimétriques et traces blanchâtres. La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 5%.		
9,60m			
10,00m	Alternance d'anhydrite/gypse et d'argile gris-vert (quelques mm à 10cm). L'anhydrite/gypse est blanche, localement rose, avec des passages translucides ou fibreux. La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 50%.	<p>Passes 10 :</p> <p>Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,70m Récup 1,50m (88 %)</p>	A partir de 9m, perte totale de l'eau injectée
10,80m			
11,00m	Marne ou argile gris-vert, localement rouge avec des lits blancs d'anhydrite/gypse. La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 20%.		
11,70m			
12,00m			

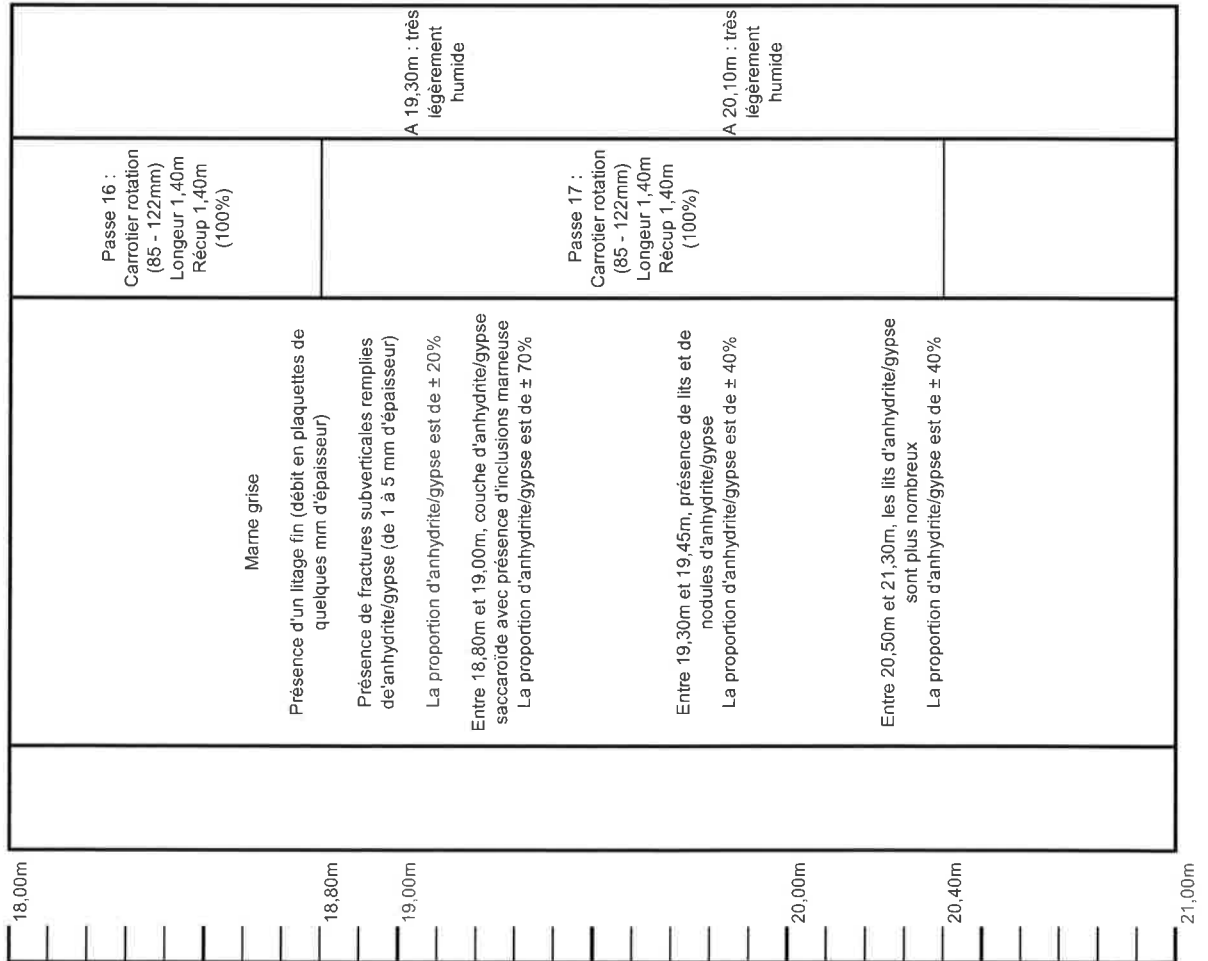
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
Niv. pz.			

12,00m			
12,45m			
12,80m	Marne bariolée gris-vert, localement rougeatre (et en particulier entre 11,7 et 12,35).	Passé 12 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 0,35m Récup 0,30m (86%)	A partir de 9m, perte totale de l'eau injectée
13,00m	Présence d'un litage fin (débit en plaquettes de quelques mm d'épaisseur).		
	Nombreuses intercalation d'anhydrite/gypse blanche, sous forme de lits de quelques mm à 2cm d'épaisseur.		
	La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 10%.	Passé 13 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,60m Récup 1,50m (94%)	
14,00m			
14,20m	Marne bariolée gris-vert, localement rougeatre		
14,40m	Présence d'un litage fin (débit en plaquettes de quelques mm d'épaisseur).		
	Nombreuses intercalation d'anhydrite/gypse blanche, sous forme de lits de quelques mm à 2cm d'épaisseur.		
	Entre 14,20 et 14,40m, présence d'anhydrite/gypse blanc-rose sous forme de nodules pouvant aller jusqu'à 3cm.		
15,00m	La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 30%.		

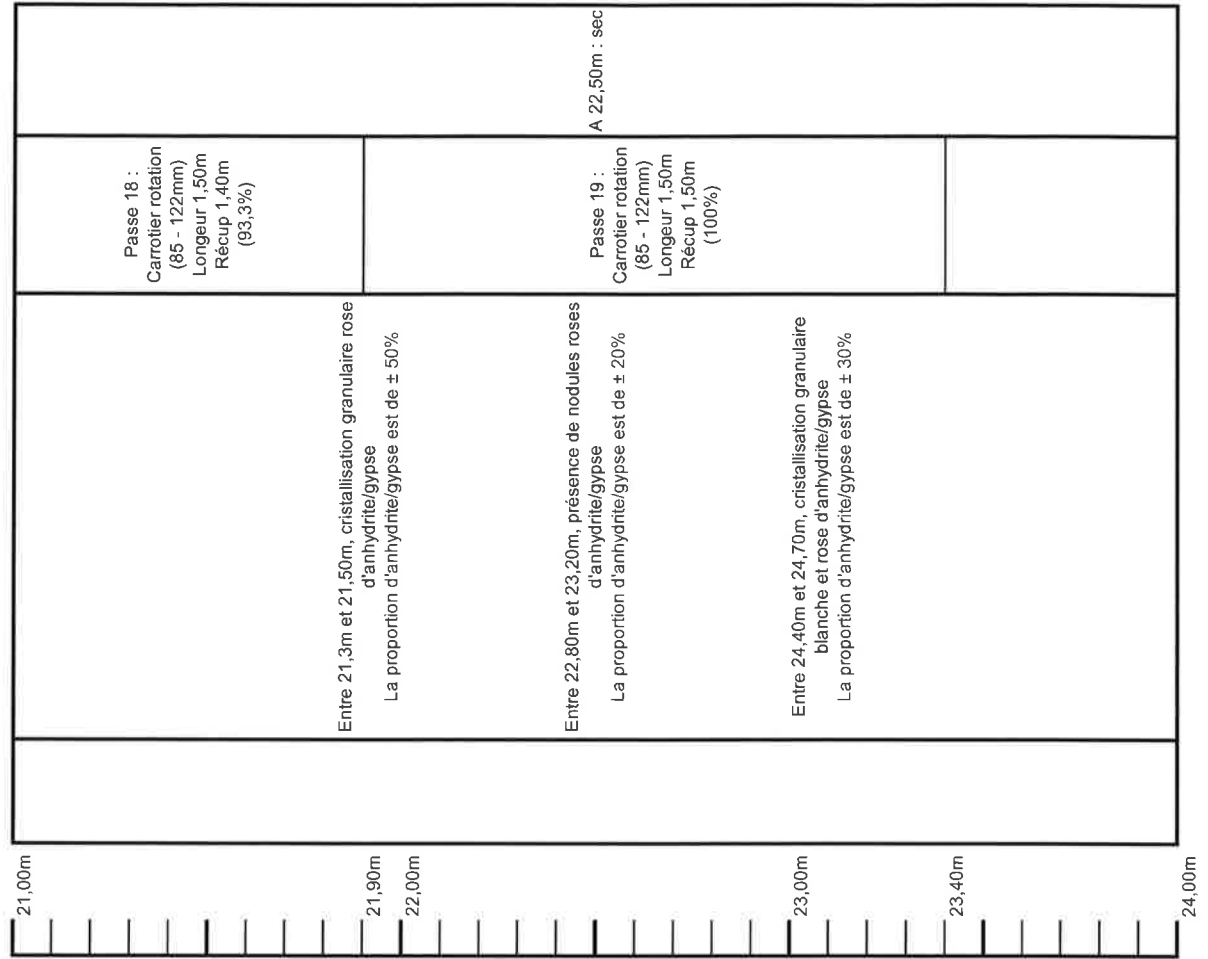
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
Niv. pz.			

15,00m			
15,90m			
16,00m			
		Passé 14 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,50m Récup 1,50m (100%)	A partir de 9m, perte totale de l'eau injectée
		Marne grise	
		Présence d'un litage fin (débit en plaquettes de quelques mm d'épaisseur)	
		Présence de fractures subverticales remplies de/anhydrite/gypse (de 1 à 5 mm d'épaisseur)	
		La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 10%	
17,00m			A 16m : très légèrement humide
17,40m			
17,50m			
18,00m			

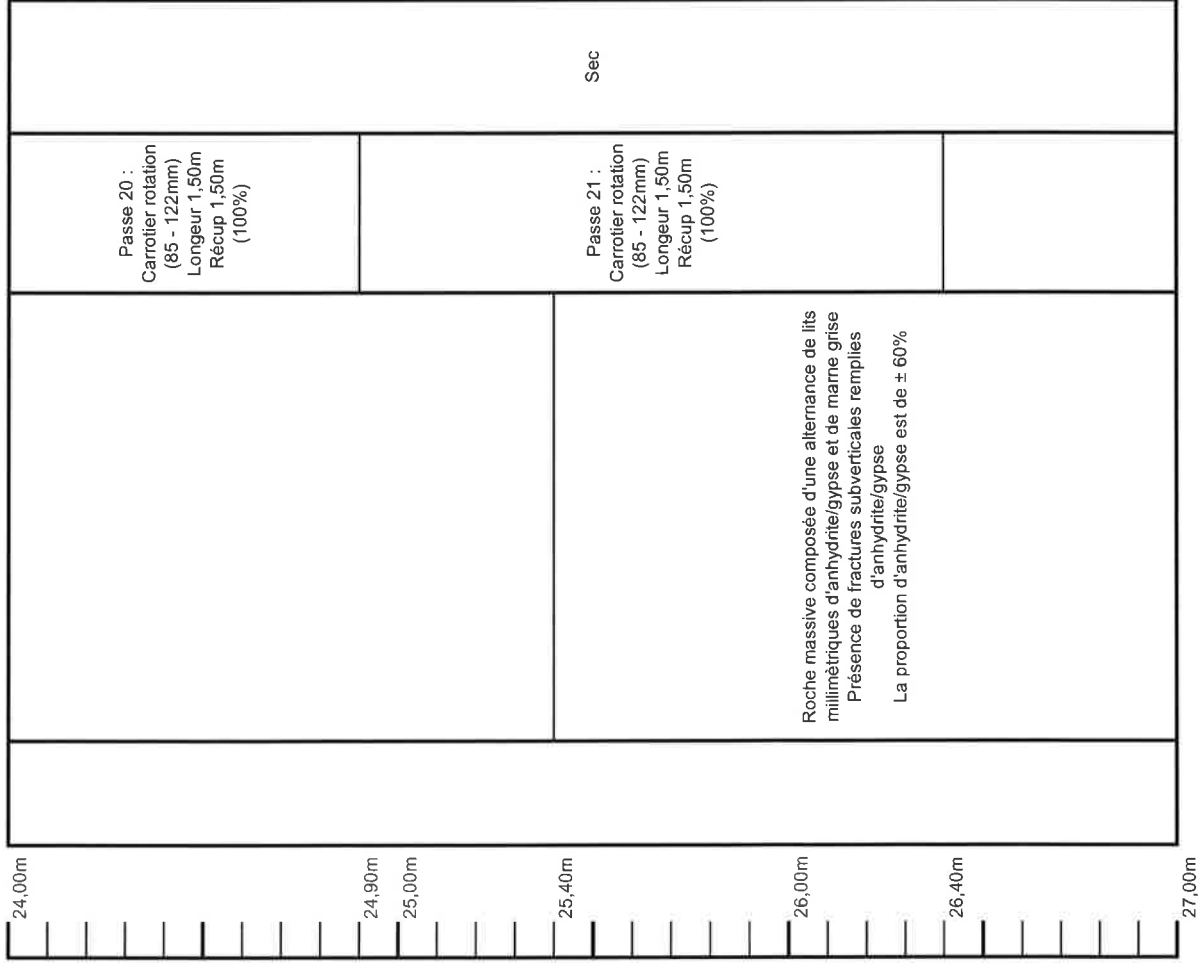
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



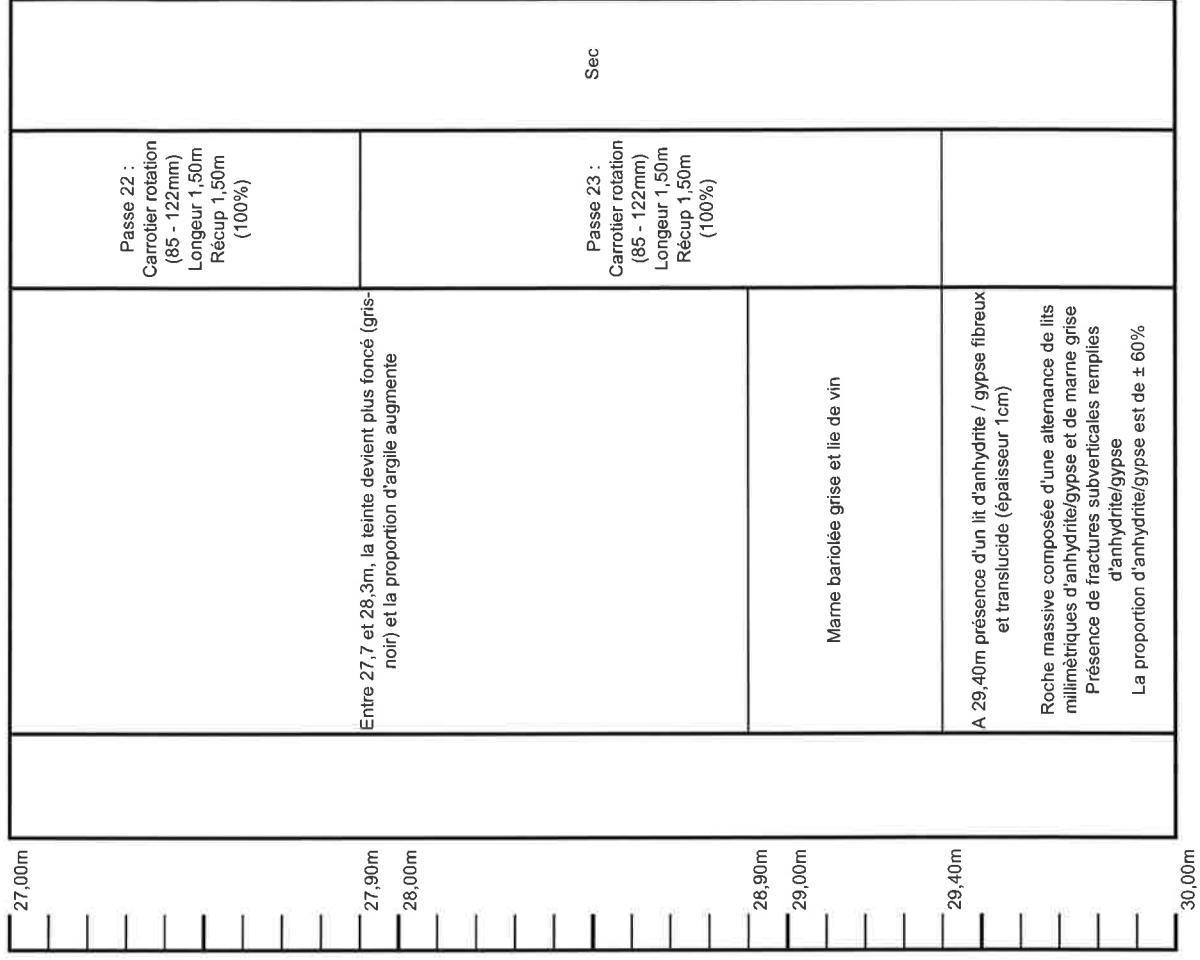
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



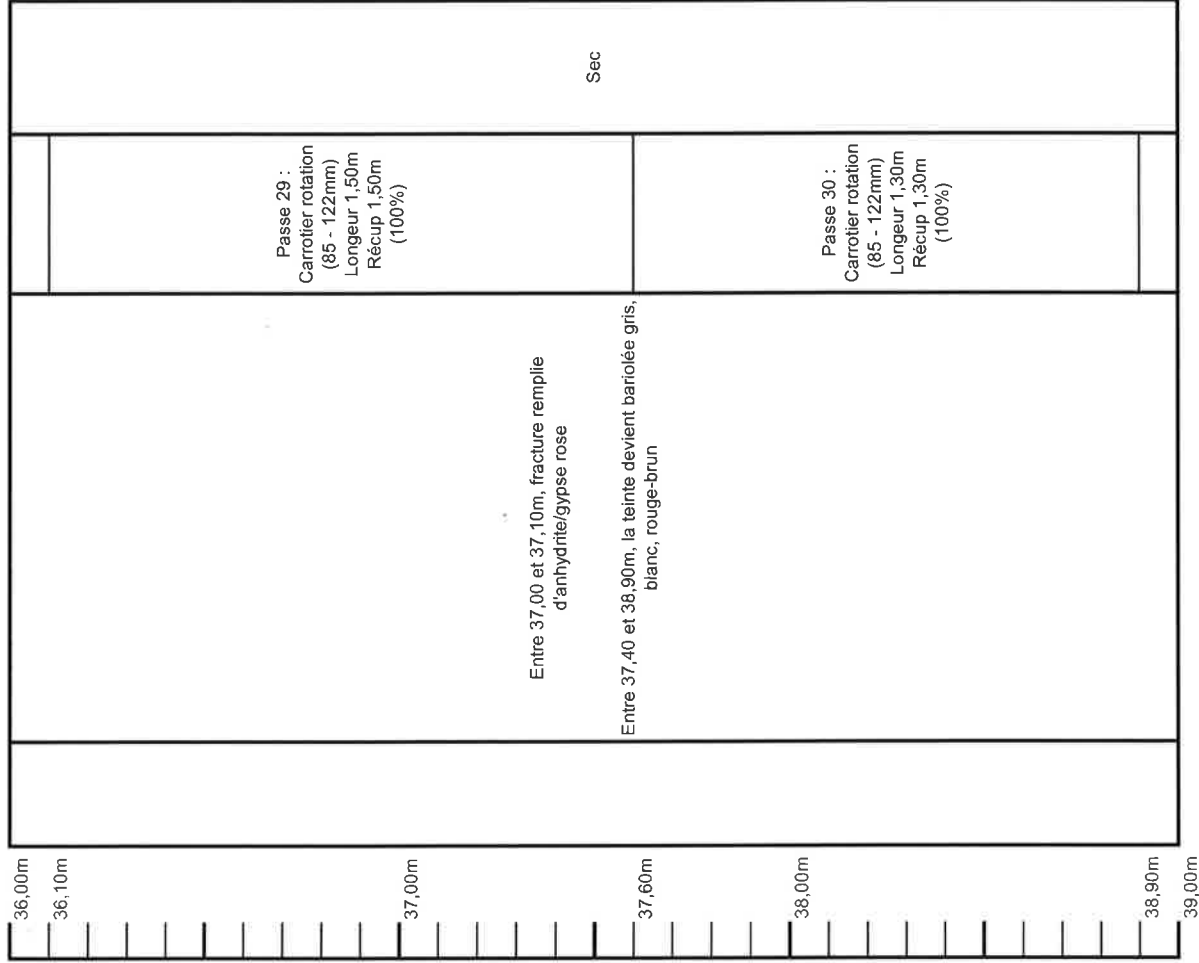
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



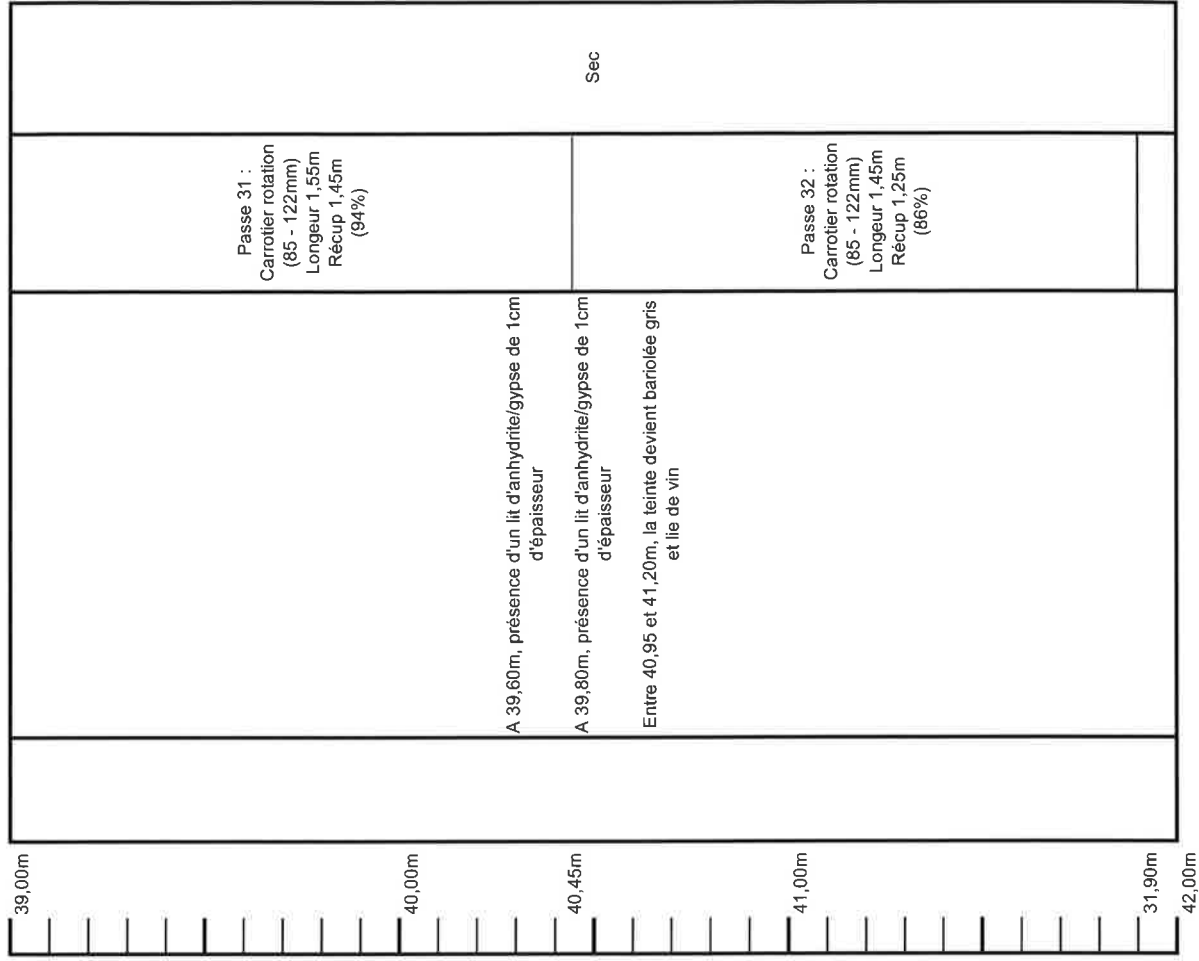




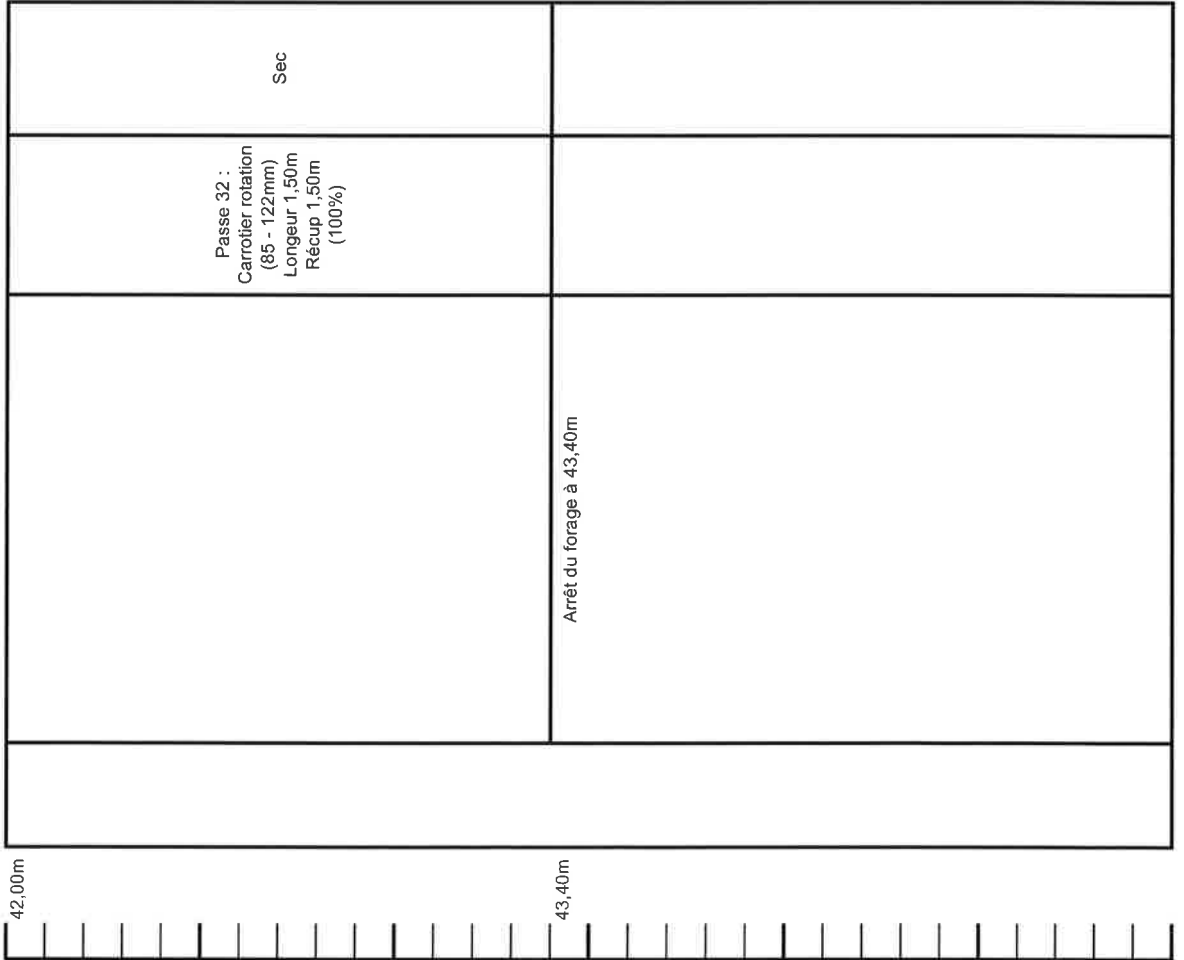
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



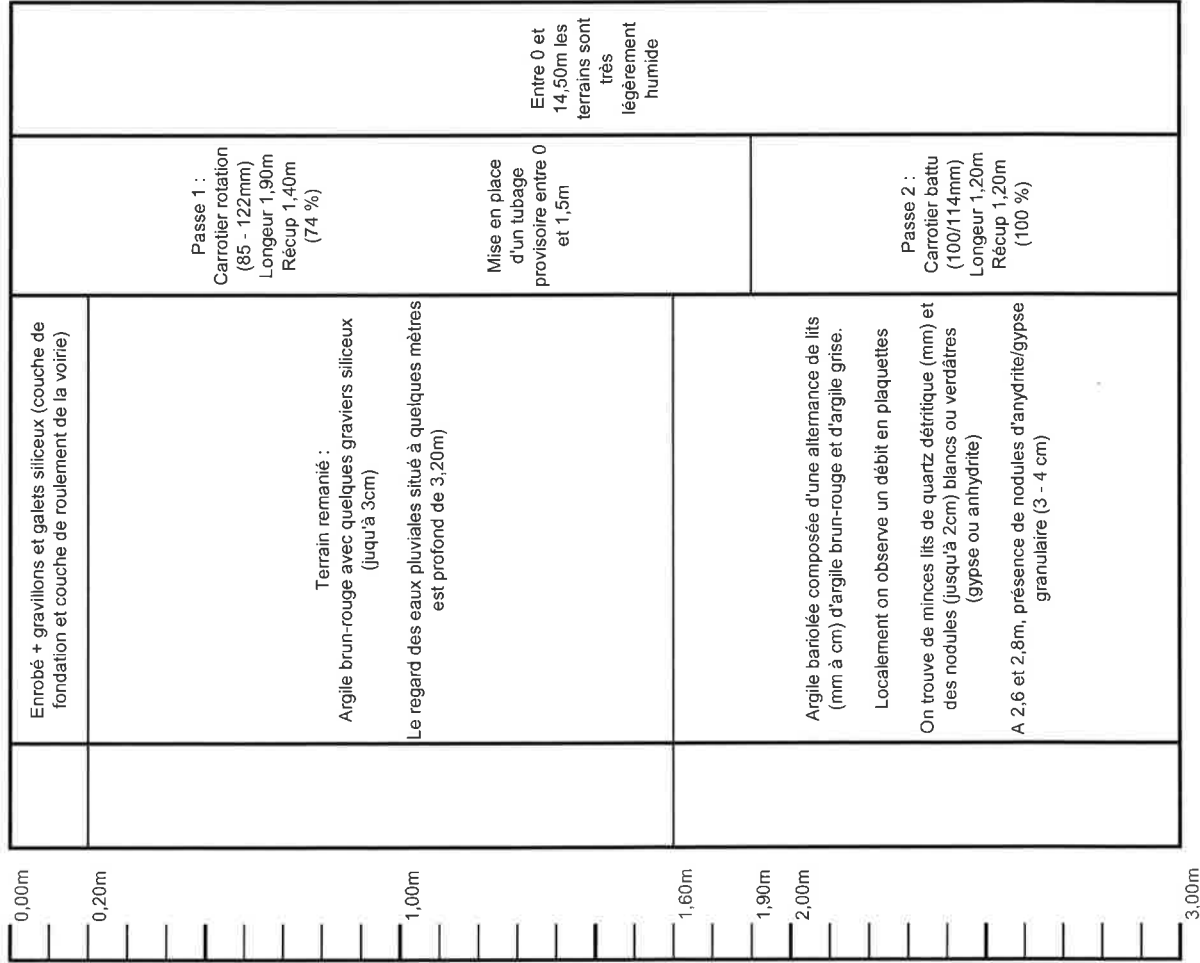
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



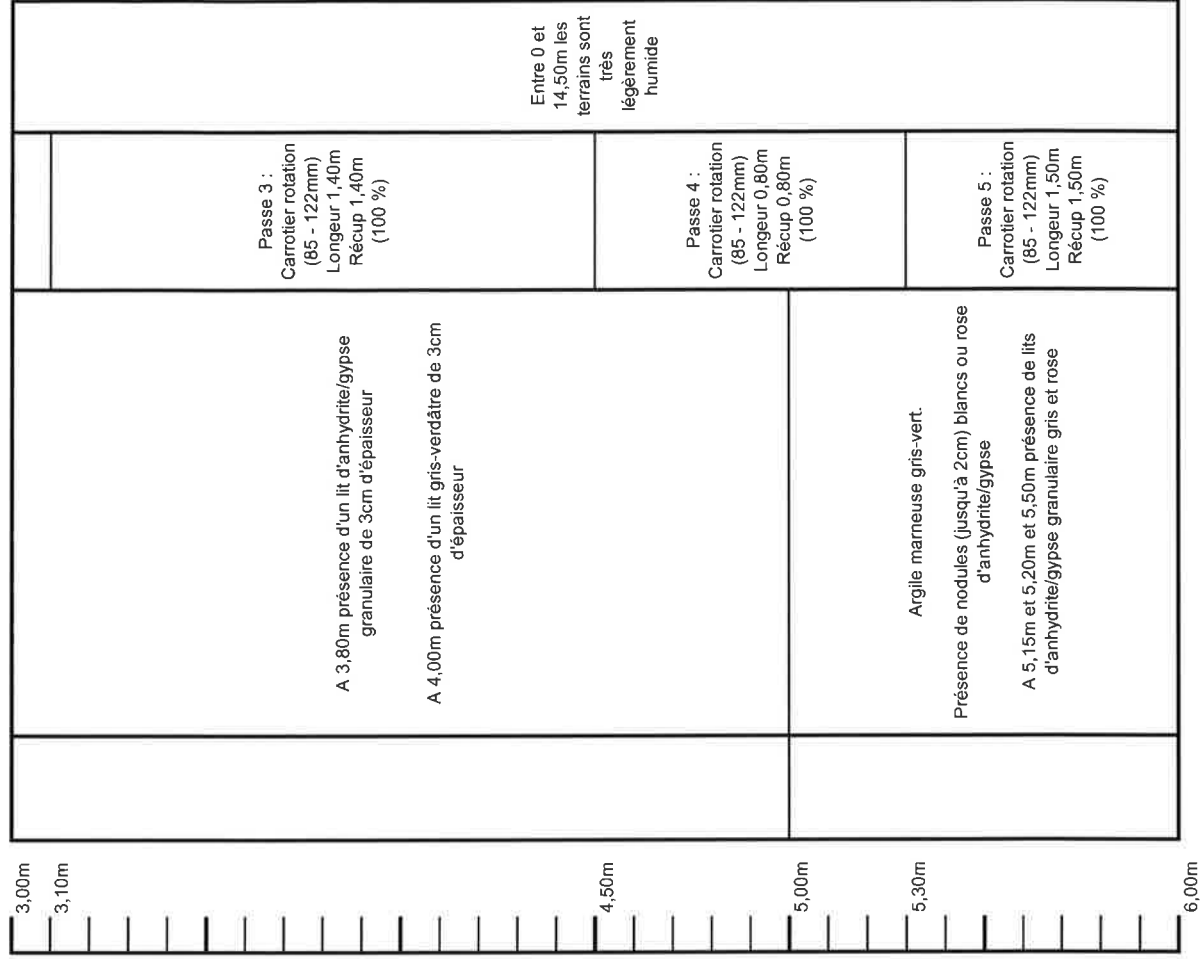
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC4		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



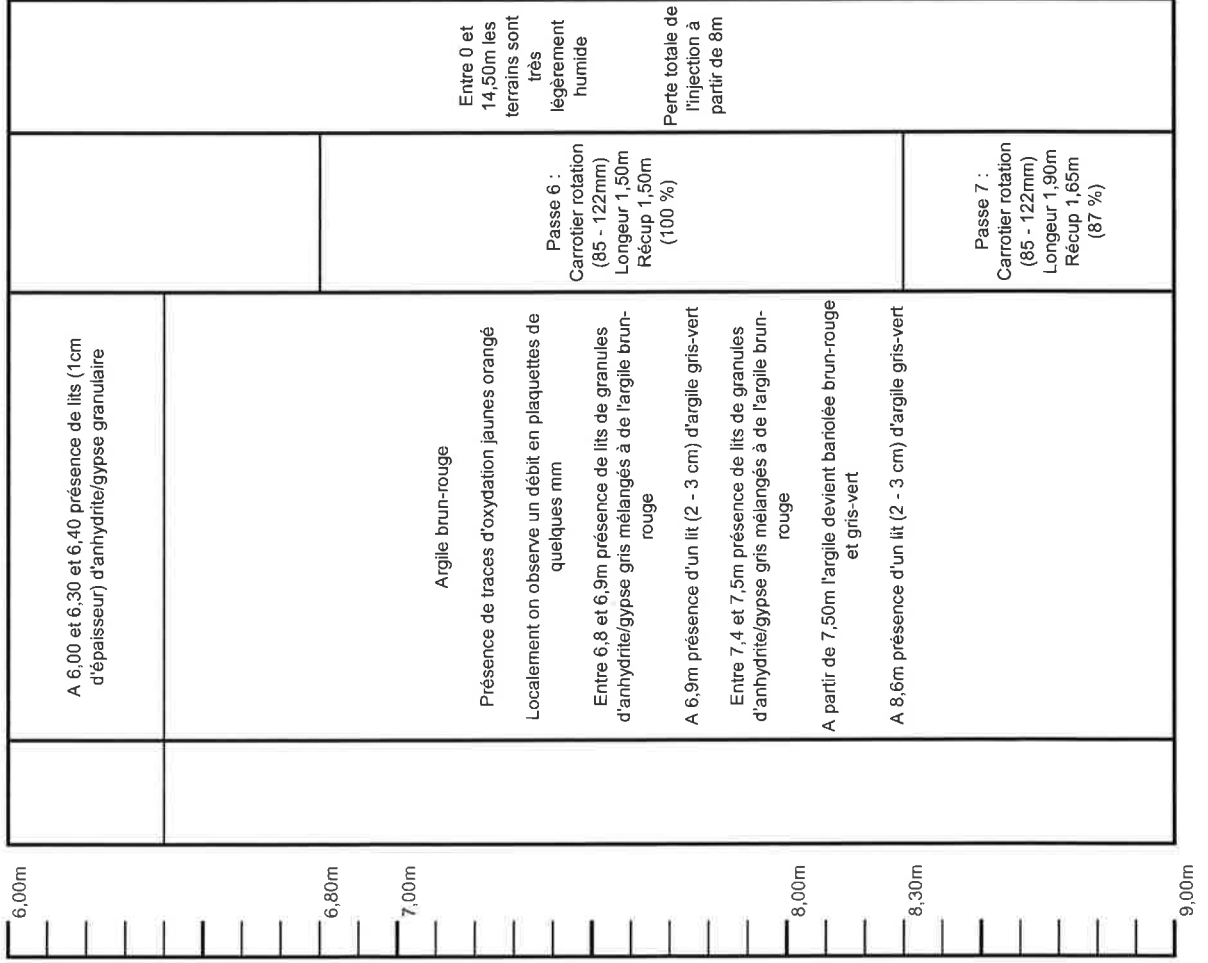
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC5		Date forage : Du 21 au 28/07/15	Cote sol : ± 230m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



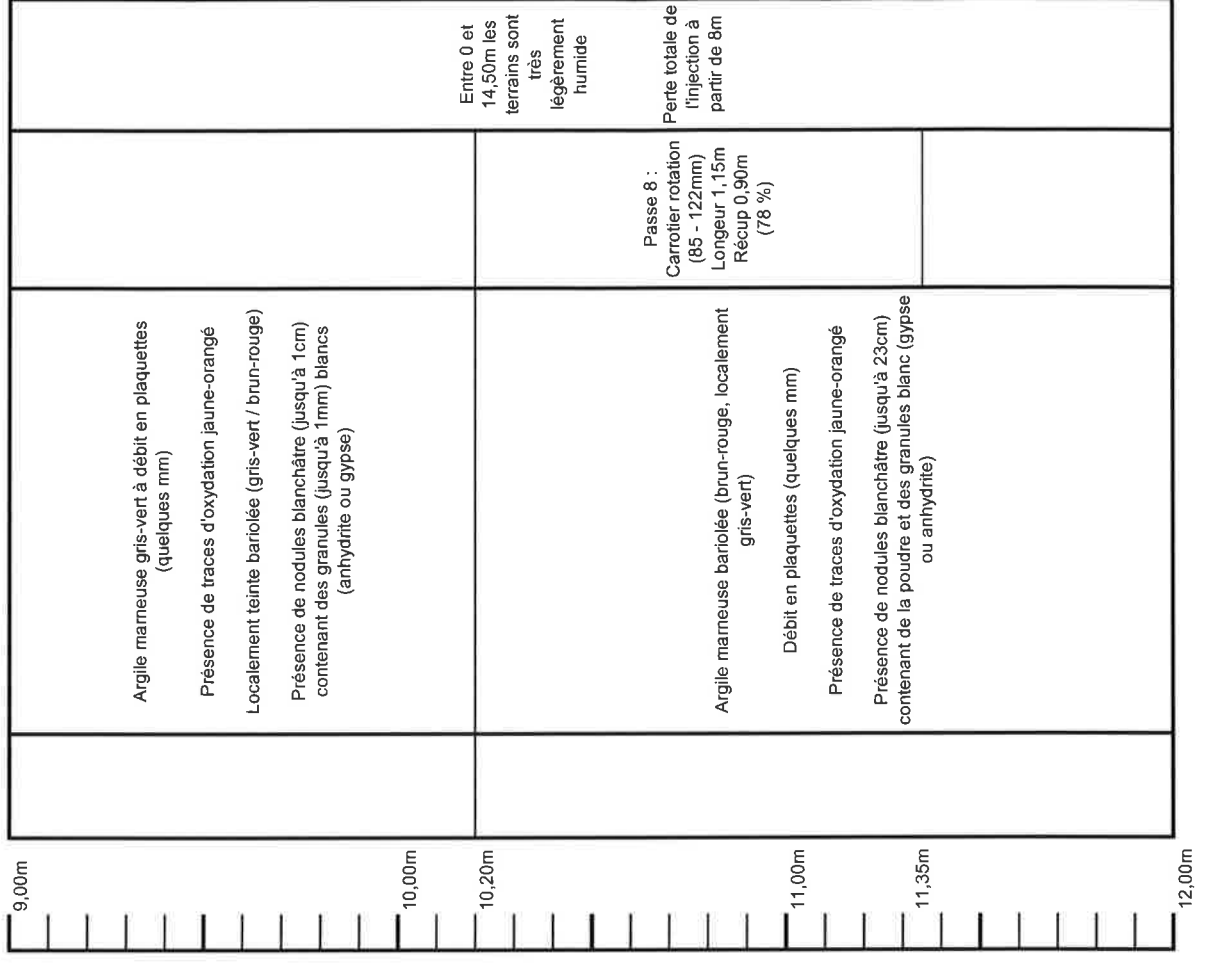
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC5		Date forage : Du 21 au 28/07/15	Cote sol : ± 230m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



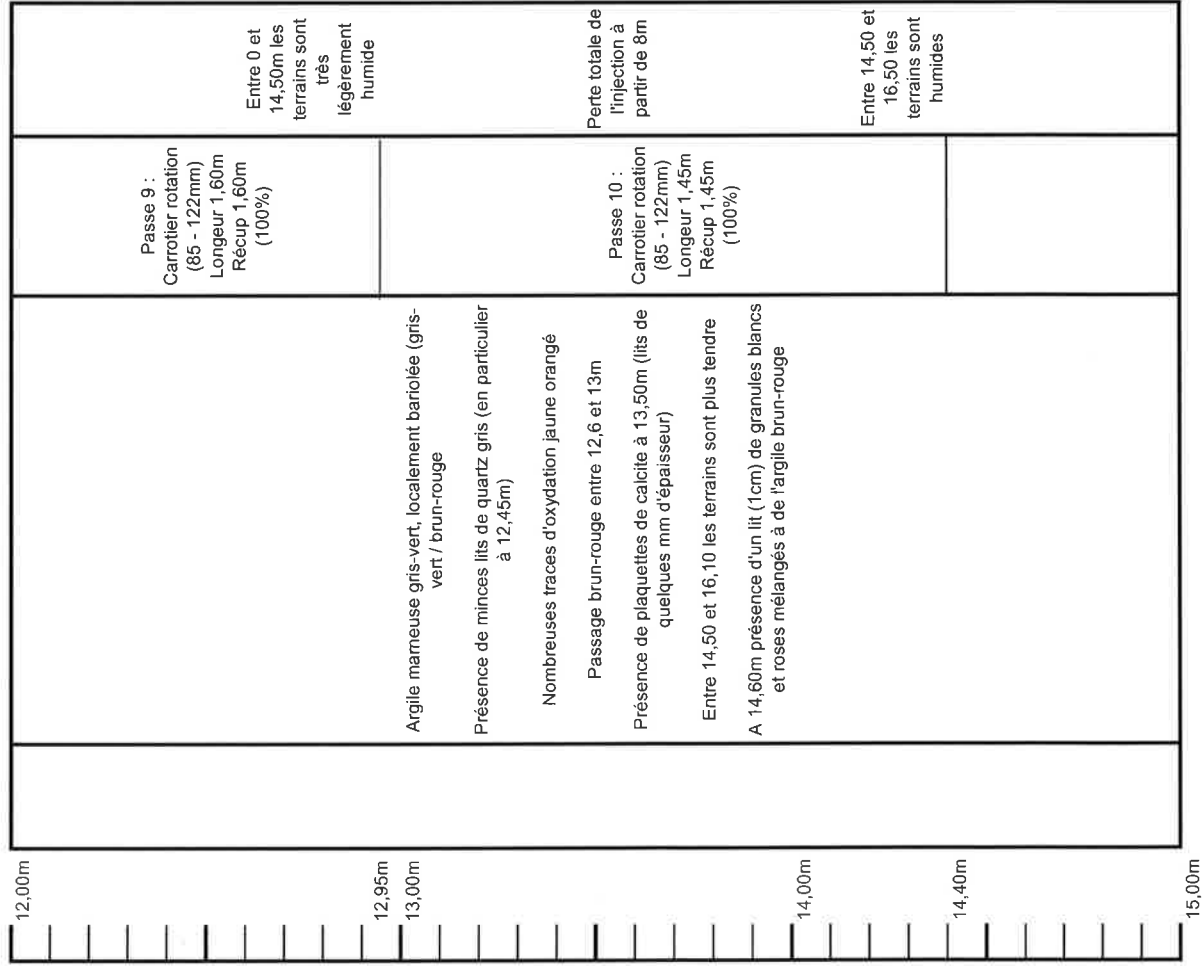
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC5		Date forage : Du 21 au 28/07/15	Cote sol : ± 230m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



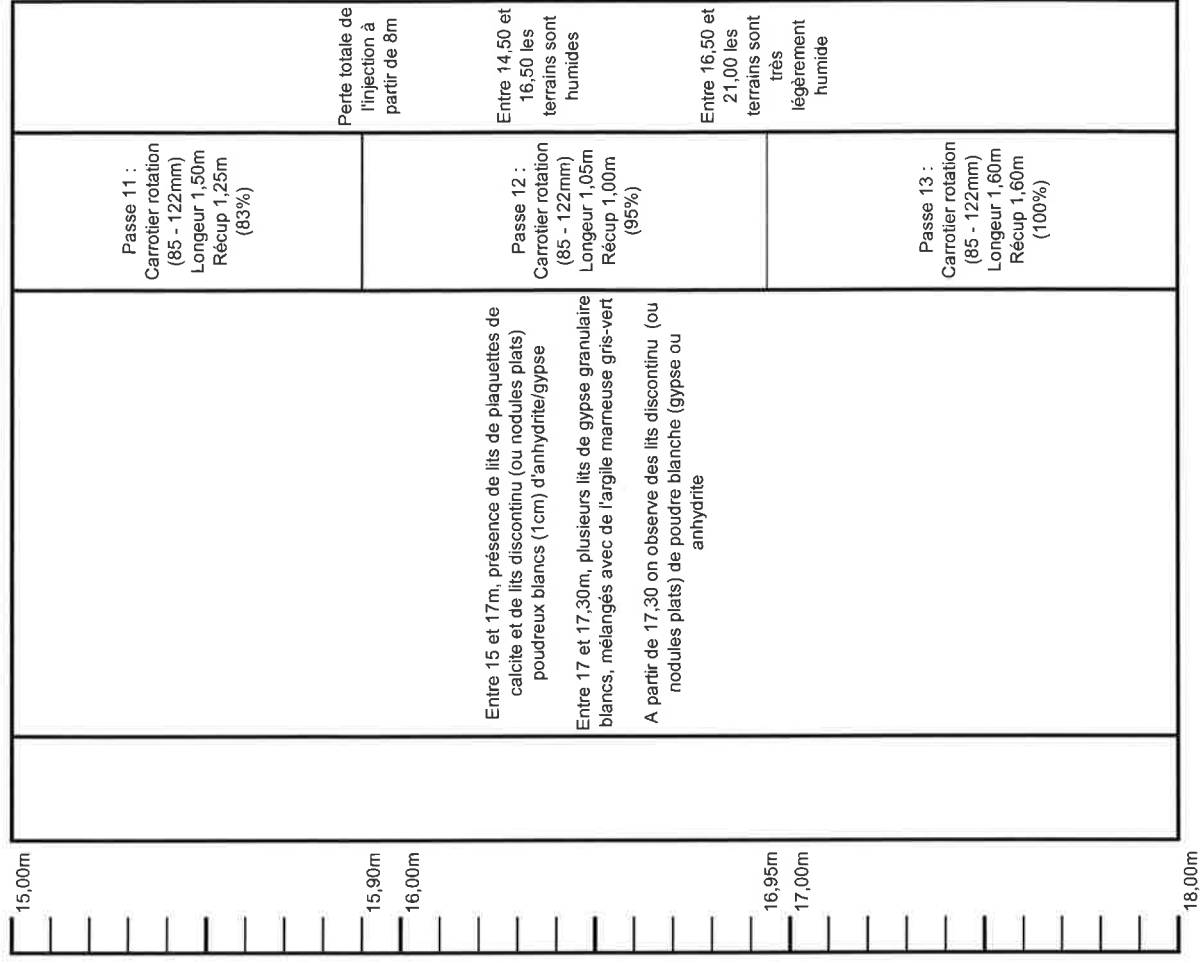
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC5		Date forage : Du 21 au 28/07/15	Cote sol : ± 230m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC5		Date forage : Du 21 au 28/07/15	Cote sol : ± 230m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC5		Date forage : Du 21 au 28/07/15	Cote sol : ± 230m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
Sondage : Lochwiller SC5		Date forage : Du 21 au 28/07/15	Cote sol : ± 230m NGF
Niv. pz.			

18,00m		A partir de 18,1m présence de lits de sit (surtout entre 18,1 et 18,4m)		Perte totale de l'injection à partir de 8m
18,55m		A partir de 18,3m présence de figures de dissolution (sans que l'on puisse parler de pseudomorphoses de sel)		
18,60m				Perte totale de l'injection à partir de 8m
18,80m		Roche massive composée d'une alternance de lits (quelques mm) de marme gris-vert et de gypse blanc à translucide		
19,00m		Présence de lits de calcite se débitant en plaquettes		Perte totale de l'injection à partir de 8m
19,40m		La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 30%		
20,00m		Marme gris-vert, présence de lits (jusqu'à 2cm) d'anhydrite/gypse blanc ou rose		Entre 16,50 et 21,00 les terrains sont très légèrement humide
		Entre 20,8 et 21m, présence d'une fracture (ouverture 2 à 3cm) remplie d'anhydrite/gypse saccharoïde blanc-rose		
		La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 20%		
21,00m				

GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
Sondage : Lochwiller SC5		Date forage : Du 21 au 28/07/15	Cote sol : ± 230m NGF
Niv. pz.			

21,00m		Roche massive, composée de marme bariolée (gris-vert / brun-rouge / blancs-rose)		Perte totale de l'injection à partir de 8m
21,65m		Les lits blancs rose sont essentiellement composés d'anhydrite/gypse		
22,00m		Présence de fractures verticales (mm) remplis d'anhydrite/gypse blanc		Entre 21,0m et 22,3 les terrains sont secs
		La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 10%		
22,60				Entre 21,0m et 22,3 les terrains sont secs
23,00m		Anhydrite/gypse blancs et rose sous forme saccharoïde, mélangé à des nodules de marme grise		Entre 22,3 et 25,3 les terrains sont humides
23,20m		La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 80%		
23,50				
24,00m				

GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC5		Date forage : Du 21 au 28/07/15	Cote sol : ± 230m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

24,00m				
24,70m		Alternance de marne grise et de lits d'anhydrite/gypse gris-blanc		
25,00m		La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 30%		Perte totale de l'injection à partir de 8m
25,30m				Entre 22,3 et 25,3 les terrains sont humides
26,00m		Marne bariolée gris-vert, localement rougeâtre (jusqu'à 27m)		A partir de 25,3, les terrains sont très légèrement humide
26,35m		Présence d'un litage fin (débit en plaquettes de quelques mm d'épaisseur)		
		Nombreuses intercalations d'anhydrite/gypse blanc sous forme de lits de quelques mm d'épaisseur		
		La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 10%		
27,00m				

GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC5		Date forage : Du 21 au 28/07/15	Cote sol : ± 230m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

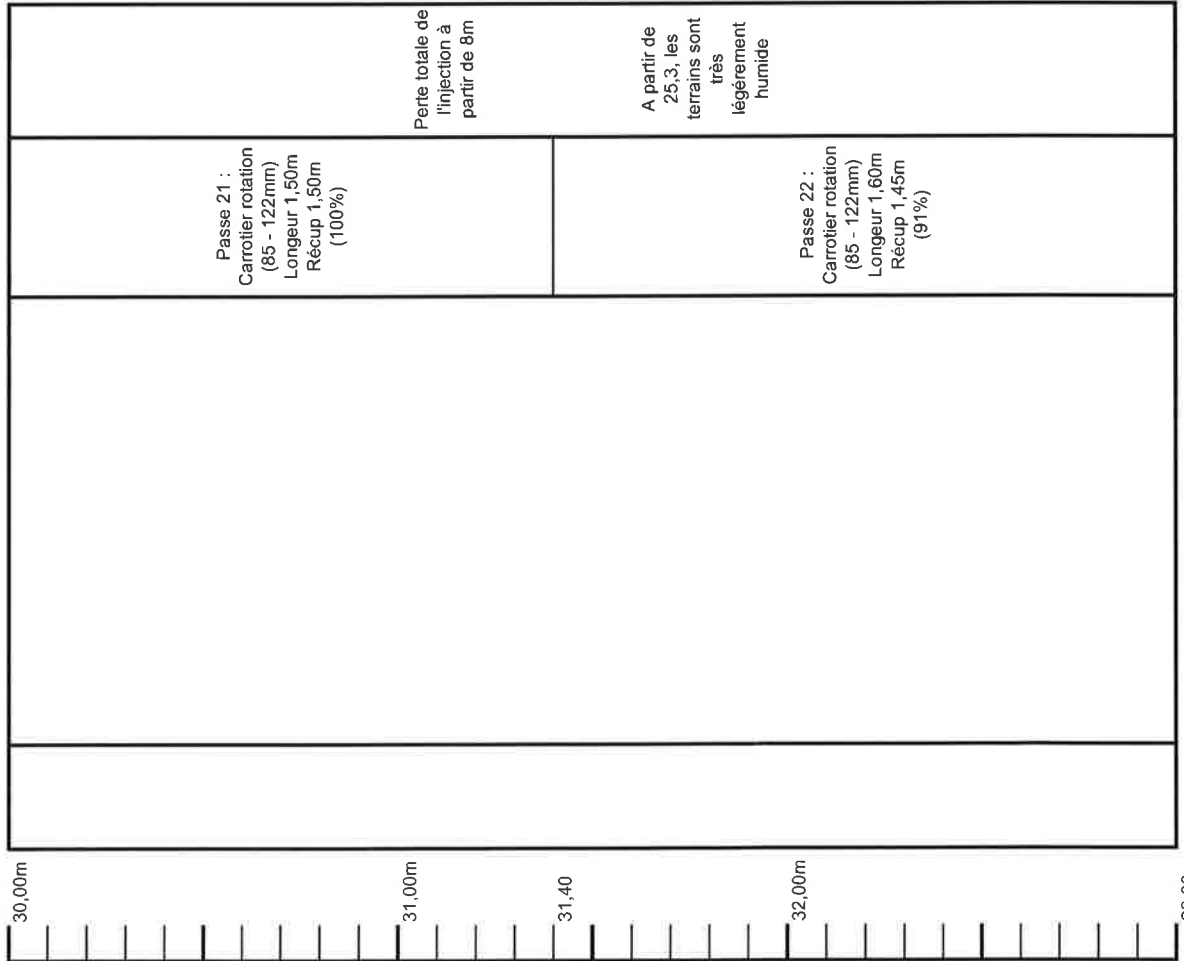
27,00m				
27,75m				
27,90m				
28,00m		Marne gris-vert		
		Présence d'un litage (débit en plaquettes de quelques mm à 1cm d'épaisseur)		
		Intercalations de lits gris-blanc (jusqu'à 1cm d'épaisseur) d'anhydrite/gypse		
		La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 30%		
29,00m				
		Marne grise avec un litage (débit en plaquettes de qqes mm)		
		Intercalation de lits blancs-gris, jusqu'à 1cm d'épaisseur		
		Présence de nodules gris et rose (jusqu'à 4cm)		
		Remplissage d'anhydrite/gypse dans des micro-fractures (jusqu'à 1mm)		
		A 29,7m présence d'un lit de 1mm d'anhydrite/gypse translucide		
		La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 30%		
30,00m				



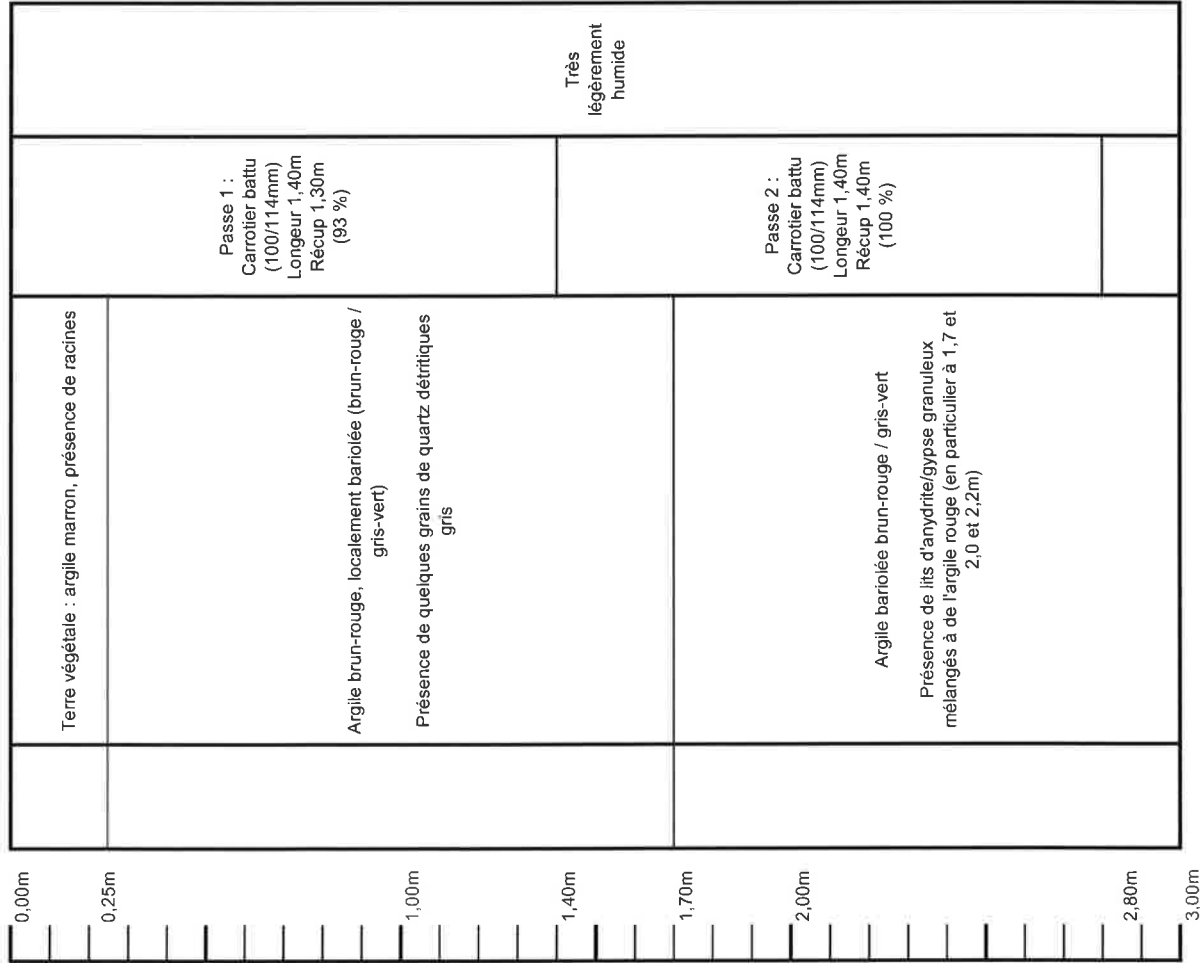
# GEODERIS

# FICHE DE SONDAGE

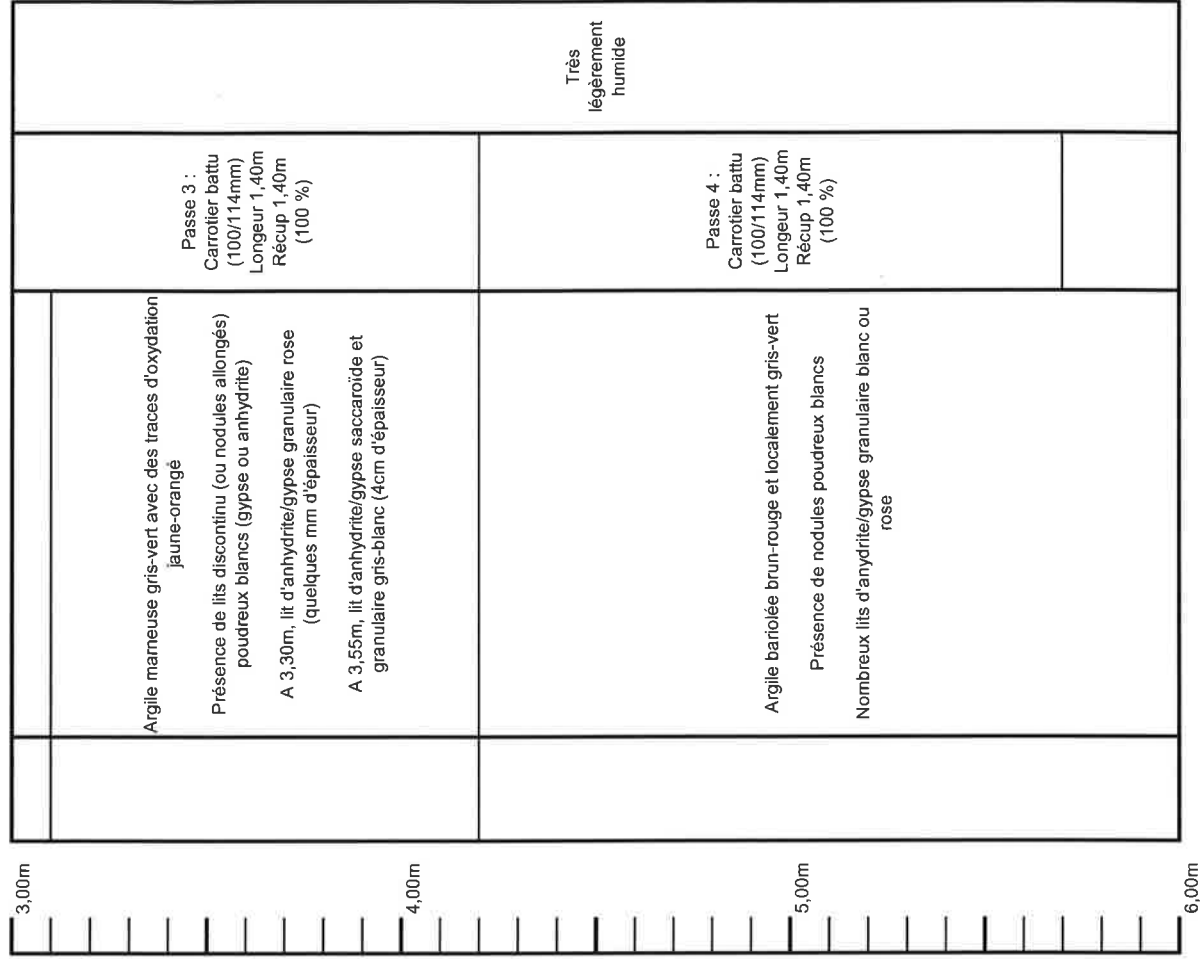
Sondage : Lochwiller SC5		Date forage : Du 21 au 28/07/15		Cote sol : ± 230m NGF	
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils	Niv. pz.	



GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC6		Date forage : Du 27 au 31/07/15	Cote sol : ± 226m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC6		Date forage : Du 27 au 31/07/15	Cote sol : ± 226m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



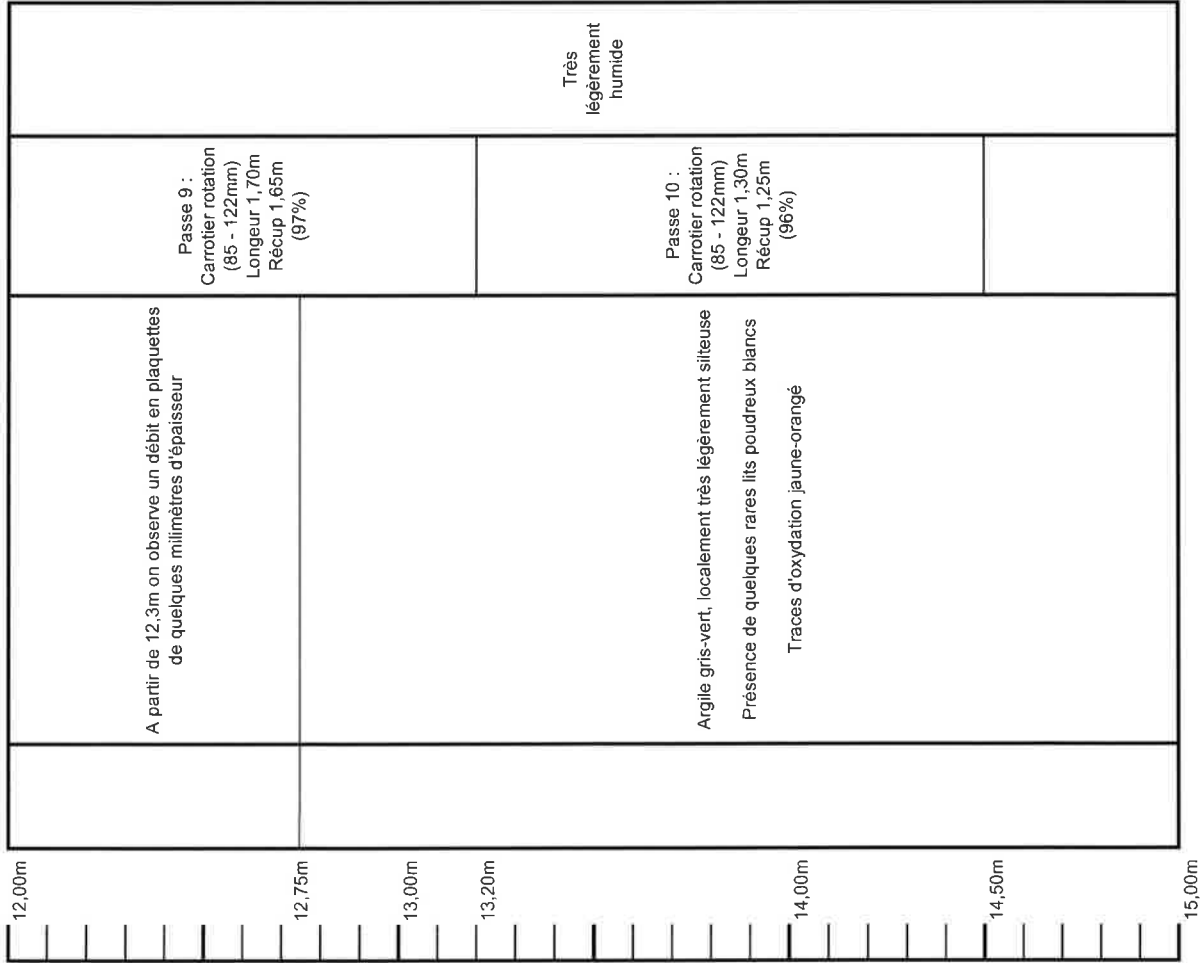
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC6		Date forage : Du 27 au 31/07/15	Cote sol : ± 226m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

6,00m				
7,00m			<p>Passé 5 : Carrotier battu (100/114mm) Longueur 1,30m Récup 1,30m (100 %)</p>	Très légèrement humide
7,80m			<p>Passé 6 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longueur 1,40m Récup 1,40m (100%)</p>	
8,00m				
8,40m		<p>Argile mineuse bariolée gris-vert et localement brun-rouge (et en particulier entre 8,40 et 8,50m)</p> <p>Présence de grains blancs (parfois poudreux) d'anhydrite/gypse.</p> <p>Présence de traces d'oxydation jaune-orangé</p>		
9,00m				

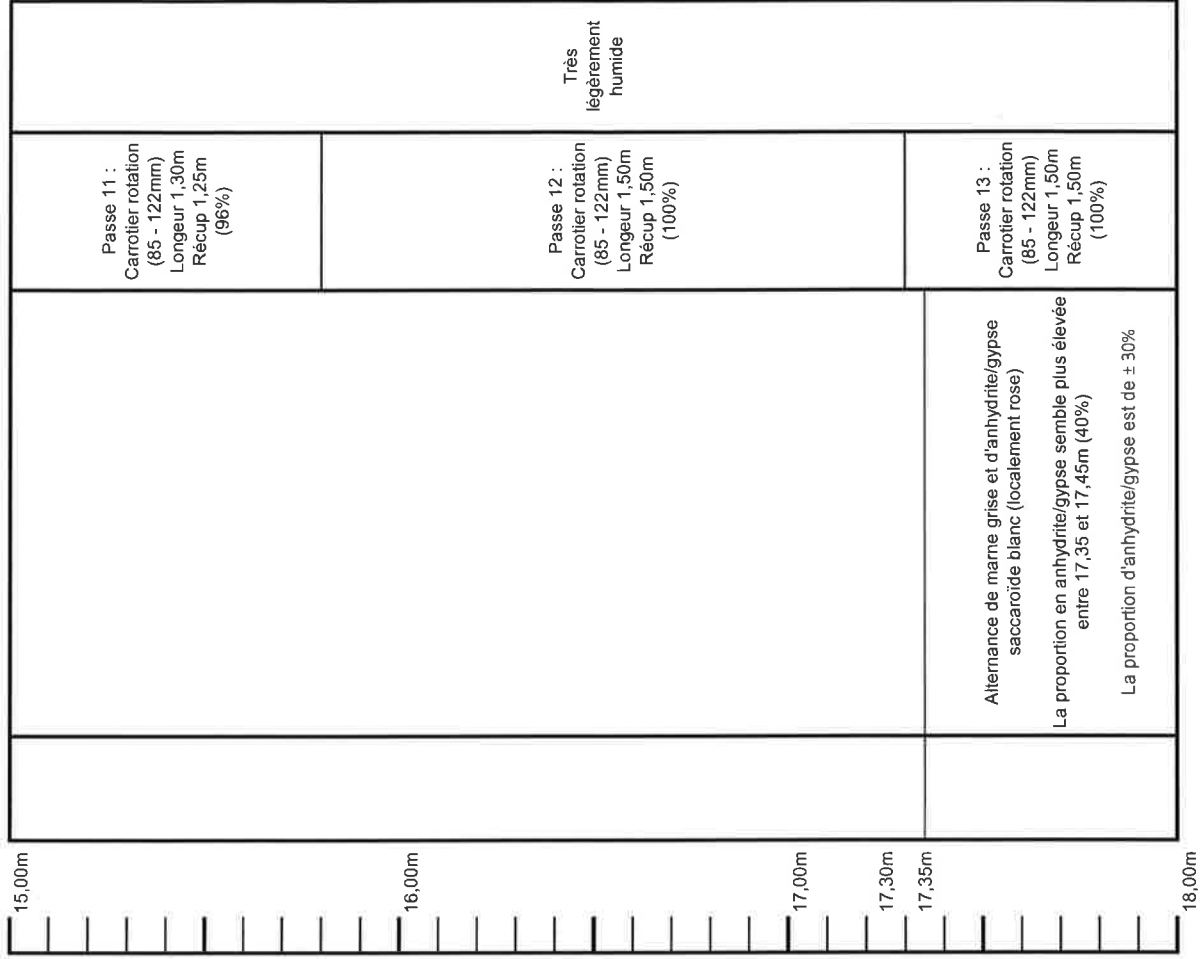
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC6		Date forage : Du 27 au 31/07/15	Cote sol : ± 226m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

9,00m				
9,40m		<p>Présence de nodules d'anhydrite/gypse poudreux blanc, en particulier entre 9,2 et 9,4m</p>	<p>Passé 7 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longueur 1,60m Récup 1,60m (100%)</p>	Très légèrement humide
10,00m			<p>Passé 8 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longueur 1,50m Récup 1,35m (90%)</p>	
11,00m		<p>Argile brun-rouge, localement gris-vert (en particulier entre 10,4 et 10,6m)</p> <p>Présence de nodules (jusqu'à 4cm) d'anhydrite/gypse saccharoïde (et parfois granuleux) gris-blanc (vers 9,95m on observe que l'un de ces nodules est très humide)</p> <p>Présence de lits de plaquettes de calcite</p> <p>Traces d'oxydation jaune-orangé</p>		
11,50m				
12,00m				

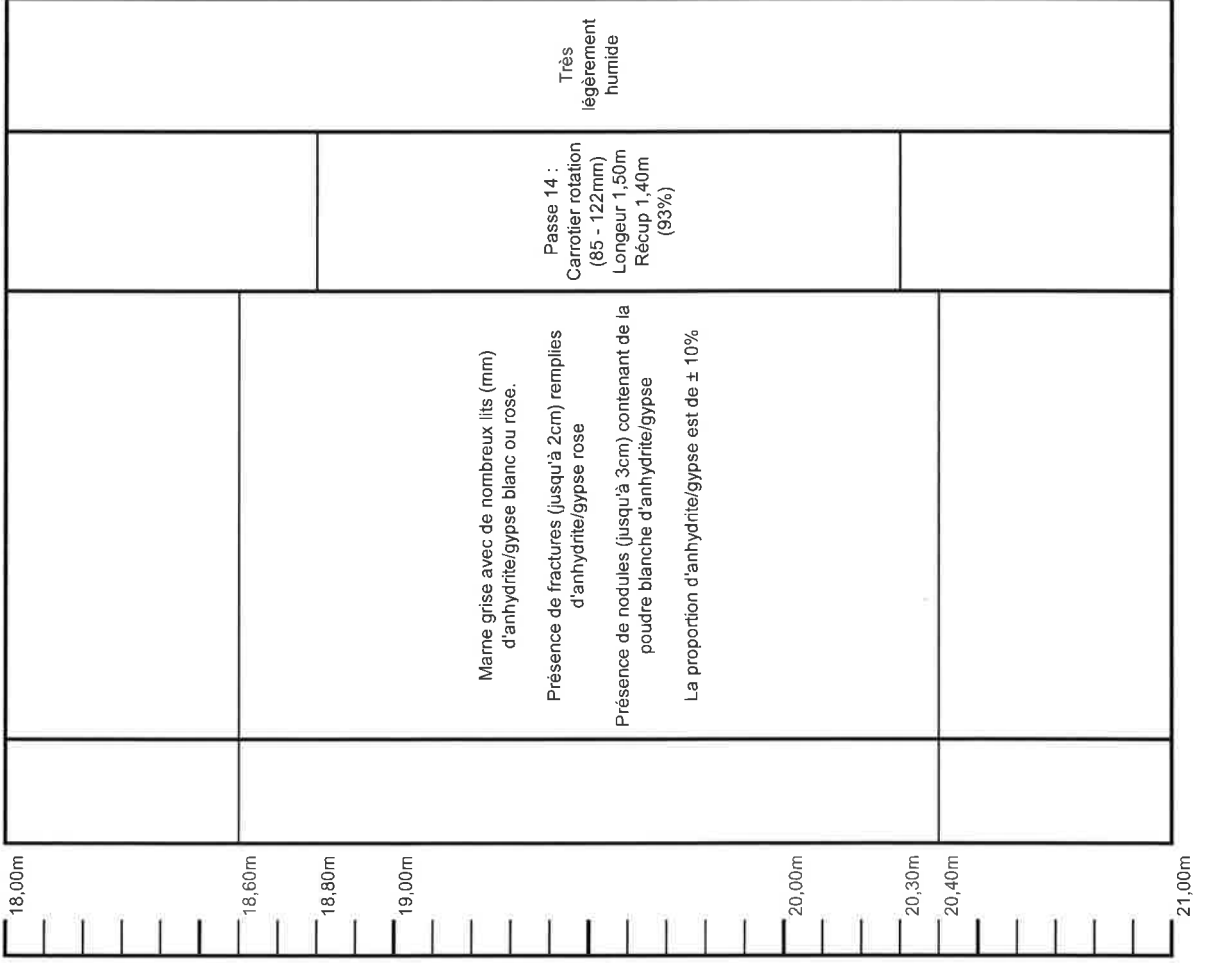
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC6		Date forage : Du 27 au 31/07/15	Cote sol : ± 226m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



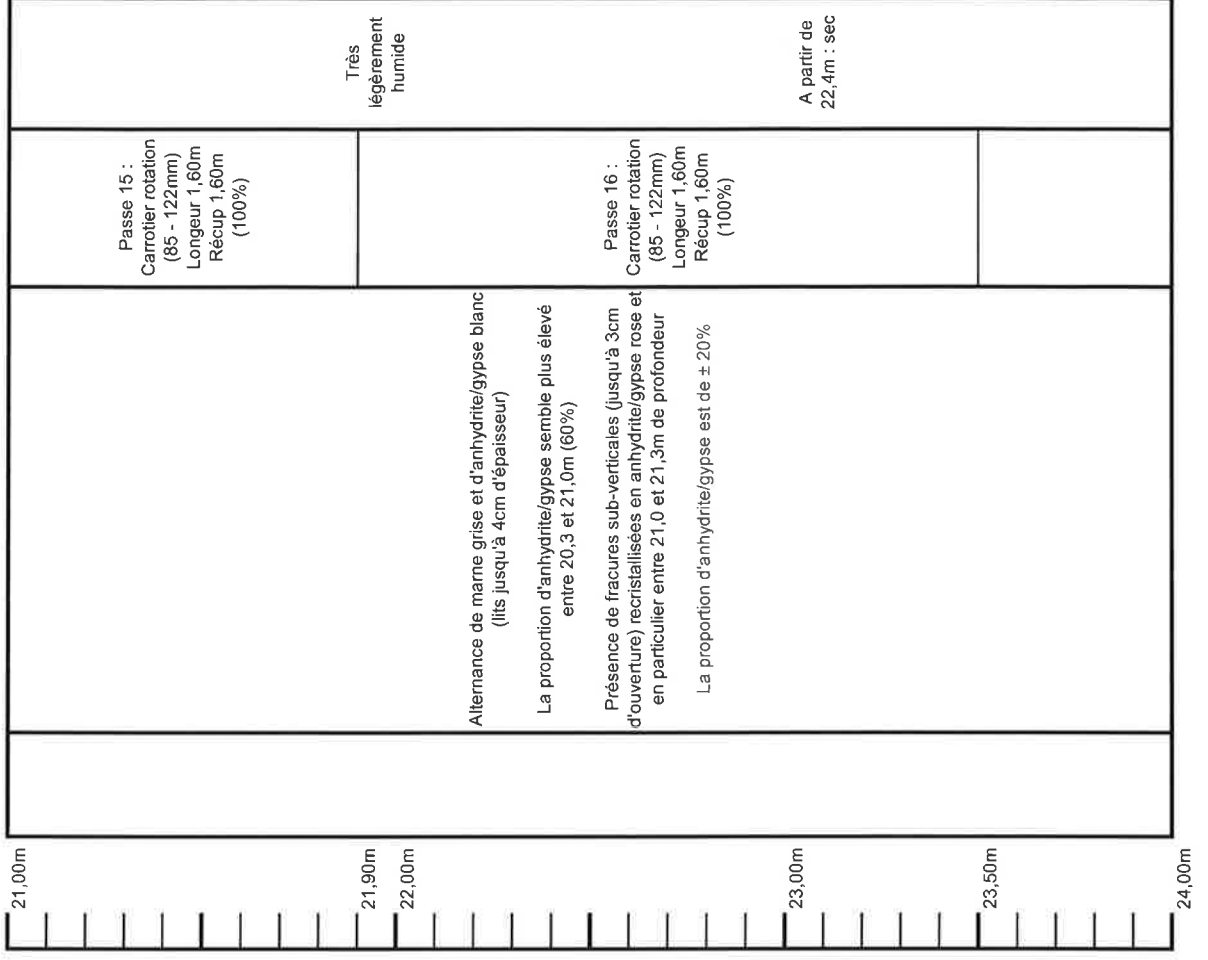
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC6		Date forage : Du 27 au 31/07/15	Cote sol : ± 226m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC6		Date forage : Du 27 au 31/07/15	Cote sol : ± 226m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC6		Date forage : Du 27 au 31/07/15	Cote sol : ± 226m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC6		Date forage : Du 27 au 31/07/15	Cote sol : ± 226m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

24,00m				
24,90m		Entre 24,25 et 24,45, la teinte est lie de vin		
25,00m		Entre 24,55 et 24,65, la teinte est lie de vin		
25,10m		Alternance de lits de marne grise et de lits d'anhydrite/gypse blanc sous forme fibreuse ou saccharoïde		
		Présence d'une fracture de 3 à 4cm d'ouverture, remplie d'anhydrite/gypse fibreux jaune-orangé		
		La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 10%		
25,80m		Roche massive, composée d'une alternance de lits de marne grise et de lits (mm) d'anhydrite/gypse saccharoïde ou fibreux blanc		
26,00m		Débit en plaquettes de quelques mm à 1cm d'épaisseur		
26,30m		Entre 26,3 et 26,4m, nodules (jusqu'à 4cm) d'anhydrite/gypse rose		
		Fractures sub-verticales (jusqu'à 5mm) remplies par de l'anhydrite/gypse blanc		
		La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 10%		
27,00m				

GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC6		Date forage : Du 27 au 31/07/15	Cote sol : ± 226m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

27,00m				
27,80m				
28,00m		A partir de 27,9m la proportion d'anhydrite/gypse devient plus élevée (15%)		
29,00m				
29,30m				
29,40m		Roche massive, composée d'une alternance de lits de marne grise et de lits d'anhydrite/gypse saccharoïde ou fibreux blanc		
		Nodules blancs (jusqu'à 1cm) d'anhydrite/gypse saccharoïde		
30,00m				

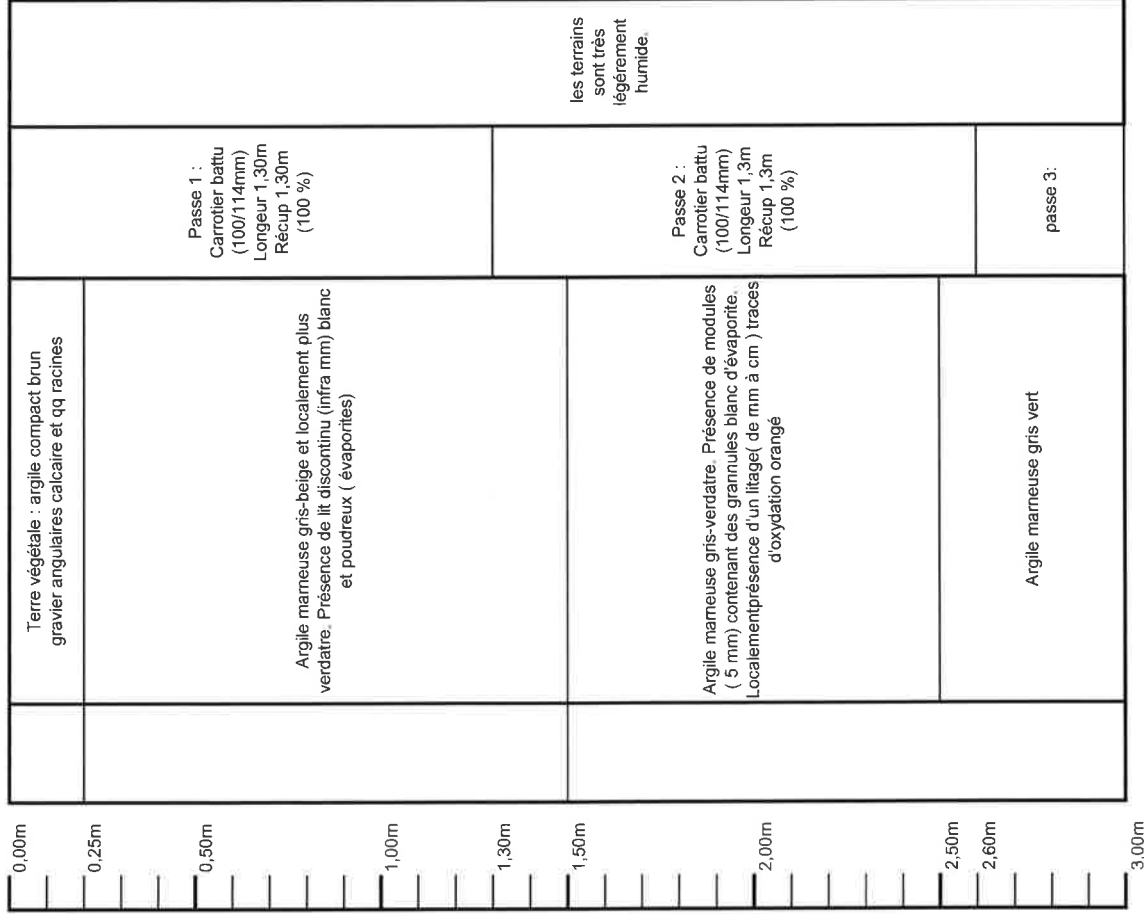
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC6		Date forage : Du 27 au 31/07/15	Cote sol : ± 226m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

30,00m				
30,90m		<p>Débit en plaquettes de quelques mm à 1cm d'épaisseur</p> <p>Fractures sub-verticales (jusqu'à 5mm) remplies par de l'anhyrite/gypse blanc</p> <p>La proportion d'anhyrite/gypse est de ± 10%</p> <p>Entre 30,7 et 30,8m, nodules d'anhyrite/gypse rose</p> <p>Entre 31,0 et 31,2m, nodules d'anhyrite/gypse rose</p> <p>Entre 31,75 et 31,9m, nodules d'anhyrite/gypse rose</p> <p>A partir de 31,95m, la teneur en anhyrite/gypse augment 40%</p>	<p>Passé 21 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,60m Récup 1,60m (100%)</p>	Sec
31,00m				
32,00m				
32,30m				
33,00m				

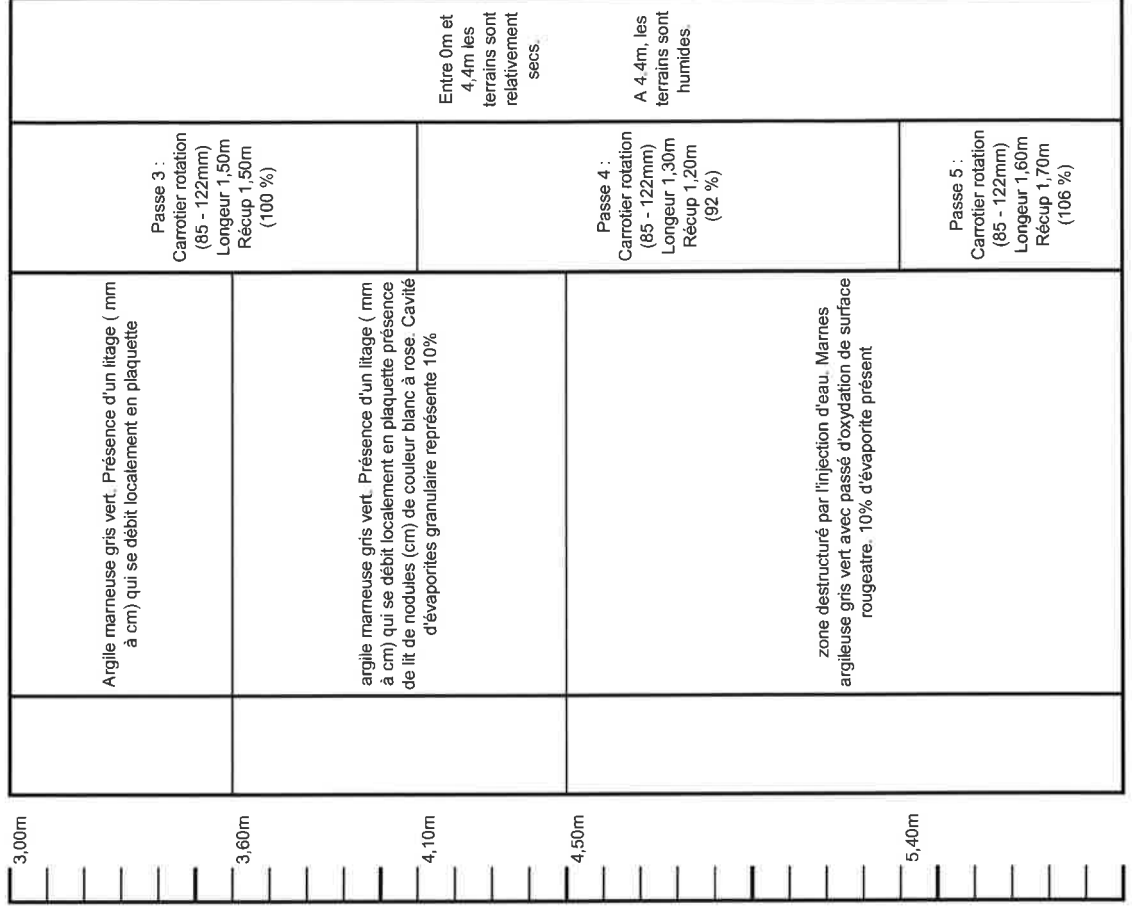
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC6		Date forage : Du 27 au 31/07/15	Cote sol : ± 226m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

33,00m		<p>Roche massive, composée d'une alternance de lits de mame grise et de lits (mm) d'anhyrite/gypse saccharoïde ou fibreux blanc</p> <p>Débit en plaquettes de quelques mm à 1cm d'épaisseur</p> <p>Fractures sub-verticales (jusqu'à 5mm) remplies par de l'anhyrite/gypse blanc</p> <p>A 33,4m et 33,9m, lit (4mm) d'anhyrite/gypse rose</p> <p>Entre 34,7 et 34,8m, présence de nombreux nodules (1 à 3cm) blancs d'anhyrite/gypse</p> <p>La proportion d'anhyrite/gypse est de ± 10%</p>	<p>Passé 23 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,60m Récup 1,60m (100%)</p>	Sec
33,90m				
34,00m				
35,00m				
35,20m		Arrêt du forage à 35,20m		
33,00m				

GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC7		Date forage : Du 31/07 au 06/08/15	Cote sol : ±244,5m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.



GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC7		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.







Sondage : Lochwiller SC7		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF	
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils	Niv. pz.

12,00m	<p>Mame bariolée gris-vert, localement rougeatre (et en particulier entre 11,7 et 12,35).</p> <p>Présence d'un litage fin (débit en plaquettes de quelques mm d'épaisseur).</p> <p>Nombreuses intercalation d'anhydrite/gypse blanche, sous forme de lits de quelques mm à 2cm d'épaisseur.</p> <p>La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 10%.</p>	<p>Passes 12 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 0,35m Récup 0,30m (86%)</p>	<p>A partir de 9m, perte totale de l'eau injectée</p>	
12,45m		<p>Passes 13 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,60m Récup 1,50m (94%)</p>		
12,80m	<p>Mame bariolée gris-vert, localement rougeatre (et en particulier entre 11,7 et 12,35).</p> <p>Présence d'un litage fin (débit en plaquettes de quelques mm d'épaisseur).</p> <p>Nombreuses intercalation d'anhydrite/gypse blanche, sous forme de lits de quelques mm à 2cm d'épaisseur.</p> <p>La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 10%.</p>	<p>Passes 14 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,50m Récup 1,50m (100%)</p>	<p>A partir de 9m, perte totale de l'eau injectée</p>	
13,00m				<p>Passes 15 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,50m Récup 1,50m (100%)</p>
14,00m				
14,20m	<p>Mame bariolée gris-vert, localement rougeatre Présence d'un litage fin (débit en plaquettes de quelques mm d'épaisseur).</p> <p>Nombreuses intercalation d'anhydrite/gypse blanche, sous forme de lits de quelques mm à 2cm d'épaisseur.</p> <p>Entre 14,20 et 14,40m, présence d'anhydrite/gypse blanc-rose sous forme de nodules pouvant aller jusqu'à 3cm.</p> <p>La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 30%.</p>	<p>Passes 16 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,50m Récup 1,50m (100%)</p>	<p>A 16m : très légèrement humide</p>	
14,40m				
15,00m				

Sondage : Lochwiller SC7		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF	
--------------------------	--	--------------------------------	-----------------------	--

Sondage : Lochwiller SC7		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF	
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils	Niv. pz.

15,00m	<p>Mame grise</p> <p>Présence d'un litage fin (débit en plaquettes de quelques mm d'épaisseur)</p> <p>Présence de fractures subverticales remplies de anhydrite/gypse (de 1 à 5 mm d'épaisseur)</p> <p>La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 10%</p>	<p>Passes 14 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,50m Récup 1,50m (100%)</p>	<p>A partir de 9m, perte totale de l'eau injectée</p>	
15,90m		<p>Passes 15 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,50m Récup 1,50m (100%)</p>		
16,00m	<p>Mame grise</p> <p>Présence d'un litage fin (débit en plaquettes de quelques mm d'épaisseur)</p> <p>Présence de fractures subverticales remplies de anhydrite/gypse (de 1 à 5 mm d'épaisseur)</p> <p>La proportion d'anhydrite/gypse est de ± 10%</p>	<p>Passes 16 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,50m Récup 1,50m (100%)</p>	<p>A partir de 9m, perte totale de l'eau injectée</p>	
17,00m				<p>Passes 17 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,50m Récup 1,50m (100%)</p>
17,40m				
17,50m				
18,00m				

Sondage : Lochwiller SC7		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : ± 220m NGF	
--------------------------	--	--------------------------------	-----------------------	--

PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils	Niv. pz.
18,00m		<p>Matte grise</p> <p>Présence d'un litage fin (débit en plaquettes de quelques mm d'épaisseur)</p> <p>Présence de fractures subverticales remplies de anhydrite/gypse (de 1 à 5 mm d'épaisseur)</p> <p>La proportion d'anhydrite/gypse est de <math>\pm 20\%</math></p> <p>Entre 18,80m et 19,00m, couche d'anhydrite/gypse saccharoïde avec présence d'inclusions mameuse</p> <p>La proportion d'anhydrite/gypse est de <math>\pm 70\%</math></p>	<p>Passé 16 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,40m Récup 1,40m (100%)</p>	A 19,30m : très légèrement humide
19,00m				
20,00m		<p>Entre 19,30m et 19,45m, présence de lits et de nodules d'anhydrite/gypse</p> <p>La proportion d'anhydrite/gypse est de <math>\pm 40\%</math></p>	<p>Passé 17 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,40m Récup 1,40m (100%)</p>	A 20,10m : très légèrement humide
20,40m				
21,00m				

### GEODERIS

### FICHE DE SONDAGE

Sondage : Lochwiller SC7

Date forage : Du 7 au 21/07/15

Cote sol :  $\pm 220m$  NGF

PROF : LITHO

DESCRIPTION

Outils

Niv. pz

(m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils	Niv. pz.
21,00m		<p>Entre 21,3m et 21,50m, cristallisation granulaire rose d'anhydrite/gypse</p> <p>La proportion d'anhydrite/gypse est de <math>\pm 50\%</math></p>	<p>Passé 18 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,50m Récup 1,40m (93,3%)</p>	A 22,50m : sec
21,90m				
22,00m		<p>Entre 22,80m et 23,20m, présence de nodules roses d'anhydrite/gypse</p> <p>La proportion d'anhydrite/gypse est de <math>\pm 20\%</math></p>	<p>Passé 19 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,50m Récup 1,50m (100%)</p>	
23,00m				
23,40m		<p>Entre 24,40m et 24,70m, cristallisation granulaire blanche et rose d'anhydrite/gypse</p> <p>La proportion d'anhydrite/gypse est de <math>\pm 30\%</math></p>		
24,00m				

### GEODERIS

### FICHE DE SONDAGE

Sondage : Lochwiller SC7

Date forage : Du 7 au 21/07/15

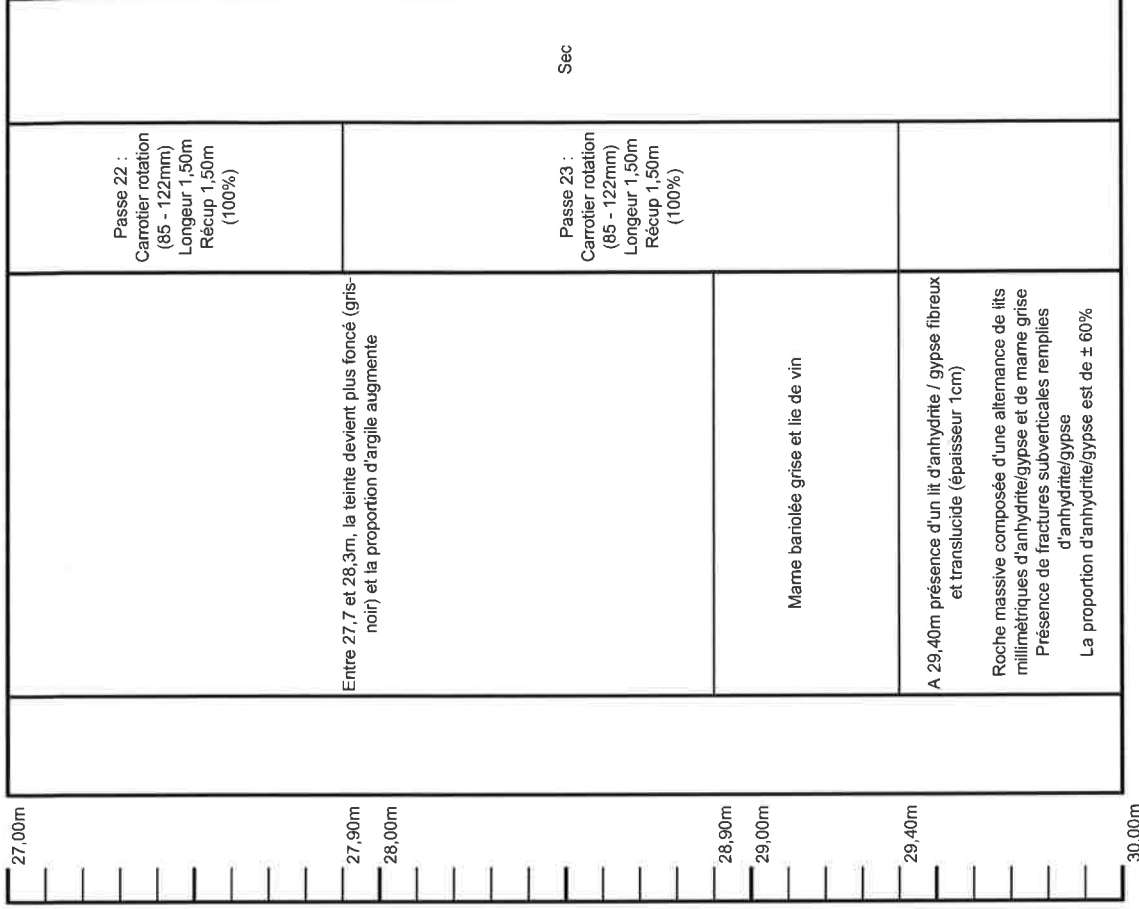
Cote sol :  $\pm 220m$  NGF

PROF : LITHO

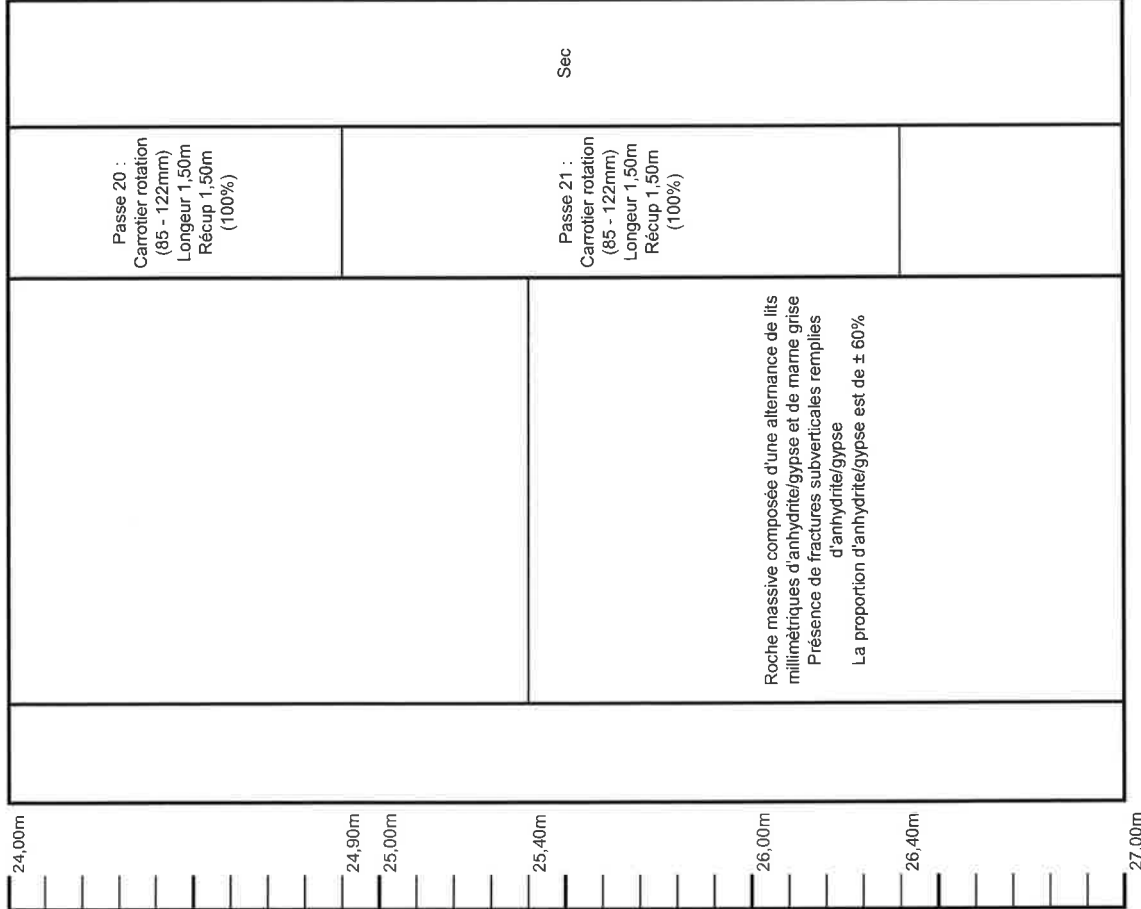
DESCRIPTION

Outils

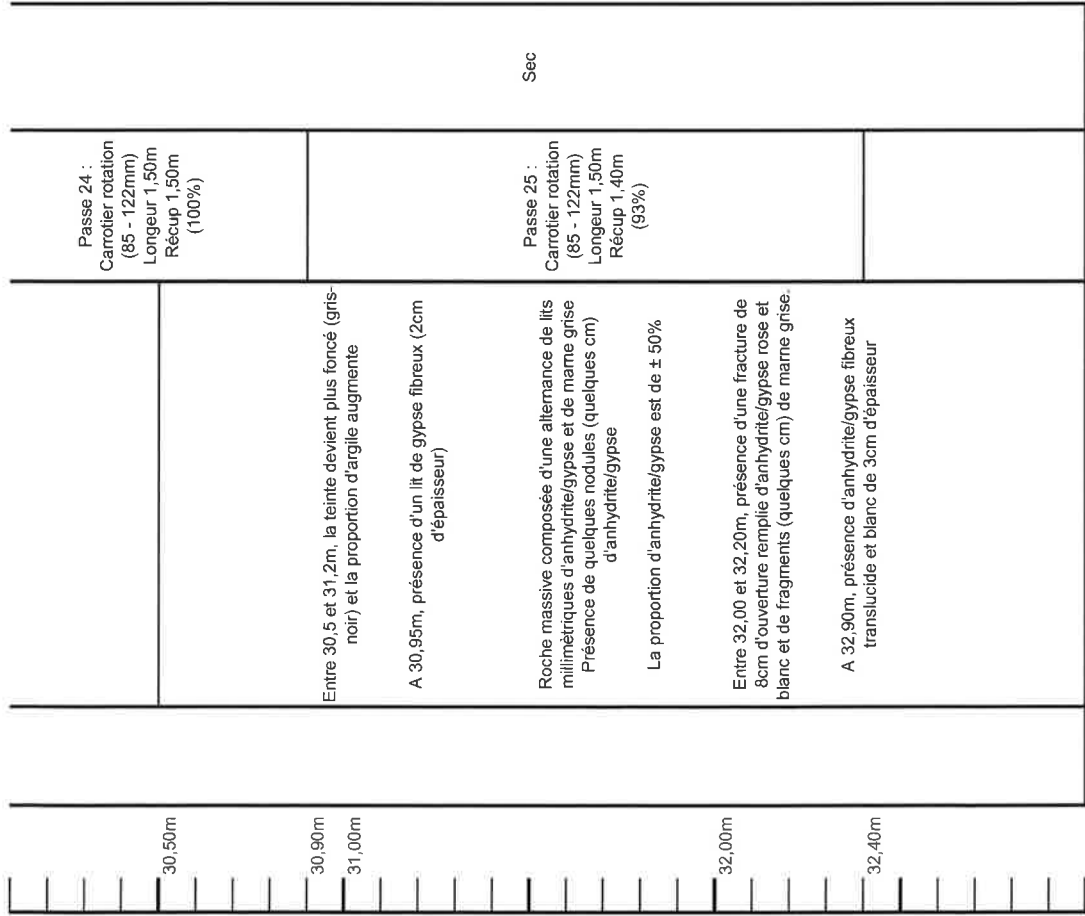
Niv. pz



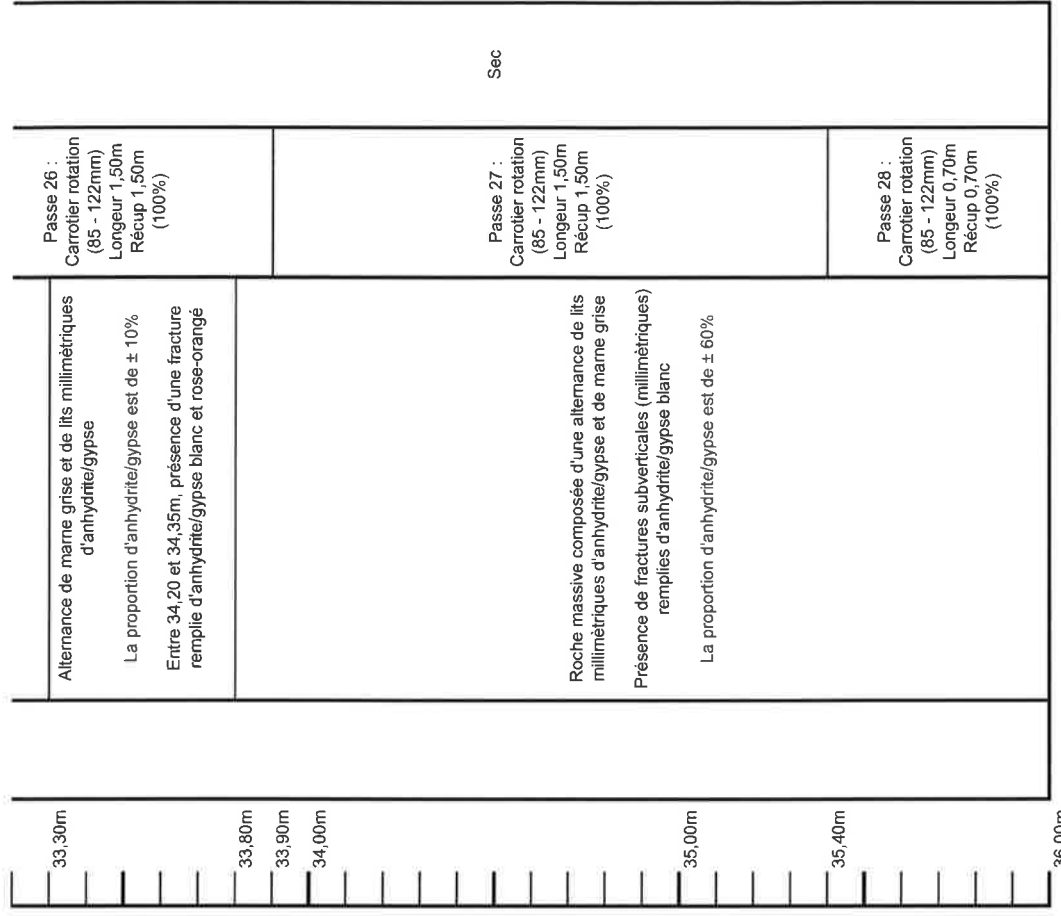
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC7		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : $\pm 220m$ NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
30,00m			Niv. pz.



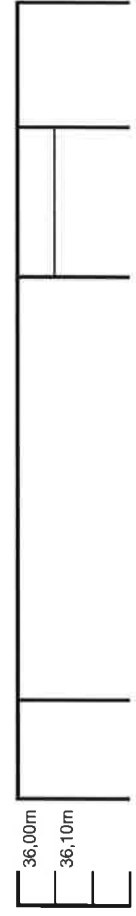
GEODERIS		FICHE DE SONDAGE	
Sondage : Lochwiller SC7		Date forage : Du 7 au 21/07/15	Cote sol : $\pm 220m$ NGF
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Outils
			Niv. pz.

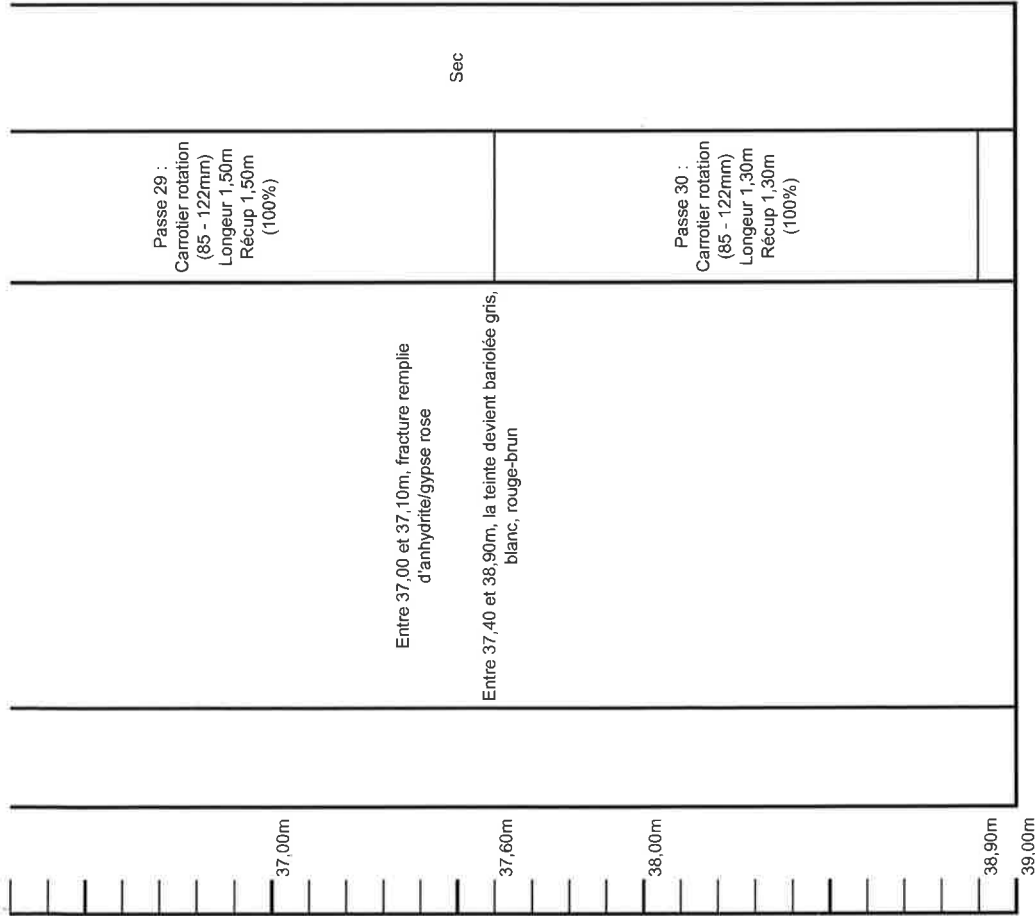


GEODERIS			
Sondage : Lochwiller SC7		Date forage : Du 7 au 21/07/15	
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Cote sol : $\pm 220m$ NGF
			Outils
			Niv. pz.

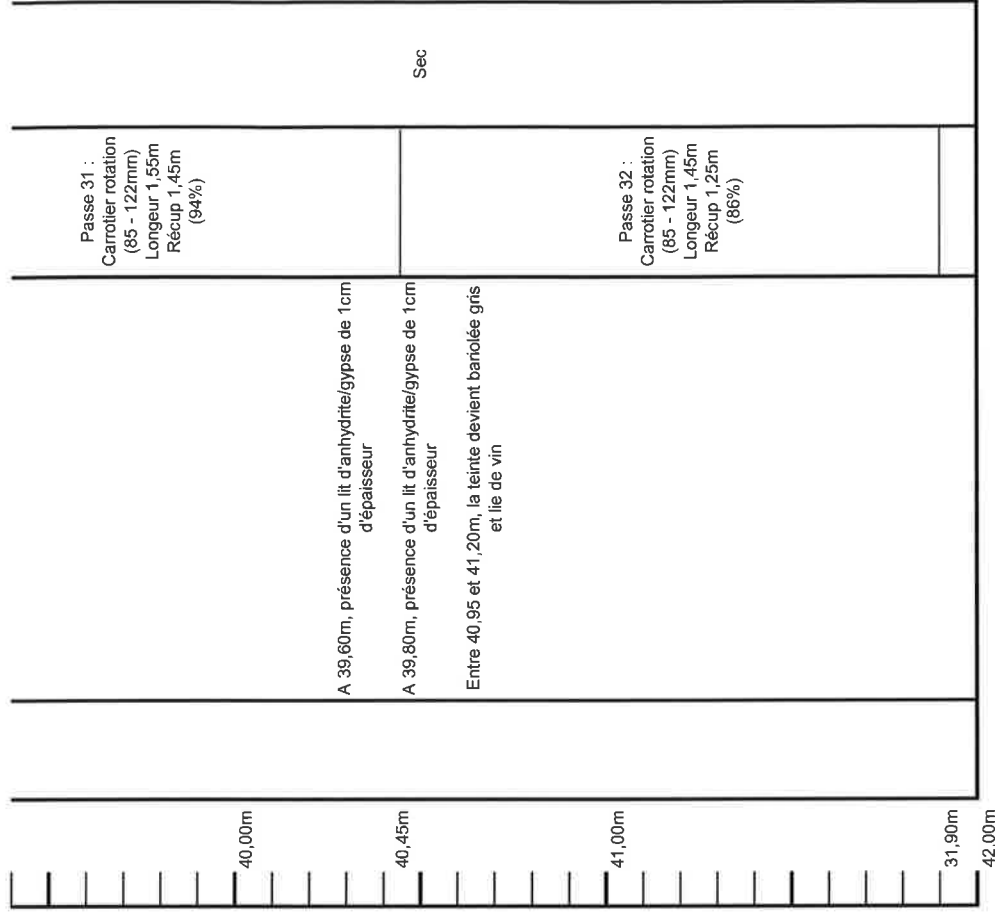


GEODERIS			
Sondage : Lochwiller SC7		Date forage : Du 7 au 21/07/15	
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION	Cote sol : $\pm 220m$ NGF
			Outils
			Niv. pz.





GEODERIS				FICHE DE SONDAGE			
Sondage : Lochwiller SC7		Date forage : Du 7 au 21/07/15		Cote sol : ± 220m NGF			
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION		Outils	Niv. pz.		
39,00m							



GEODERIS		FICHE DE SONDAGE			
Sondage : Lochwiller SC7		Date forage : Du 7 au 21/07/15		Cote sol : ± 220m NGF	
PROF : (m/sol)	LITHO.	DESCRIPTION		Outils	Niv. pz.
42,00m					



43,40m

Sec	
Passe 32 : Carrotier rotation (85 - 122mm) Longeur 1,50m Récup 1,50m (100%)	
	Arrêt du forage à 43,40m

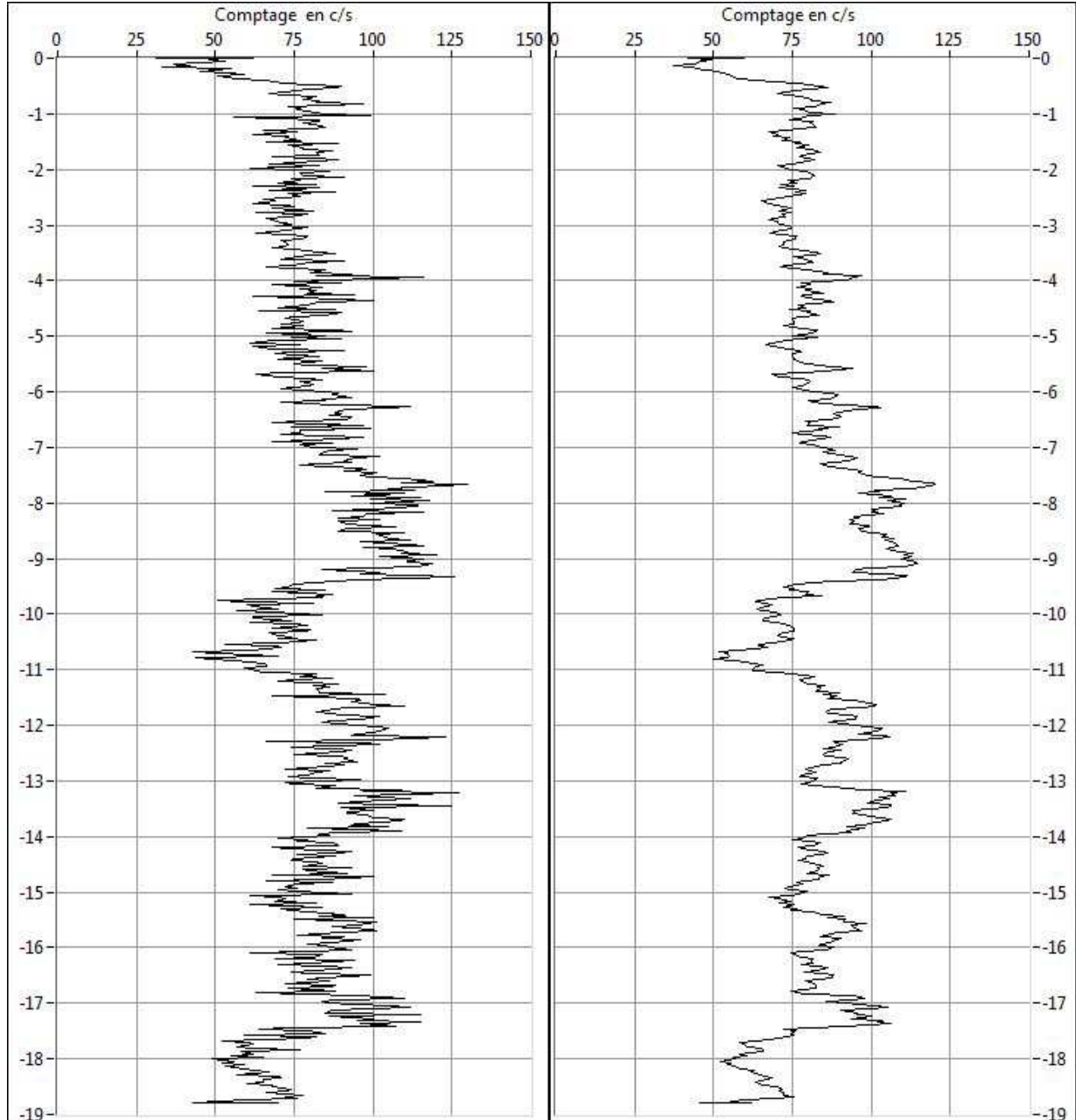


## ***ANNEXE 8 – DIAGRAPHIES GAMMA-RAY DES SONDAGES***



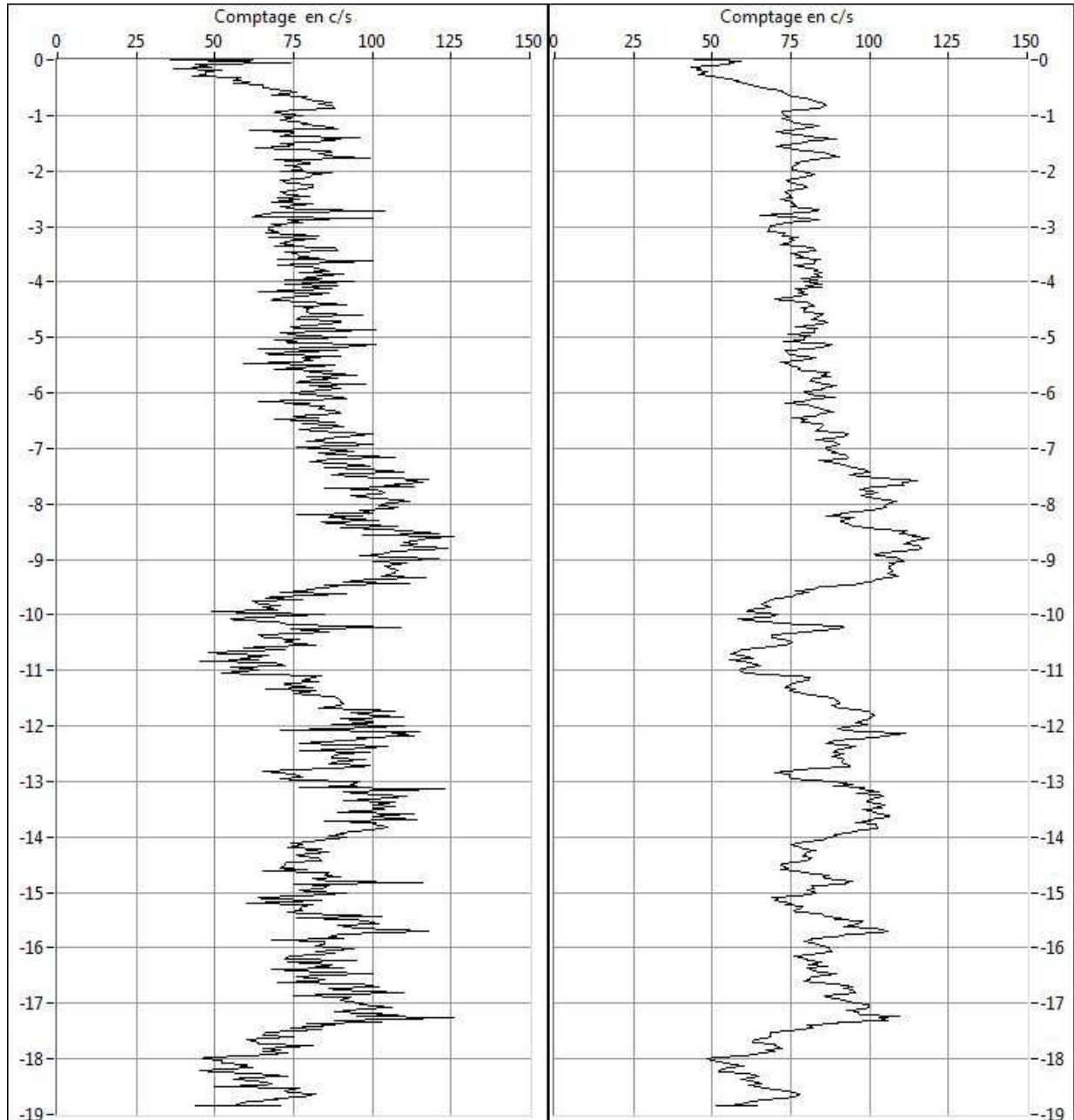


### SONDAGE CAROTTE SC4 – Avec tube galvanisé et piézomètre Diagraphies réalisées dans le tube piézométrique en montant





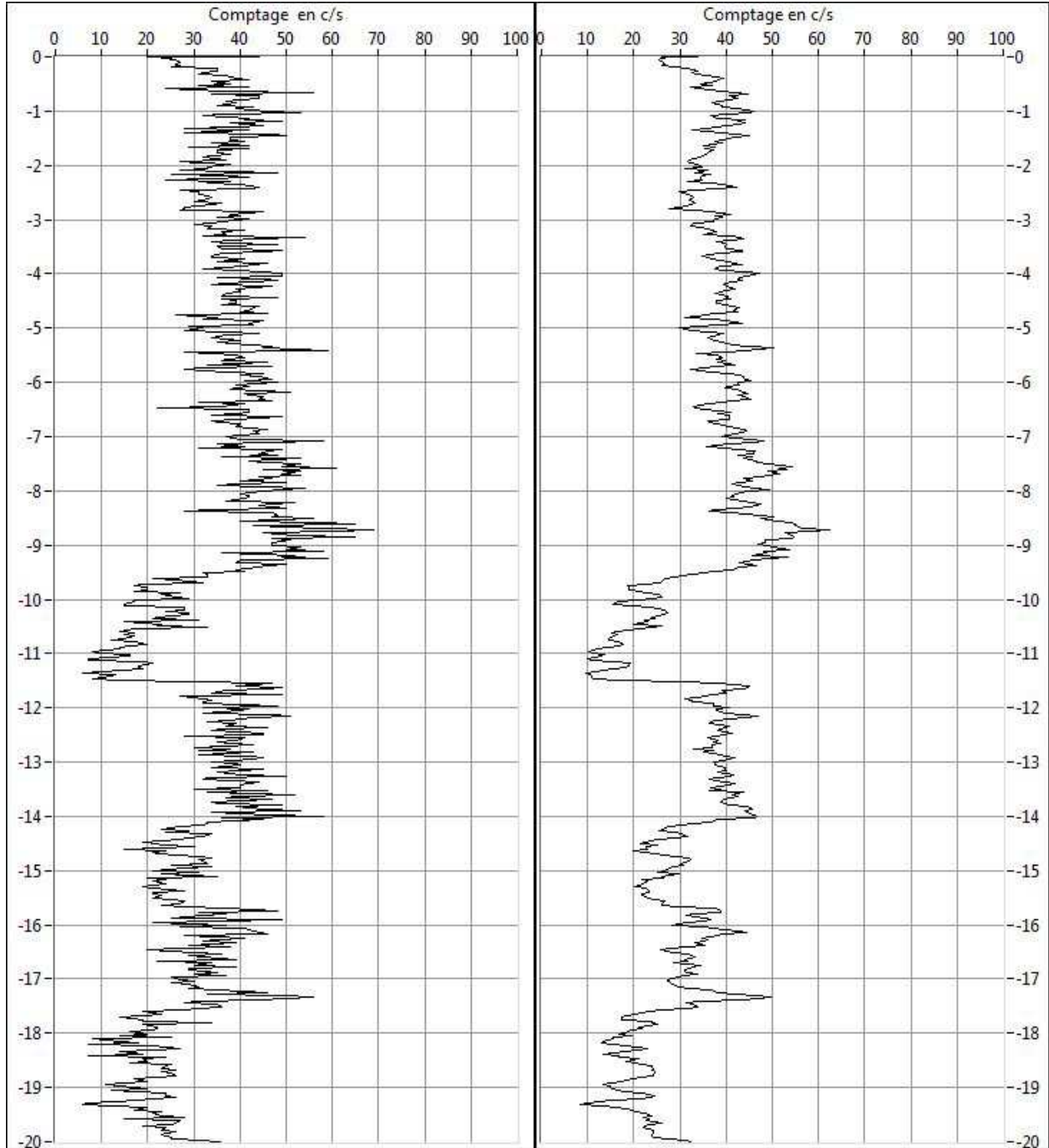
### SONDAGE CAROTTE SC4 – Avec tube galvanisé et piézomètre Diagraphies réalisées dans le tube piézométrique en descendant





### SONDAGE CAROTTE SC4 – Sans tube galvanisé

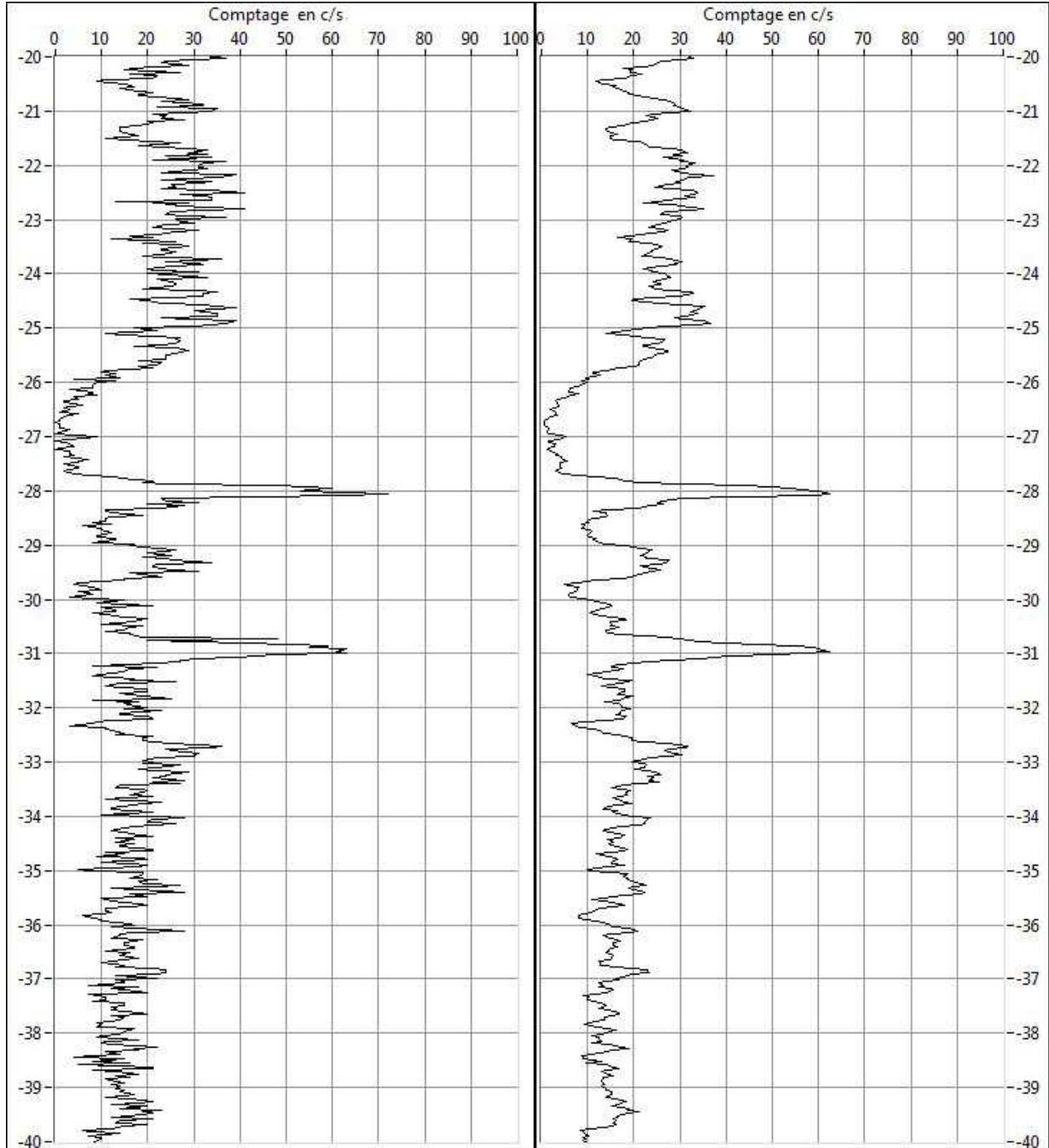
Diagraphies réalisées dans le trou de carottage en descendant (1/3)





### SONDAGE CAROTTE SC4 - Sans tube galvanisé

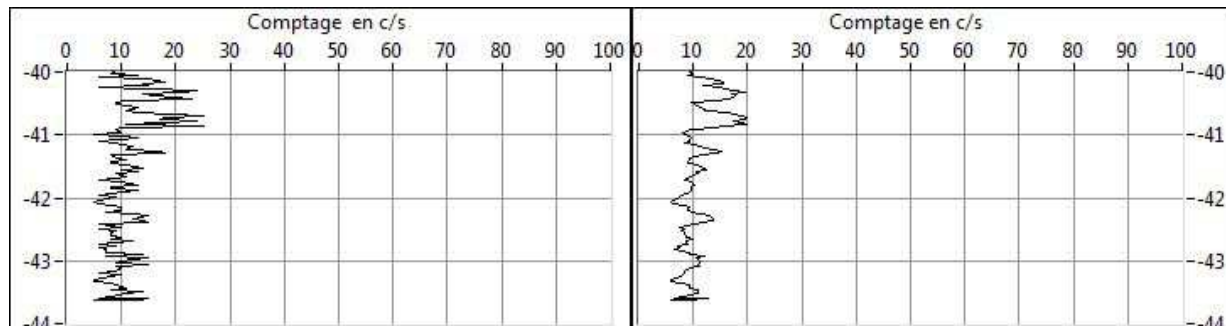
Diagraphies réalisées dans le trou de carottage en descendant (2/3)





### SONDAGE CAROTTE SC4 - Sans tube galvanisé

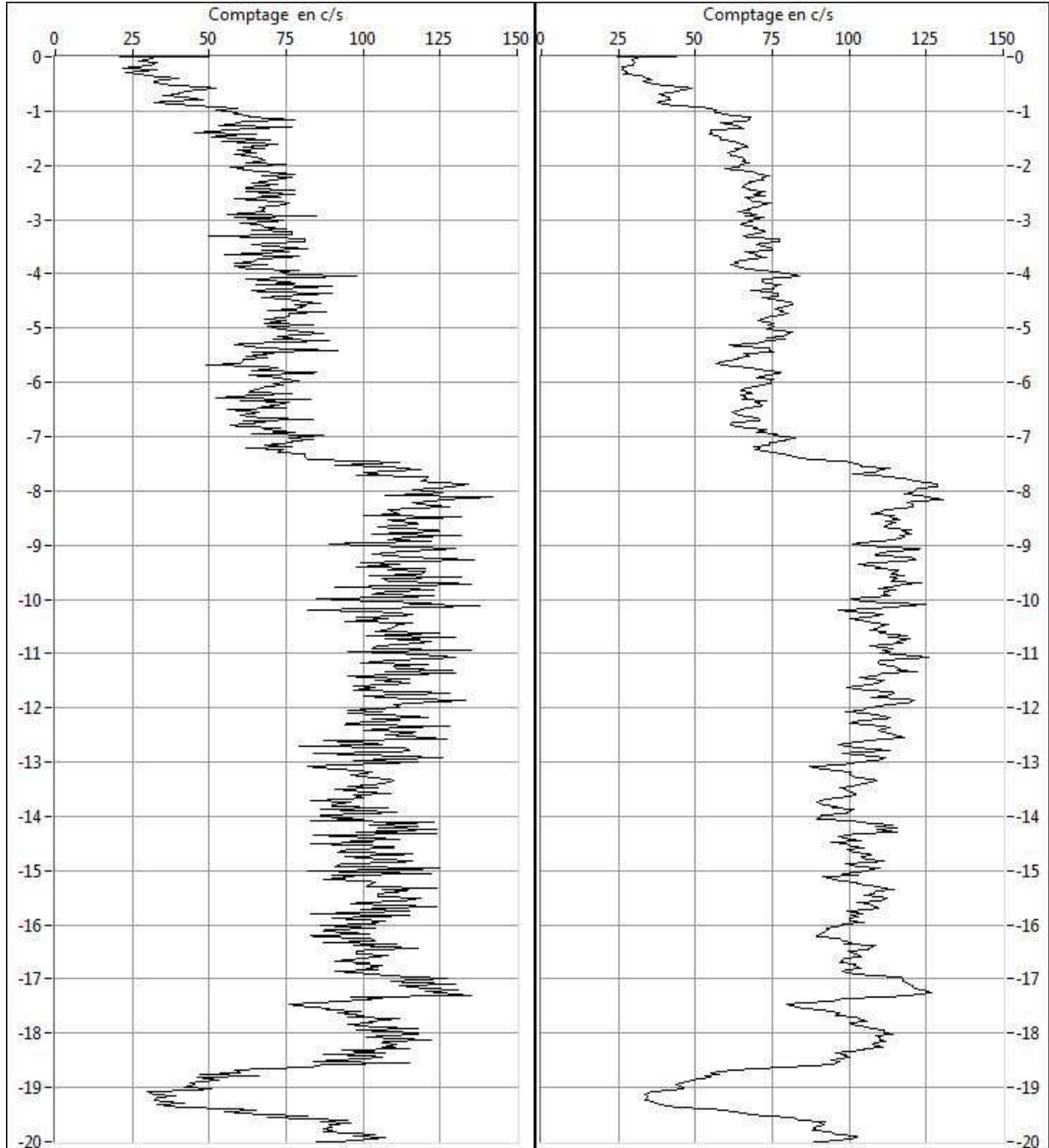
Diagraphies réalisées dans le trou de carottage en descendant (3/3)





### SONDAGE CAROTTE SC5

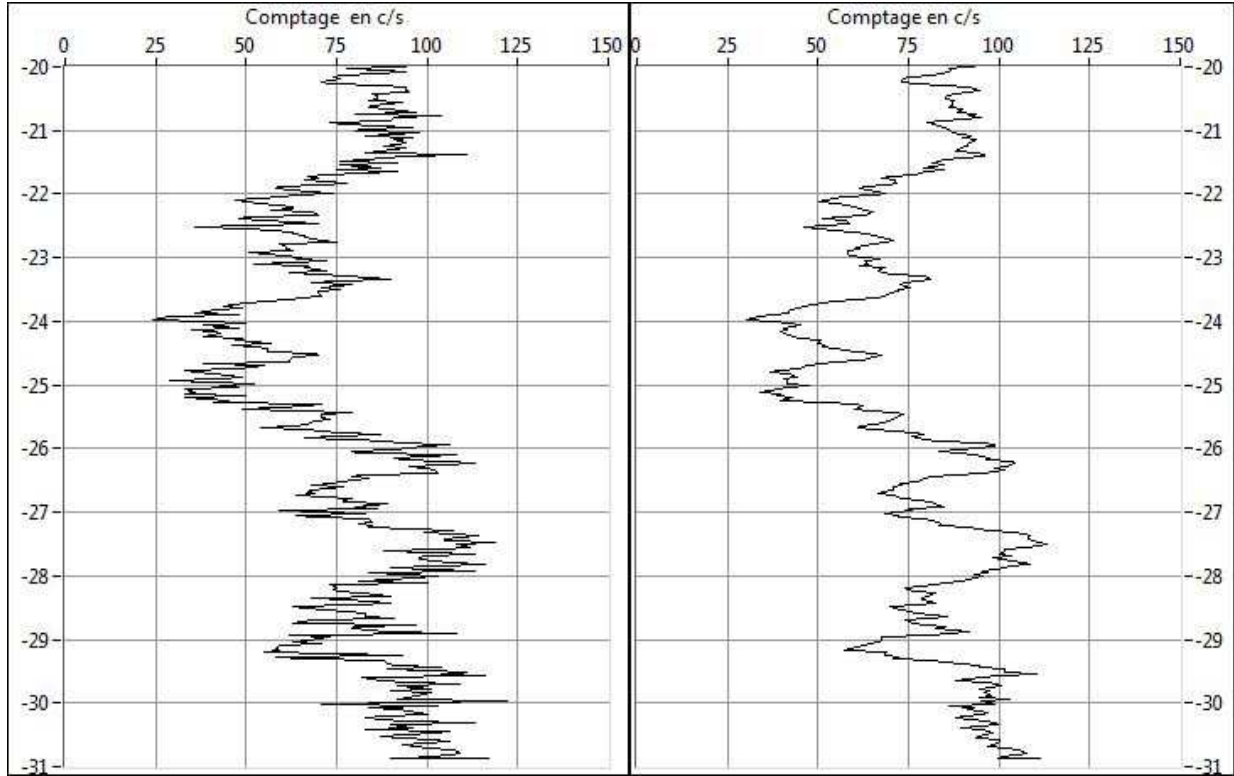
Diagraphies réalisées dans le tube piézométrique en descendant (1/2)





### SONDAGE CAROTTE SC5

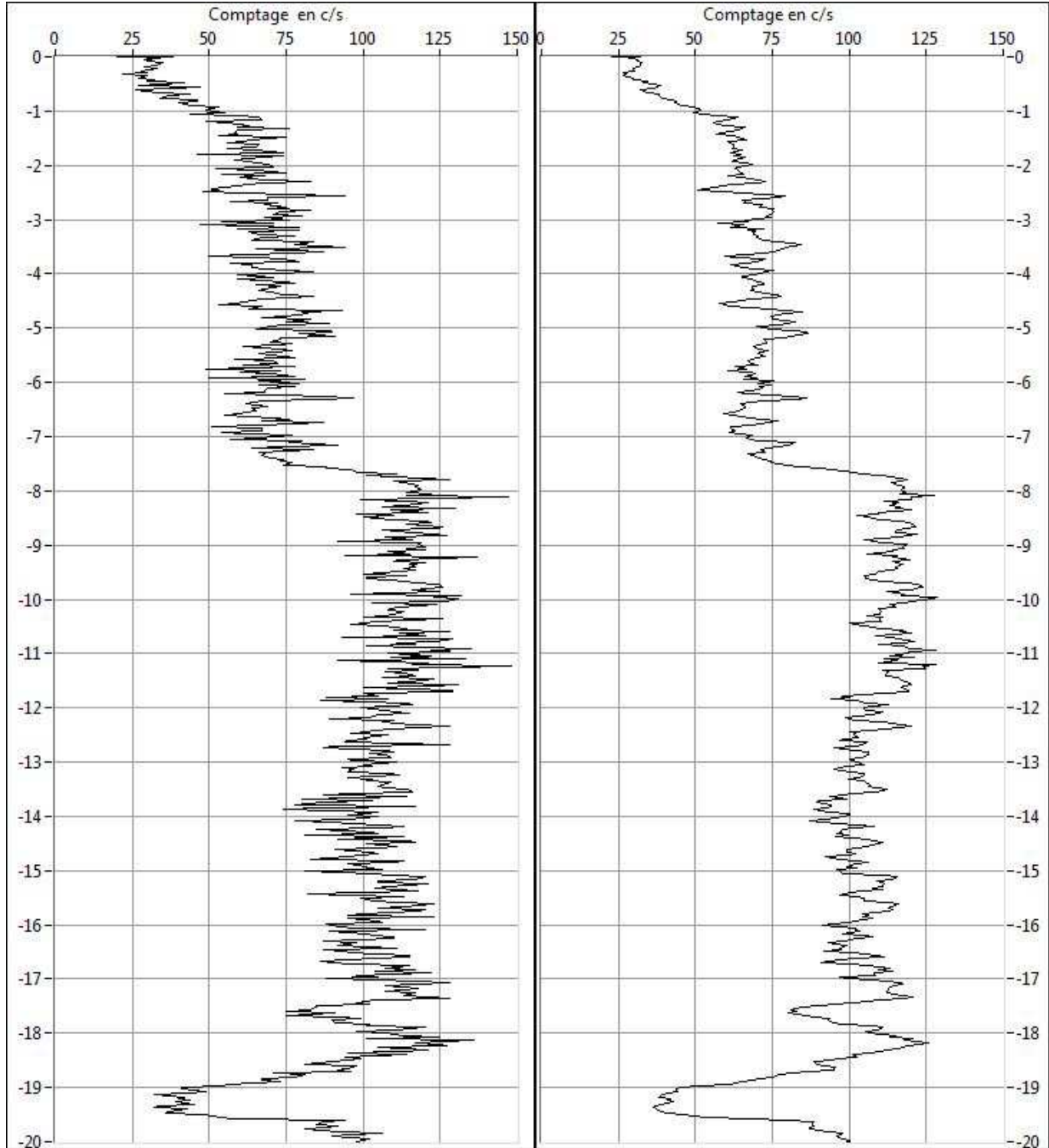
Diagraphies réalisées dans le tube piézométrique en descendant (2/2)





### SONDAGE CAROTTE SC5

Diagraphies réalisées dans le tube piézométrique en montant (1/2)

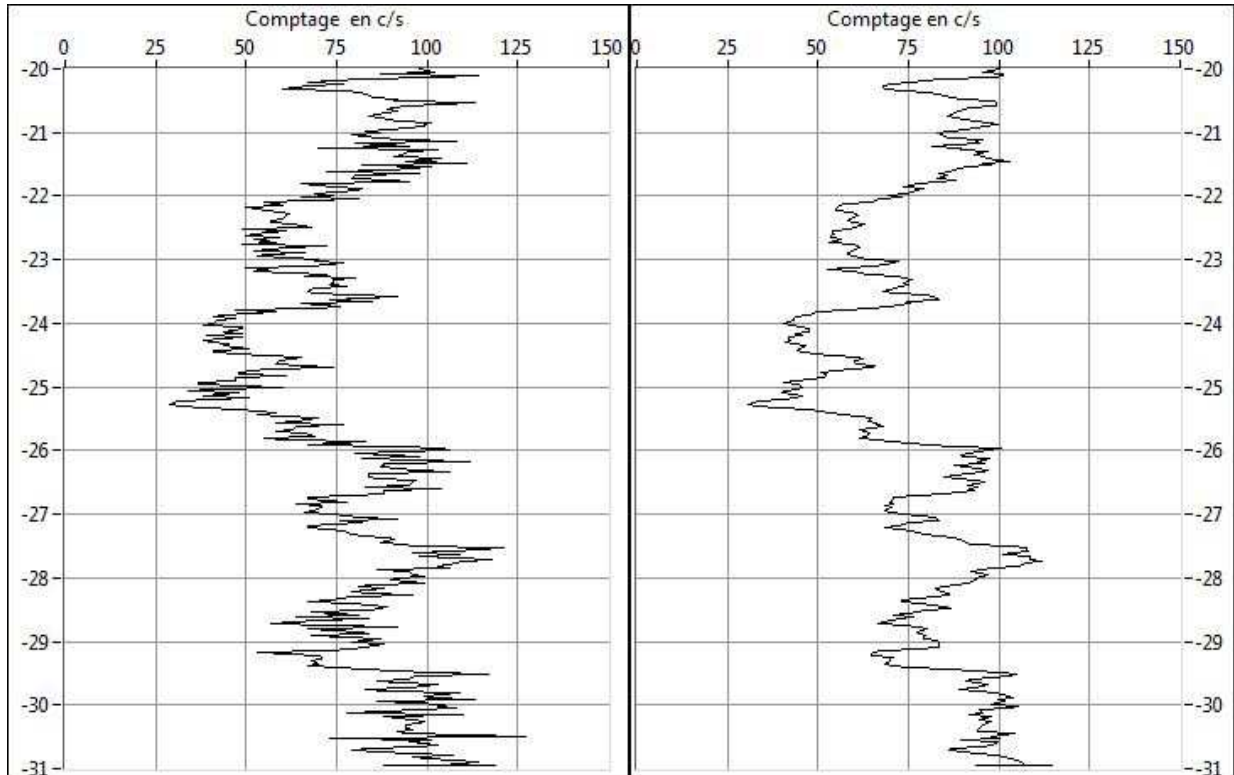






### SONDAGE CAROTTE SC5

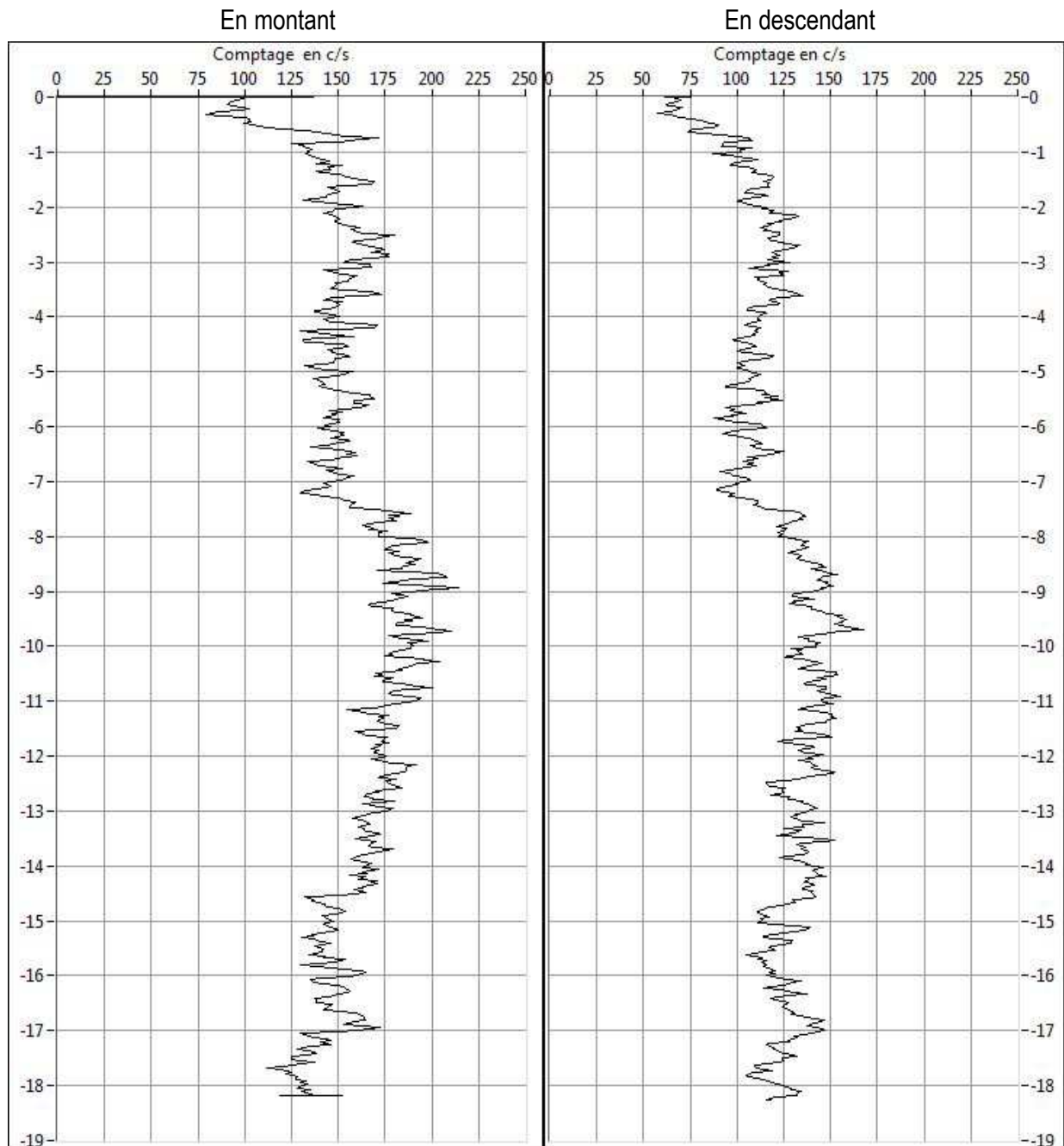
Diagraphies réalisées dans le tube piézométrique en montant (2/2)





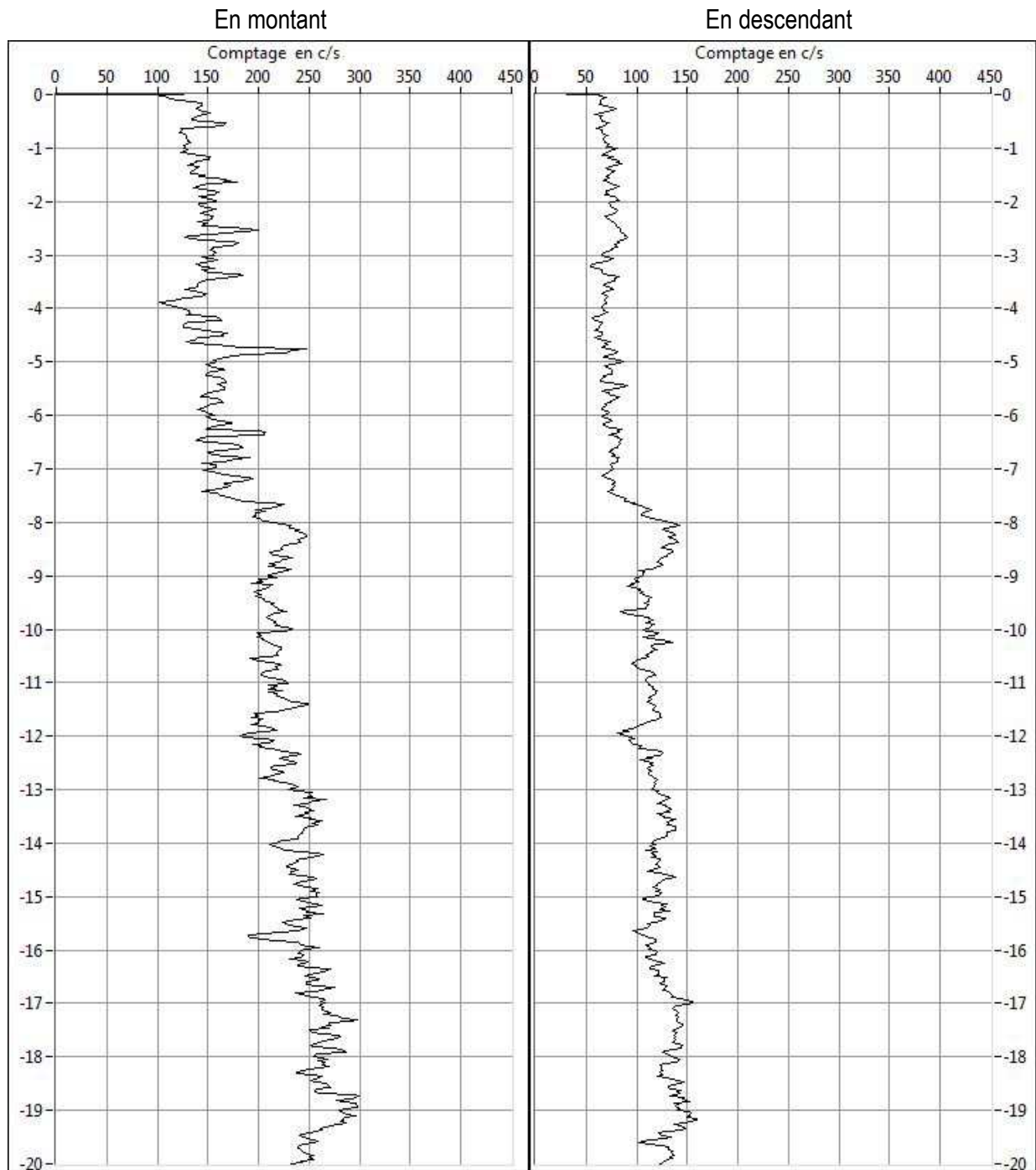
### SONDAGE CAROTTE SC6

Diagraphies réalisées dans le tube piézométrique



### SONDAGE CAROTTE SC7

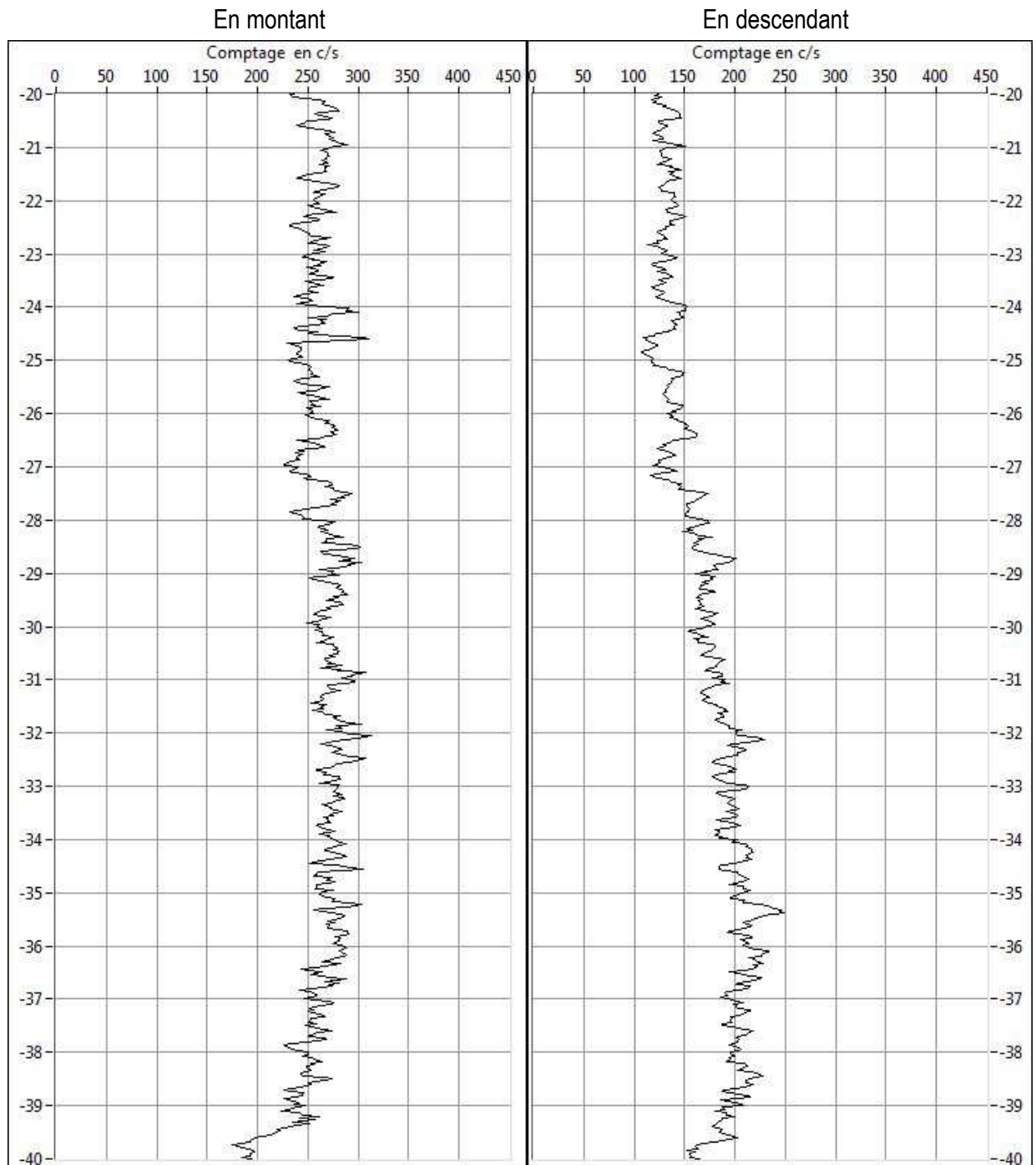
Diagraphies réalisées dans le tube piézométrique (1/3)





### SONDAGE CAROTTE SC7

Diagraphies réalisées dans le tube piézométrique (2/3)



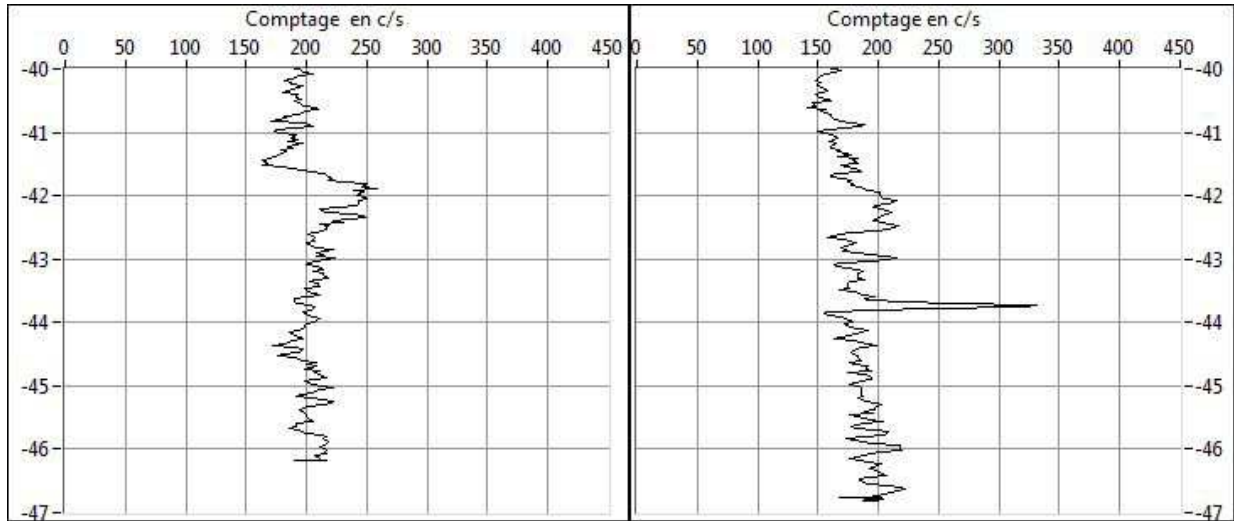


### SONDAGE CAROTTE SC7

Diagraphies réalisées dans le tube piézométrique (3/3)

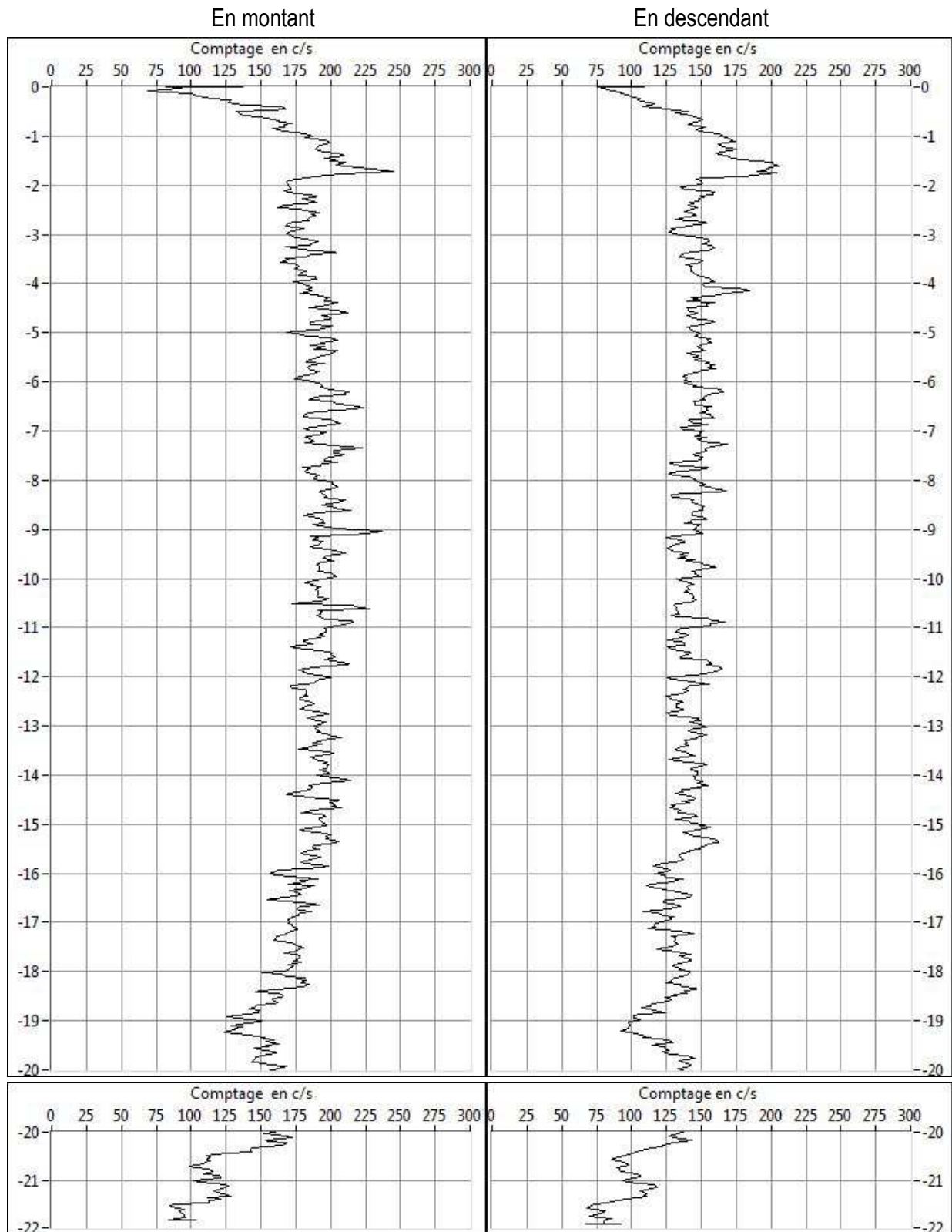
En montant

En descendant



### SONDAGE DESTRUCTIF SC6-2

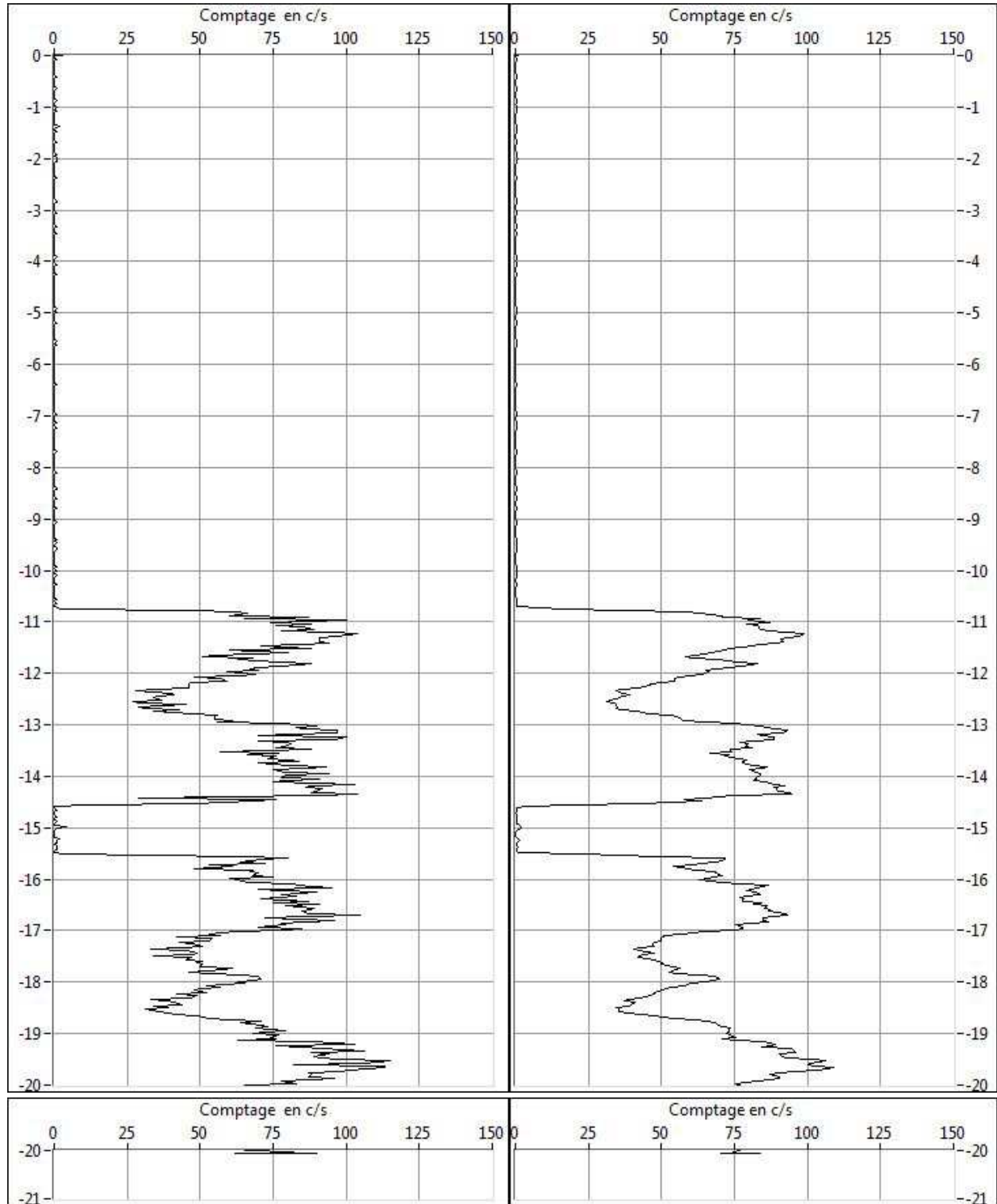
Diagraphies réalisées dans le tube piézométrique





### SONDAGE AVEC INCLINOMETRE

Diagraphies réalisées en montant dans le tube inclinométrique





# CEBTP

## LE RESEAU



La Réunion



Guyane



Martinique



Guadeloupe



Nouvelle  
Calédonie



Polynésie



Maghreb

## CONTACT

**Agence de Strasbourg**

13 rue de l'Electricité 67800 HOENHEIM

Tél. : 03.88.81.20.50

Fax. : 03.88.81.21.50

[www.groupe-cebtp.com](http://www.groupe-cebtp.com)





# **Annexe 13**

**Analyses minéralogiques -  
Caractérisation géotechnique -  
GeoRessources**


**Rapport final  
Juin 2016**

# **Analyses minéralogiques** **Caractérisation géotechnique** **(forages sur la commune de Lochwiller - 67)**

## GEODERIS

**Rapport final**  
**juin 2016**

**Ce document comporte 20 pages**  
**(hors couverture et annexes)**

	<b>Rédaction</b>	<b>Vérification</b>	<b>Approbation</b>
Nom	C. AUVRAY	E. FOURREAU	D. GRGIC
Qualité	Ingénieur de Recherche	Assistant Ingénieur	Maître de conférence - HdR
Visa			

# Sommaire

<b>1-</b>	<b>CADRE DE L'ETUDE</b> .....	<b>4</b>
<b>2-</b>	<b>PREPARATION DES ECHANTILLONS</b> .....	<b>4</b>
<b>3-</b>	<b>CONDUITE DES MESURES ET DES ESSAIS</b> .....	<b>4</b>
	3.1- Analyses minéralogiques.....	4
	3.2- Essais géotechniques .....	5
<b>4-</b>	<b>RESULTATS</b> .....	<b>9</b>
	4.1- Analyses minéralogiques.....	9
	4.2- Essais géotechniques .....	13
<b>5-</b>	<b>CONCLUSIONS</b> .....	<b>20</b>

## Liste des figures

<i>Figure 1 - Représentation des limites d'Atterberg .....</i>	<i>6</i>
<i>Figure 2 - Représentation schématique de la cellule œdométrique .....</i>	<i>7</i>
<i>Figure 3 - SC4-7 Evolution du déplacement mesuré en fonction du temps (pression injection = 0.10MPa et pression de confinement = 0.33kN) .....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 4 - SC4-7 Augmentation de la force axiale - Détermination du potentiel de gonflement .....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 5 - SC4-7 Détermination du potentiel de gonflement .....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 6 - SC4-20 Evolution du déplacement mesuré en fonction du temps (pression injection = 0.16MPa et pression de confinement = 0.52kN) .....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 7 - SC4-20 Evolution de la force axiale .....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 8 - SC7-16 Evolution du déplacement mesuré en fonction du temps (pression injection = 0.45kN et pression de confinement = 1.50MPa) .....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 9 - SC7-16 Augmentation de la force axiale - Détermination du potentiel de gonflement ...</i>	<i>17</i>
<i>Figure 10 - SC7-16 Détermination du potentiel de gonflement .....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 11 - SC5-18 Evolution du déplacement mesuré en fonction du temps (pression injection = 0.25MPa et pression de confinement = 0.90kN) .....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 12 - SC5-18 Augmentation de la force axiale - Détermination du potentiel de gonflement .</i>	<i>18</i>
<i>Figure 13 - SC5-18 Détermination du potentiel de gonflement .....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 14 - SC6-17 Evolution du déplacement mesuré en fonction du temps (pression injection = 0.18MPa et pression de confinement = 0.70kN) .....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 15 - SC6-17 Augmentation de la force axiale - Détermination du potentiel de gonflement .</i>	<i>19</i>
<i>Figure 16 - SC6-17 Détermination du potentiel de gonflement .....</i>	<i>19</i>

## Liste des tableaux

<i>Tableau 1 - Identification des espèces minérales - Sondage SC4.....</i>	<i>9</i>
<i>Tableau 2 - Identification des espèces minérales - Sondage SC5 .....</i>	<i>10</i>
<i>Tableau 3 - Identification des espèces minérales - Sondage SC6 .....</i>	<i>11</i>
<i>Tableau 4 - Identification des espèces minérales - Sondage SC7 .....</i>	<i>12</i>
<i>Tableau 5 - Paramètres physiques - Sondage SC4.....</i>	<i>13</i>
<i>Tableau 6 - Paramètres physiques - Sondage SC5.....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 7 - Paramètres physiques - Sondage SC6.....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 8 - Paramètres physiques - Sondage SC6.....</i>	<i>15</i>
<i>Tableau 9 - Evolution de la phase anhydre avant et après essais œdométriques .....</i>	<i>20</i>

## 1- CADRE DE L'ETUDE

A la demande de GEODERIS « Demande de prestations pour la réalisation d'analyses minéralogiques et d'essais géotechniques sur des carottes issues de forages de Lochwiller (67) » référencé "CAHIER DES CHARGES E2015/025DIO - 15ALS21010" en date du 02/07/2015, l'ASGA-GeoRessources a réalisé :

- Analyses minéralogiques : détermination de la part volumique de chaque phase rencontrées ;
- Essais géotechniques : évaluation de la teneur en eau, de la masse volumique humide et sèche ; évaluation de la porosité ; évaluation des limites d'Atterberg, évaluation de la valeur au bleu de méthylène des phases argileuses ; essais œdométriques

Ce document présente la totalité des résultats minéralogiques, l'ensemble des paramètres physiques et les résultats des essais œdométriques.

## 2- PREPARATION DES ECHANTILLONS

Les analyses minéralogiques nécessitent deux types de préparation :

- la fabrication d'une lame mine pour réaliser un comptage des espèces minérales
- la fabrication d'une poudre et l'extraction de la fraction inférieure à 2 $\mu$ m afin de pouvoir réaliser des diffractions des rayons X (DRX). Cette technique permet : i) de déterminer la fraction argileuse et ii) de réaliser une détermination semi-quantitative des espèces minérales.

Les essais géotechniques (paramètres physiques, essais oedométriques) nécessitent la préparation d'une poudre et d'échantillons cylindriques d'un diamètre de 38mm et d'un élanement de 20mm.

## 3- CONDUITE DES MESURES ET DES ESSAIS

### 3.1- Analyses minéralogiques

La fabrication d'une lame mince permet d'identifier les différentes espèces minérales en lumière polarisée analysée (LPA) et en lumière polarisée non analysée (LPNA). La technique de comptage permet de quantifier les proportions de ces différentes espèces. Environ 600 points sont identifiés pour une surface de 30mm x 45mm. Ce comptage n'est possible qu'avec des matériaux présentant une cristallisation pluri-micrométrique. Dans le cas de matériaux marneux, le comptage s'avère difficile voire impossible à cause de la taille des différents constituants.

Pour la diffraction des rayons X, la technique est bien connue. Elle applique la loi de Bragg :  $2d \sin \theta = n \cdot \lambda$  où :  $\theta$  est l'angle de diffraction d'un rayonnement ;  $\lambda$  est la longueur d'onde émise par une anticathode ;  $d$  est la distance atomique entre deux plans d'un même cristal ;  $n$  est un numéro entier. La source anticathodique étant connue et les angles de diffraction mesurés, la distance atomique est obtenue par application de l'équation. La distance atomique ( $d$ ) ou interréculaire des cristaux est caractéristique de chaque minéral, ceci permet l'identification des différents minéraux. Pour la fraction argileuse, la position de la réflexion de base varie selon les minéraux argileux mais des minéraux différents peuvent présenter la même position de leur réflexion de base; la détermination des minéraux argileux est donc fondée sur l'étude combinée d'un diffractogramme réalisé sans traitement préalable, d'un diffractogramme réalisé après

## GEODERIS

saturation par l'éthylène-glycol, et par l'étude d'un diffractogramme réalisé après chauffage à 490°C pendant deux heures.

### 3.2- Essais géotechniques

#### *Identification physique :*

*Teneur en eau :*

La teneur en eau est mesurée par différence de masse d'un échantillon avant et après passage à l'étuve.

Elle est déterminée suivant la norme NF P 94-410-1 :

$$w = \frac{m_w}{m_d} \quad (1)$$

avec :

$$m_w = m_2 - m_3$$

$$m_d = m_3 - m_1$$

où :

$m_w$  est la masse d'eau ;

$m_d$  est la masse de matériau sec ;

$m_2$  est la masse de la prise d'essai et de son contenant avant le passage à l'étuve ;

$m_1$  est la masse du contenant ;

$m_3$  est la masse de la prise d'essai et de son contenant après le passage à l'étuve.

La teneur en eau est exprimée en pourcentage et l'intervalle est de 0,1. Pour que cette mesure soit valide, le conditionnement des sondages et des éprouvettes entre chaque manipulation doit être parfaitement étanche afin de conserver les conditions hydriques naturelles du matériau.

#### *Masses volumiques :*

Les masses volumiques sèches et naturelles sont déterminées sur un échantillon géométriquement « parfait » c'est-à-dire un cylindre ou un prisme. Dans le cas contraire, ces paramètres sont déterminés par pesée hydrostatique sur des morceaux. Pour la masse volumique des grains indispensable au calcul de la porosité, l'échantillon est sous forme de poudre : nous prélevons donc un échantillon représentatif de la zone étudiée.

Les procédures utilisées pour la détermination de ces paramètres sont les normes AFNOR NF P94-410-1 / -2.

#### *Porosité apparente :*

La porosité apparente est calculée à partir de la masse volumiques sèche et de la masse volumique des grains en fonction de la norme AFNOR NF P94-410-3. La taille des pores atteints avec cette mesure ne peut excéder quelques millimètres.

## GEODERIS

### Limites d'Atterberg :

On détermine les teneurs en eau pondérales correspondant à des états particuliers du matériau :

- limite de liquidité ( $w_L$ ) : teneur en eau du matériau remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.

- limite de plasticité ( $w_p$ ) : teneur en eau du matériau remanié au point de transition entre les états plastique et solide.

Il en est déduit l'**indice de plasticité** ( $I_p$ ) : différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice définit l'étendue du domaine plastique et il est utilisé avec la teneur en eau naturelle dans la détermination de l'**indice de consistance** ( $I_c$ ) : rapport défini par la formule :  $I_c = (w_L - w) / I_p$ , où  $w$  est la teneur en eau du matériau dans son état naturel et ne comportant pas d'éléments supérieurs à 400  $\mu\text{m}$ . N'oublions pas non plus qu'il peut être mesuré une limite de retrait ( $w_R$ ).

Les teneurs en eau sont exprimées en pourcentage, l'indice de plasticité est un nombre sans dimension.

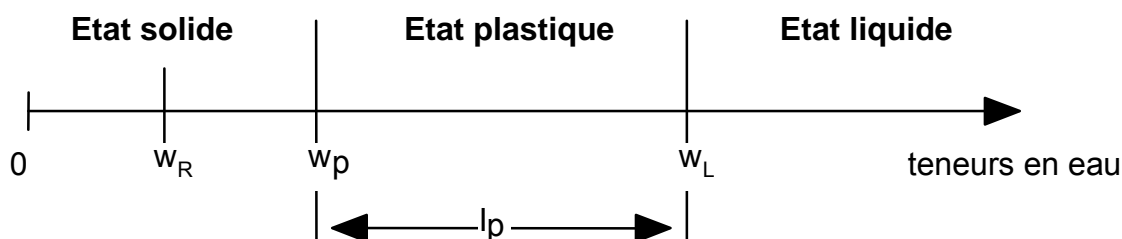


Figure 1 - Représentation des limites d'Atterberg

Cette procédure répond à la norme NF P95 0-51, elle est destinée à la détermination des deux limites d'Atterberg et s'applique aux matériaux dont les éléments passent à travers le tamis de dimension nominale d'ouverture de maille 400  $\mu\text{m}$ .

### Valeur au bleu de méthylène des phases argileuses :

L'essai consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur la prise d'essai. Cette valeur est rapportée par proportionnalité directe à la fraction 0/50 mm du matériau. La valeur de bleu est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le matériau, laquelle est avant tout régie par l'importance et l'activité des minéraux argileux présents dans la fraction fine.

Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu de méthylène et en contrôlant l'adsorption après chaque ajout. Pour ce faire, on prélève une goutte de la suspension que l'on dépose sur un papier filtre, ce qui provoque la création d'une tache. L'adsorption maximale est atteinte lorsqu'une auréole bleu clair persistante se produit à la périphérie de la tache.

Cette valeur est déterminée en suivant la norme NF P94-068.



## GEODERIS

### Caractérisation hydromécanique :

La réalisation d'essais œdométriques sur des échantillons de roches, et en particulier de roches peu perméables requiert un dispositif expérimental qui permet :

- 1 – d'assurer un ajustement du diamètre de l'échantillon, par rapport au diamètre interne de la cellule (déformation radiale nulle) et un effritement superficiel minimal de l'éprouvette lors de sa mise en place dans le corps de cellule indéformable,
- 2 – de maintenir une contrainte axiale stable au cours de chacun des paliers,
- 3 – de maintenir une pression interstitielle stable au cours de chacun des paliers,
- 4 – d'optimiser les conditions de drainage aux deux extrémités de l'éprouvette afin de limiter le temps d'essai,
- 5 – d'avoir une précision et une plage de mesure des déformations axiales adaptées au protocole fixé pour les phases de déchargement en contrainte axiale à pression interstitielle constante et les phases de chargement en pression interstitielle à contrainte axiale constante, et à la déformation maximale de l'éprouvette au cours de l'essai (déformation totale obtenue sous l'état de contrainte effective maximal).

Afin de faciliter l'introduction des éprouvettes dans les corps de cellule indéformable et pour limiter leur effritement superficiel, les bords des corps de cellule sont biseautés (Figure 2).

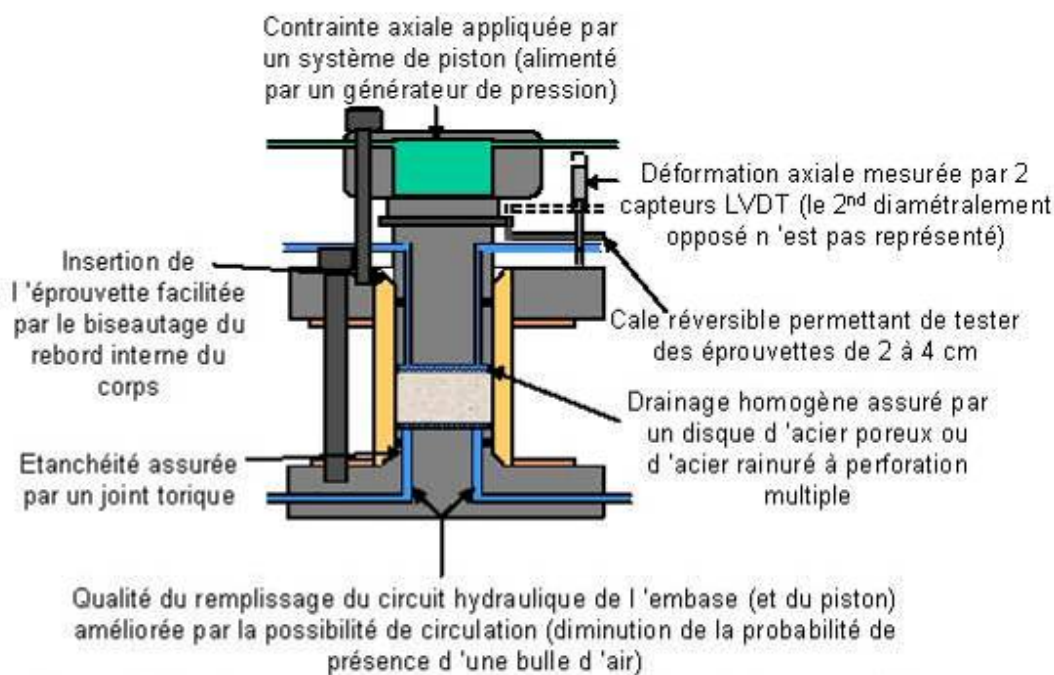


Figure 2 - Représentation schématique de la cellule œdométrique

De plus, pour obtenir un ajustement optimal entre le diamètre des éprouvettes et le diamètre interne des corps de cellules indéformables, les éprouvettes seront réalisées en trois étapes. Dans un premier temps, les éprouvettes seront carottées puis rectifiées, avec un carottier permettant d'obtenir des éprouvettes de diamètre supérieur à 38 mm (carottier diamanté permettant d'obtenir des éprouvettes d'un diamètre approximatif de 40 mm). Dans un second temps, un ajustement plus précis sera réalisé à l'aide de papier de verre afin d'obtenir un diamètre légèrement supérieur au diamètre interne des corps de cellules. Les éprouvettes seront ensuite introduites en force dans le corps de cellule à l'aide d'une presse. L'enfoncement sera réalisé manuellement (guidage de la presse en déplacement) à très faible vitesse. Une rotule est placée entre l'éprouvette et la presse afin de faciliter sa

## GEODERIS

mise en place dans le corps de cellule. Cette technique permet d'obtenir un effritement minimal des éprouvettes tout en assurant un bon ajustement du diamètre des éprouvettes avec le diamètre interne du corps de cellule.

Le protocole retenu est le suivant :

### *Potentiel de gonflement :*

On laisse se déformer axialement l'échantillon (les déplacements radiaux sont bloqués par l'anneau œdométrique) puis après stabilisation, on augmente la force axiale pour revenir à la hauteur initiale de l'échantillon.

a - Chargement axial équivalent à la profondeur de prélèvement - Attente de la stabilité en déplacement axial.

b - Injection en amont et aval du fluide avec une pression d'injection pouvant correspondre à celle in situ.

c - Enregistrement de l'augmentation du déplacement axial avec un capteur de déplacement ayant une sensibilité de 0,001mm. Attente de la stabilité du déplacement

d - Augmentation de la force pour retrouver la hauteur initiale de l'échantillon.

La difficulté de ces mesures est fortement liée à la nature hétérogène du matériau. Une attention particulière sera faite sur la représentativité entre l'analyse minéralogique et la pression de gonflement mesurée. Nous préconisons une seconde analyse minéralogique sur l'échantillon après l'essai œdométrique afin de vérifier l'évolution géochimique du matériau.

# GEODERIS

## 4- RESULTATS

### 4.1- Analyses minéralogiques

Les observations de lames minces complétées par des mesures de diffraction des rayons X ont permis d'identifier l'ensemble des espèces minérales. Les résultats sont présentés dans les tableaux 1 à 4. L'ensemble des photographies est en annexe 1.

Tableau 1 - Identification des espèces minérales - Sondage SC4

échantillons	SC4_1	SC4_3	SC4_6	SC4_12	SC4_13	SC4_14
commentaires	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
cotes	<b>1,25-1,35</b>	<b>7,80-7,95</b>	<b>10,40-10,60</b>	<b>14,30-14,40</b>	<b>17,50-17,60</b>	<b>18,80-18,90</b>
Illite	8,7	11,1	14,3	3,2	8,5	4,8
Smectites	22,6	22,1	26,2	8,2	1,4	3,6
Chlorite	3,5	3,7	7,1	1,3	2,0	0,8
Gypse	18,0	1,0	14,8	83,8	40,0	80,5
Anhydrite			5,0		1,1	4,9
Dolomite	21,9	22,1				
Calcite	23,0	31,7	25,1			
Magnesite				0,5	22,8	4,3
Quartz	0,9	8,2	7,4	3,1	21,6	1,1
Orthoclase						
Albite	1,4				2,6	
Pyrite						
Amarantite						

échantillons	SC4_15	SC4_16	SC4_17	SC4_18	SC4_19
commentaires	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
cotes	<b>20,80-21,00</b>	<b>22,90-23,00</b>	<b>36,15</b>	<b>39,55-39,70</b>	<b>41,50-41,70</b>
Illite	4,3	7,5	5,3	6,8	8,5
Smectites	3,2	2,8		15,0	10,8
Chlorite	0,7	2,0	0,9	5,4	1,9
Gypse	39,5	39,0	83,6	49,5	27,2
Anhydrite	4,3	0,9	4,8		35,0
Dolomite	45,5	5,1	5,4	10,0	5,0
Calcite					
Magnesite		21,7			
Quartz	2,5	20,9	0,1	13,3	6,8
Orthoclase					4,9
Albite		0,1			
Pyrite					
Amarantite					

## GEODERIS

Ces résultats suscitent plusieurs commentaires qui sont précisés ci-dessous :

- 1 Gypse granulaire en remplacement de clastes sédimentaires - Nodules gypseux
- 2 Microcristaux isolés dans la matrice - Nodules gypseux
- 3 Microcristaux et macrocristaux en forme de tablettes. Remplacement probable car la densité des cristaux suit les laminations sédimentaires. Les nodules sont constitués à 99% de gypse
- 4 Nodules formés de macrocristaux allongés + gypse microcristallin en remplacement de lamines sédimentaires
- 5 Nodules formés de macrocristaux. Fractures remplies de cristaux allongés déformés (croissance des cristaux pendant l'ouverture des fractures, "crack and seal").
- 6 Nodules cristallins
- 7 Nodules en croissance dans un sédiment laminé.
- 8 Lamines macrocristallines massives pouvant correspondre à des nodules amalgamés. Présence de structures "crack and seal"
- 9 Nodules macrocristallins montrant une frange externe microcristalline correspondant au remplacement du sédiment encaissant.
- 10 Gypse microcristallin en remplacement du sédiment. Possible aggradation des cristaux. Quelques "Crack and seal".
- 11 Seul exemple de possible gypse "primaire". Lamines de gypse microcristallin en forme de feuillets fins.

*Tableau 2 - Identification des espèces minérales - Sondage SC5*

échantillons	SC5_2	SC5_4	SC5_6	SC5_9	SC5_11	SC5_13	SC5_15
commentaires	12	13	14	15	16	17	18
cotes	6,90-7,10	11,05-11,20	17,70-17,90	19,30-19,45	23,30-23,40	29,80-29,90	32,70-32,80
Illite	16,2	7,4	10,7	1,8	2,5	5,2	15,5
Smectites	32,3	25,6	25,0		2,6	7,4	13,2
Chlorite	5,4	2,2	1,6	1,0	1,8	2,2	2,0
Gypse			1,2	84,5	83,2	2,3	32,9
Anhydrite	2,5	1,2	0,7		1,4	52,0	12,8
Dolomite	27,2	19,8	40,1	5,4	7,8	2,2	
Calcite	7,4	39,8	6,4				
Magnesite				2,7		16,8	
Quartz	7,0	2,5	8,1	4,5	0,7	11,8	14,3
Orthoclase			4,3				7,0
Albite		1,5	2,0				2,2
Pyrite	2,0						
Amarantite							

Les commentaires associés à ces résultats sont :

- 12 Cristaux automorphes : concentration de cristaux fins (100µm max) dans une lamines et des fractures sub-verticales, cristaux très fins (20µm) disséminés dans l'encaissant.
- 13 Très petits cristaux (silts) disséminés dans l'encaissant.
- 14 Un nodule de gypse (mosaïque cristalline) et très rares petits cristaux (silts)

## GEODERIS

disséminés dans l'encaissant.

- 15** Gypse sous plusieurs formes: microcristallin en remplacement de sédiment (peut-être d'anhydrite également), mosaïque cristalline dans les nodules, mosaïque cristalline dans les fractures horizontales
- 16** Macrocristaux en tablettes allongées et organisés en 2 directions apparentes. L'une parallèle aux laminations sédimentaires et l'autre app. à 90°.
- 17** Gypse en macrocristaux renfermant des inclusions d'anhydrite, en remplacement de l'anhydrite originelle. "Crack-and-seal" dans les fractures horizontales.
- 18** Gypse automorphe dans les fractures (rare "crack-and seal") et en remplacement plus diffus de l'anhydrite.

*Tableau 3 - Identification des espèces minérales - Sondage SC6*

échantillons	SC6_1	SC6_4	SC6_6	SC6_7	SC6_10	SC6_12	SC6_14
commentaires	19	20	21	22	23	24	25
cotes	3,60-3,70	10,40-10,50	17,30-17,40	21,90-22,00	24,90-25,10	29,90-30,10	31,80-31,90
Illite	5,6	11,8	7,3	9,4	4,2	6,4	12,2
Smectites	17,8	28,3	10,6	7,3	1,3	6,3	26,3
Chlorite	2,0	7,0	1,5	2,5	1,3	1,8	3,1
Gypse			64,3	50,9	11,4	13,0	22,7
Anhydrite		1,2			74,1	48,2	6,5
Dolomite	35,6	35,2	3,0	1,9	1,2	3,2	11,1
Calcite	37,7	9,1					
Magnesite			6,9	18,0	3,2	11,5	
Quartz	1,3	7,7	6,3	10,0	3,4	9,6	18,1
Orthoclase							
Albite							
Pyrite							
Amarantite							

Les commentaires sont précisés ci-dessous :

- 19** Gypse dans de nombreuses petites fractures.
- 20** Gypse macrocristallin dans petits nodules et fines fractures verticales.
- 21** Gypse macrocristallin dans petits nodules et fractures horizontales. Gypse microcristallin en remplacement d'anhydrite fibreuse dans la majeure partie de la lame. Pas d'inclusions d'anhydrite dans les fractures.
- 22** Gypse macrocristallin dans les fractures (quelques "crack-and-seal"), et en flammes se développant en remplacement du sédiment et d'anhydrite fibreuse.
- 23** Gypse macrocristallin dans les fractures ("crack-and-seal"), et plus rarement dans des nodules avec inclusions d'anhydrite. Egalement en remplacement très incomplet d'anhydrite.
- 24** Gypse dans de nombreuses petites fractures ("crack-and-seal").
- 25** Gypse macrocristallin en "crack-and-seal" dans fractures fines principalement horizontales, et en remplacement de sédiment et peut-être d'anhydrite.

## GEODERIS

*Tableau 4 - Identification des espèces minérales - Sondage SC7*

échantillons	SC7_1	SC7_2	SC7_3	SC7_4	SC7_5	SC7_6	SC7_7	SC7_8
commentaires	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>32</b>	<b>33</b>
cotes	<b>12,80-12,90</b>	<b>26,25-26,40</b>	<b>34,70-34,85</b>	<b>39,20-39,35</b>	<b>41,05-41,25</b>	<b>42,95-43,10</b>	<b>44,95-45,10</b>	<b>45,80-45,88</b>
Illite	4,5	21,0	11,1	10,3	12,2	6,8	4,8	9,3
Smectites	2,4	27,0	27,2	13,3	14,1	4,1	8,9	8,2
Chlorite	1,2	12,0	2,2	2,1	3,1	1,3	2,4	1,7
Gypse		4,3		25,7	37,5	66,0	17,0	24,6
Anhydrite	2,7	3,8	2,6	2,9		12,7	28,9	13,6
Dolomite		7,7	6,4	3,2	12,0		15,4	19,4
Calcite	43,1	13,8	20,9					
Magnesite				5,0	3,5	4,0	2,2	14,7
Quartz	46,0	10,5	27,4	29,5	17,6	5,1	18,9	7,5
Orthoclase				5,8				
Albite			2,2	2,2			1,5	
Pyrite								
Amarantite								1,0

Ces résultats suscitent plusieurs commentaires qui sont précisés ci-dessous :

- 26** Inclusions d'anhydrite dans les cristaux de gypse des nodules. Possible anhydrite résiduelle.
- 27** Rare gypse macrocristallin formant de petits nodules.
- 28** Gypse macrocristallin dans nodules avec inclusions d'anhydrite. Possibles petits cristaux disséminés dans sédiments et fractures.
- 29** Gypse macrocristallin dans fractures ("crack-and-seal") et plus microcristallin en possible remplacement d'anhydrite, avec inclusions de sédiment résiduel.
- 30** Gypse majoritairement macrocristallin dans fractures ("crack-and-seal") et nodules en remplacement d'anhydrite (bel exemple). Rarement microcristallin et possible remplacement d'anhydrite
- 31** Gypse macro-et microcristallin dans nodules en remplacement d'anhydrite. Plus rare gypse macrocristallin dans fines fractures horizontales ("crack-and-seal").
- 32** Gypse majoritairement macrocristallin dans fractures horizontales et sub-verticales ("crack-and-seal") en cristaux très fins allongés. Plus rarement en remplacement d'anhydrite dans nodules.
- 33** Gypse macrocristallin dans fractures horizontales ("crack-and-seal") et plus rarement en macrocristaux remplaçant très partiellement l'anhydrite.

Les analyses initiales en DRX avaient mis en évidence une proportion de bassanite. Or, il s'est avéré que les échantillons sous forme de poudre avant l'analyse en DRX avait été mis dans une étuve à 80°C pendant 24h00. La conséquence de cette manipulation a été de déshydrater une partie du gypse contenu dans l'échantillon. Des contre-analyses faites sur les mêmes échantillons sans ce passage à l'étuve n'ont pas révélées la présence d'hémihydrate, seul du gypse et de l'anhydrite ont été quantifiés (en plus des autres espèces minérales).

Dans presque toutes les lames, les nodules semblent clairement croître dans un sédiment laminé argileux, peut-être calcitique/dolomitique par endroit, et peuvent déplacer les laminations, ce qui montre une croissance secondaire, post-dépôt. Le gypse peut également remplacer le sédiment existant, ce qui semble évident dans SC4-1. Toutefois,

## GEODERIS

dans les nodules il est probable qu'il soit précoce. Il montre une forme cristalline granulaire et en tablettes, voire rarement fibreuse. La lame SC4-19 est la seule qui montre une forme de gypse qui pourrait être syn-sédimentaire, avec une biréfringence dans des couleurs d'ordre supérieur. Les cristaux plus fins allongés sont localisés dans des lamines, non des nodules. Dans les fractures, le gypse est plus tardif. Les formes en « crack and seal » montrent une croissance pendant l'écartement des épontes des joints.

En résumé, il faut retenir que les nodules et lamines sont précoces. Ils sont probablement tous initialement en anhydrite mais beaucoup sont remplacées par du gypse. Des inclusions d'anhydrite sont également visibles dans le gypse des nodules.

### 4.2- Essais géotechniques

#### *Identification physique :*

L'ensemble des résultats est présenté dans les tableaux 5 à 8. La signification des symboles dans ces tableaux est la suivante :

$\rho_h$  ;  $\rho_d$  et  $\rho_s$  : masses volumiques "naturelle", sèche et des grains

W : teneur en eau "naturelle"

n : porosité calculée

Sr : degré de saturation

Atterberg : limite d'Atterberg avec WI = limite de liquidité, Wp = limite de plasticité, Ip = indice de plasticité, Ic = Indice de consistance

V.B.S. : valeur au bleu de méthylène

Les différents bordereaux de mesures pour les limites d'Atterberg et les valeurs au bleu de méthylène sont respectivement en annexe 2 et 3.

*Tableau 5 - Paramètres physiques - Sondage SC4*

sondage SC4	Profondeurs	$\rho_h$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	W (%)	n (%)	Sr (%)	Atterberg (WI / Wp / Ip / Ic)	V.B.S
SC4-1	1,25-1,35	2,00	1,70		17,7				
SC4-2	3,40-3,60	1,90	1,50	2,67	24,3	43,8	83,3	39 / 32 / 7 / 2,1	3,74
SC4-4	7,50-7,60	1,90	1,50	2,62	23,1	42,7	81,2	38 / 32 / 6 / 2,5	3,36
SC4-3	7,80-7,95								
SC4-7	9,65-9,80								
SC4-5	10,00-10,10	2,10	1,80	2,44	12,7	26,2	87,3		
SC4-6	10,40-10,60								
SC4-12	14,30-14,40								
SC4-20	14,80-15,00								
SC4-13	17,50-17,60								
SC4-8	17,80-17,90	2,20	2,00	2,56	9,3	21,9	85,2		
SC4-14	18,80-18,90								
SC4-15	20,80-21,00								
SC4-9	21,00-21,10	2,30	2,00		10,1				
SC4-16	22,90-23,00								
SC4-10	28,80-28,90	2,30	2,10	2,60	7,9	19,2	86,4		
SC4-17	36,15								
SC4-11	39,55-39,65	2,30	2,00	2,60	9,8	23,1	85,1		
SC4-18	39,55-39,70								
SC4-19	41,50-41,70								

## GEODERIS

*Tableau 6 - Paramètres physiques - Sondage SC5*

sondage SC5	Profondeurs	$\rho_h$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	W (%)	n (%)	Sr (%)	Atterberg (WI / Wp / Ip / Ic)	V.B.S
SC5-1	3,80-4,00	2,00	1,70	2,71	21,1	37,3	96,4	39 / 31 / 8 / 3,1	2,50
SC5-2	6,90-7,10								
SC5-3	7,10-7,25	2,20	1,90		15,7				2,13
SC5-5	10,90-11,05	2,00	1,80	2,69	17,1	33,1	93,2		
SC5-4	11,05-11,20								
SC5-6	17,70-17,90								
SC5-7	17,90-18,05	2,20	1,90		14,2				
SC5-9	19,30-19,45								
SC5-10	19,45-19,55	2,20	1,90	2,72	15,3	30,1	96,6		
SC5-8	20,30-20,50								
SC5-11	23,30-23,40								
SC5-12	23,50-23,60	2,30	2,10		7,1				
SC5-13	29,80-29,90								
SC5-14	30,10-30,20	2,50	2,50	2,81	4,2	11,0	95,4		
SC5-15	32,70-32,80								

*Tableau 7 - Paramètres physiques - Sondage SC6*

sondage SC6	Profondeurs	$\rho_h$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	W (%)	n (%)	Sr (%)	Atterberg (WI / Wp / Ip / Ic)	V.B.S
SC6-1	3,60-3,70								
SC6-2	6,30-6,45	2	1,80	2,67	15,5	32,6	85,8	43 / 36 / 7 / 3,8	2,73
SC6-3	9,20-9,40	2,2	2,00	2,70	11,5	25,9	88,9		
SC6-4	10,40-10,50								
SC6-6	17,30-17,40								
SC6-5	17,85-18,00	2,2	1,90	2,71	13,8	29,9	87,9		1,62
SC6-8	21,50-21,70								
SC6-7	21,90-22,00								
SC6-9	22,20-22,30	2	1,80	2,50	13,1	28,0	84,4		
SC6-11	24,50-24,60	2,4	2,20		9,1				
SC6-10	24,90-25,10								
SC6-12	29,90-30,10								
SC6-13	30,30-30,40	2,6	2,50		4,2				
SC6-15	31,70-31,80								
SC6-14	31,80-31,90								
SC6-16	32,60-32,70								



## GEODERIS

*Tableau 8 - Paramètres physiques - Sondage SC6*

sondage SC7	Profondeurs	$\rho_h$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	W (%)	n (%)	Sr (%)	Atterberg (WI / Wp / Ip / Ic)	V.B.S
SC7-1	12,80-12,9								
SC7-2	26,25-26,40								
SC7-3	34,70-34,85								
SC7-4	39,20-39,35								
SC7-5	41,05-41,25								
SC7-6	42,95-43,10								
SC7-7	44,95-45,10								
SC7-8	45,80-45,88								
SC7-9	10,00-10,12	2,1	1,80		16,7			34 / 29 / 5 / 3,7	
SC7-10	17,70-17,90	2,1	1,80	2,66	16,4	32,3	91,5		
SC7-11	27,05-27,20	2,2	1,90		13,6				1,75
SC7-12	31,90-32,10	2,2	1,90	2,70	15	29,6	96,4		
SC7-13	36,10-36,25	2,1	1,90		15,6				1,32
SC7-14	40,00-40,20	2,3	2,20	2,50	5,1	12,0	93,7		
SC7-15	46,75-46,90	2,3	2,40	2,73	4,8	12,1	95,5		
SC7-16	44,50-44,70								

### **Caractérisation hydromécanique :**

Les conditions expérimentales des essais avec les échantillons SC4-7, SC4-20, SC7-16, SC5-18 et SC6-17 sont précisées sur les figures 3 à 16 qui représentent un gonflement ou un retrait de l'échantillon en fonction du temps. L'eau injectée dans les échantillons est une eau de site fournie par GEODERIS.

Des analyses minéralogiques ont été réalisées sur des morceaux prélevés à proximité immédiate des échantillons (Tableau 9). Les mêmes analyses ont été réalisées après les essais hydromécaniques afin de mettre en évidence une évolution minéralogique de la phase anhydre. L'intérêt de ces analyses est de pouvoir regarder l'influence des teneurs en évaporites sur le comportement hydromécanique.

### *Echantillon SC4-7 :*

Après une période d'environ 42 jours de retrait, l'échantillon SC4-7 (Figure 3) présente une phase de gonflement qui semble s'amortir vers le 90<sup>ième</sup> jour. En effet, nous pouvons observer une stabilité du déplacement mesuré (Figure 3).

Au 122<sup>ième</sup> jour, un potentiel de gonflement a été déterminé en augmentant la force axiale jusqu'à retrouver un déplacement nul (Figure 4). En terme de contrainte, le potentiel de gonflement a été estimé à 1.40MPa (Figure 5).

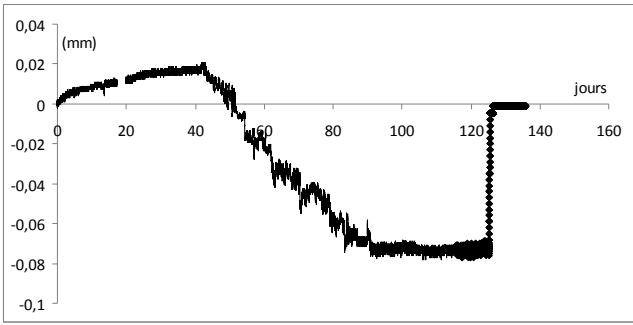


Figure 3 - SC4-7 Evolution du déplacement mesuré en fonction du temps (pression injection = 0.10MPa et pression de confinement = 0.33kN)

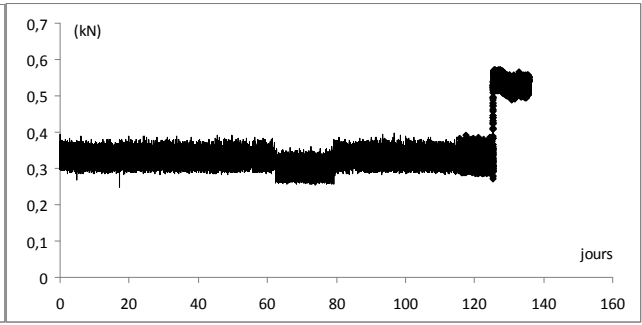


Figure 4 - SC4-7 Augmentation de la force axiale - Détermination du potentiel de gonflement

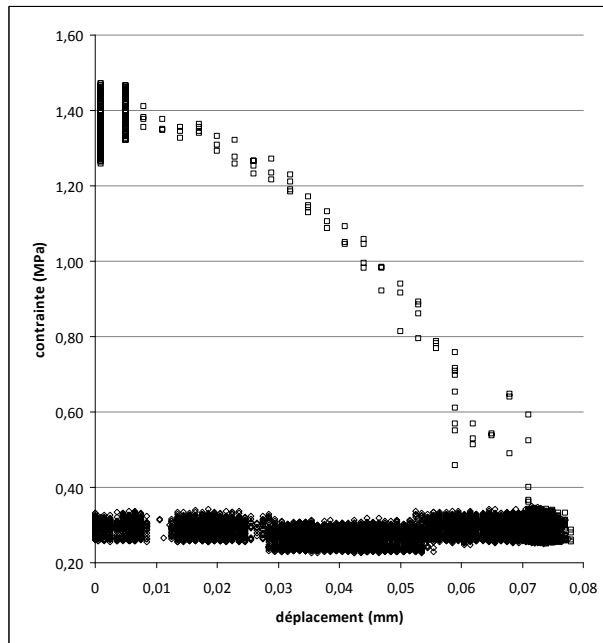


Figure 5 - SC4-7 Détermination du potentiel de gonflement

Echantillon SC4-20 :

Pour l'échantillon SC4-20 (Figures 6 et 7), nous avons pu observer un début de gonflement après 42 jours de retrait, cependant ce gonflement s'est arrêté très rapidement et depuis les mesures de déplacement étant stables, nous ne pouvons plus y associer de retrait ou de gonflement. Il semblerait donc que cet échantillon n'est pas de potentiel de gonflement.

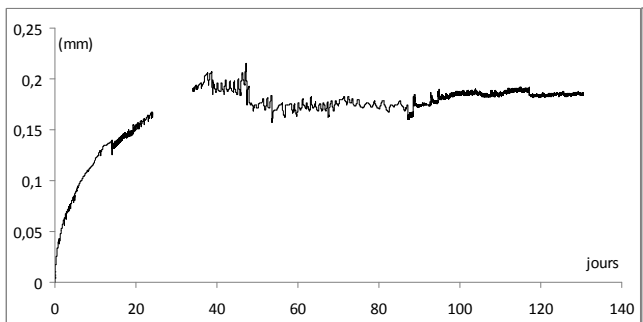


Figure 6 - SC4-20 Evolution du déplacement mesuré en fonction du temps (pression injection = 0.16MPa et pression de confinement = 0.52kN)

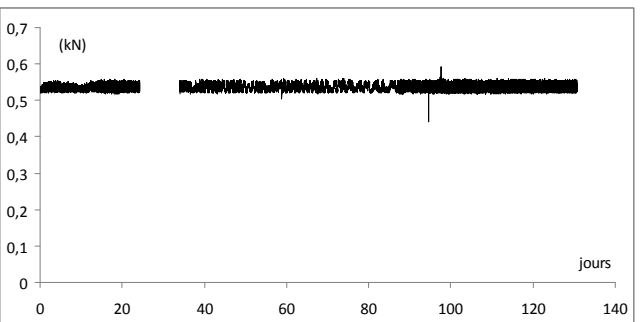
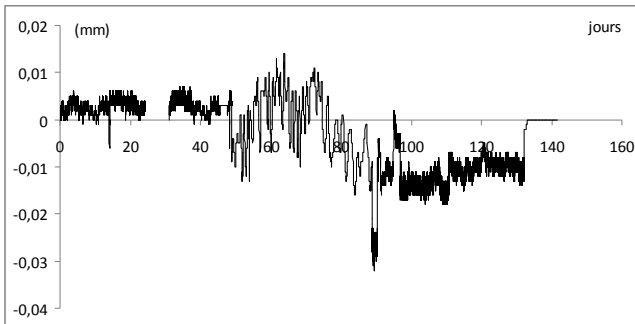


Figure 7 - SC4-20 Evolution de la force axiale

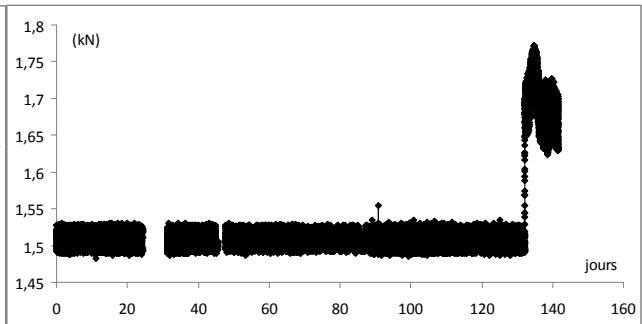
*Echantillon SC7-16 :*

Pour l'échantillon SC7-16 (Figure 8), les déplacements mesurés sont très peu importants. Nous mesurons des oscillations de quelques microns. Nous sommes par conséquent à la limite de détection par rapport à la sensibilité des capteurs de déplacement. Néanmoins, à partir du 80<sup>ième</sup> jour, nous pouvons observer une tendance à un gonflement qui reste peu marquée. En effet, nous avons enregistré un déplacement de -17 microns sur une période de 20 jours environ.

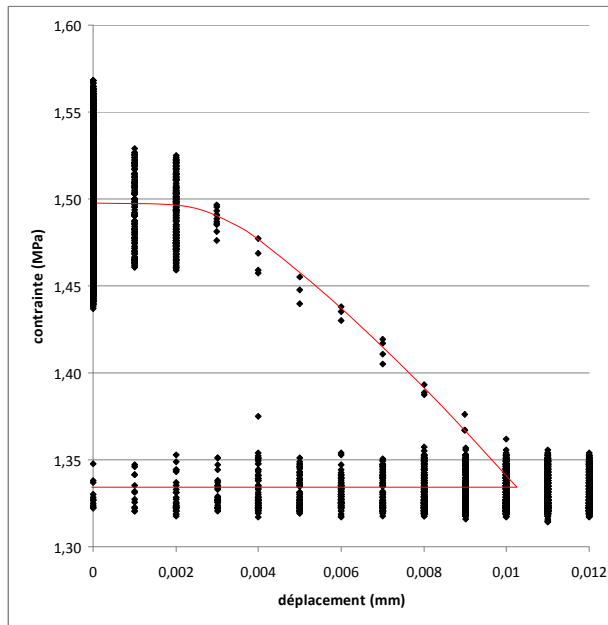
Au 132<sup>ième</sup> jour, un potentiel de gonflement a été déterminé en augmentant la force axiale jusqu'à retrouver un déplacement nul (Figure 9). En terme de contrainte, le potentiel de gonflement a été estimé à 1.49MPa (Figure 10).



*Figure 8 - SC7-16 Evolution du déplacement mesuré en fonction du temps (pression injection = 0.45kN et pression de confinement = 1.50MPa)*



*Figure 9 - SC7-16 Augmentation de la force axiale - Détermination du potentiel de gonflement*



*Figure 10 - SC7-16 Détermination du potentiel de gonflement*

## GEODERIS

### Echantillon SC5-18 :

A partir du 58<sup>ième</sup> jour (Figure 11), l'échantillon présente une phase de gonflement rapide qui s'amortit vers le 70<sup>ième</sup> jour. Jusqu'au 98<sup>ième</sup> jour, le déplacement est stabilisé.

Au 99<sup>ième</sup> jour, un potentiel de gonflement a été déterminé en augmentant la force axiale jusqu'à retrouver un déplacement nul (Figure 12). En terme de contrainte, le potentiel de gonflement a été estimé à 1.13MPa (Figure 13).

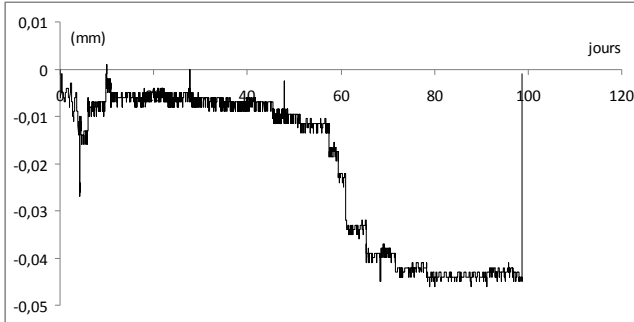


Figure 11 - SC5-18 Evolution du déplacement mesuré en fonction du temps (pression injection = 0.25MPa et pression de confinement = 0.90kN)

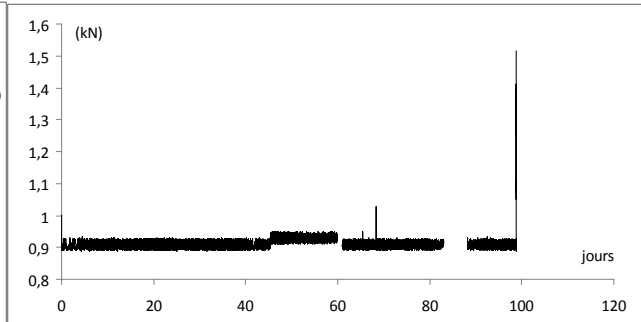


Figure 12 - SC5-18 Augmentation de la force axiale - Détermination du potentiel de gonflement

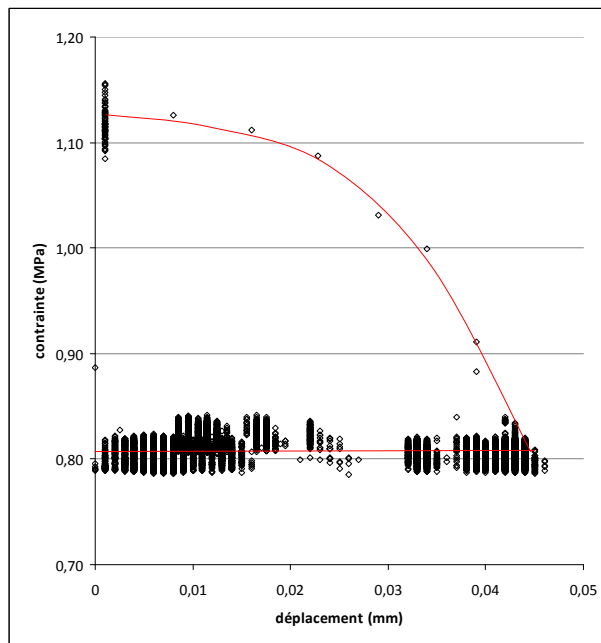


Figure 13 - SC5-18 Détermination du potentiel de gonflement

### Echantillon SC6-17 :

Pour l'échantillon SC6-17 (Figure 14), nous avons observé un déplacement négatif dès la mise en place de l'essai. Cette phase précoce de gonflement est peu probable : nous attribuons plutôt ce comportement à une phase d'équilibre de l'échantillon dans la cellule c'est-à-dire à une reprise des jeux mécaniques lors du montage de la cellule œdométrique. La phase de gonflement semble plutôt commencer au 50<sup>ième</sup> jour. Le potentiel de gonflement a été déterminé au 100<sup>ième</sup> jour à 1.50MPa (Figures 15 et 16).

# GEODERIS

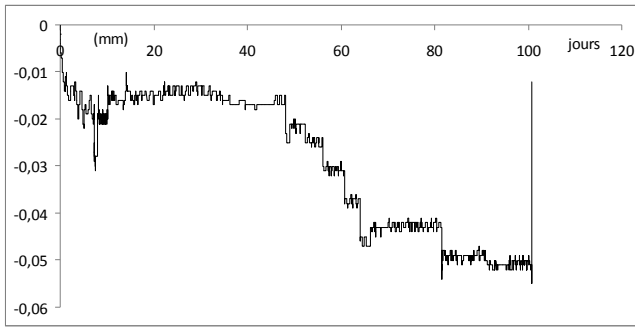


Figure 14 - SC6-17 Evolution du déplacement mesuré en fonction du temps (pression injection = 0.18MPa et pression de confinement = 0.70kN)

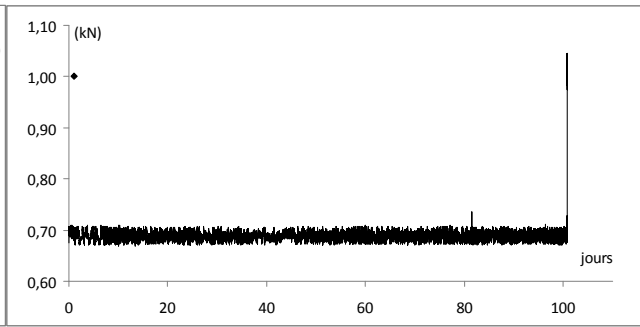


Figure 15 - SC6-17 Augmentation de la force axiale - Détermination du potentiel de gonflement

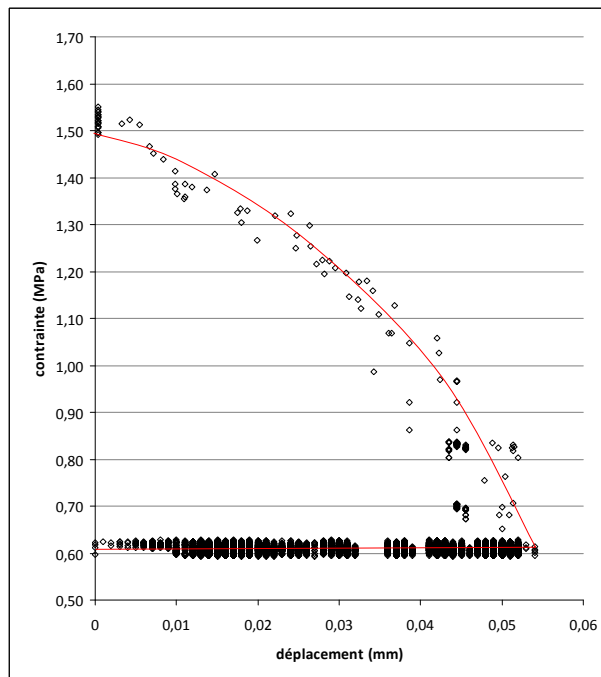


Figure 16 - SC6-17 Détermination du potentiel de gonflement

## GEODERIS

### 5- CONCLUSIONS

Le potentiel de gonflement mesuré pour les 5 échantillons testés oscille entre 1,13 et 1,50MPa.

Les analyses minéralogiques réalisées avant et après essais oedométriques (Tableau 9) semblent montrer une hydratation de l'anhydrite. La quantité restante de minéraux non hydratés après essai est probablement due au temps insuffisamment long malgré des durées d'essais importantes. Cela sous-entend que la cinétique d'hydratation est très lente et que les pressions de gonflement maximales n'ont pas été atteintes. Il ne faut pas exclure le gonflement potentiel de la phase argileuse contenu dans les différents échantillons.

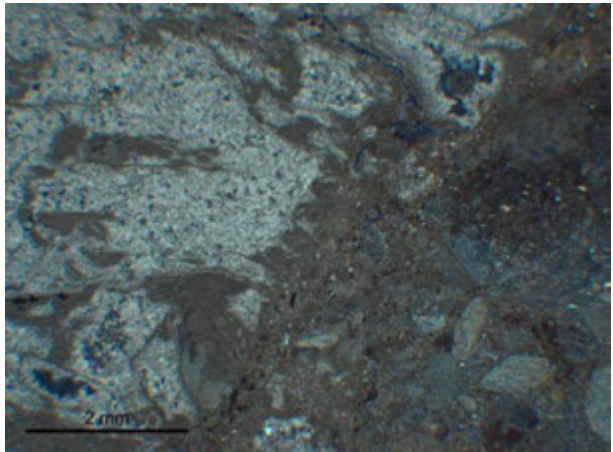
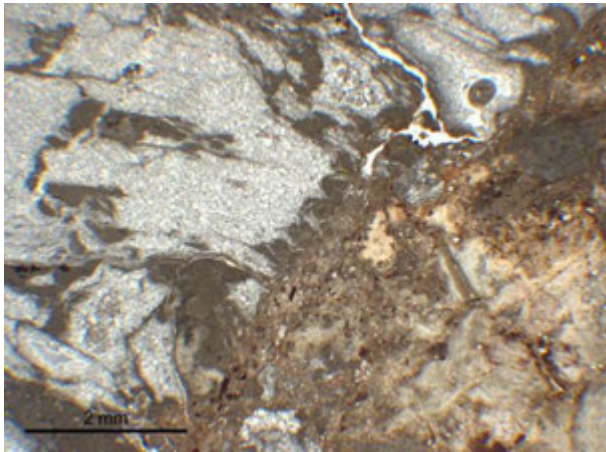
*Tableau 9 - Evolution de la phase anhydre avant et après essais œdométriques*

échantillons	SC4_7 avant	SC4_7 après	SC4_20 avant	SC4_20 après	SC5_18avant	SC5_18après	SC6_17avant	SC6_17après	SC7_16avant	SC7_16après
cotes	9,65-9,80		14,80-15,00		25,95-26,10		20,00-20,10		44,5-44,70	
Illite	6,8		6,9		7,0		3,0		5,4	
Smectites	9,1		2,1		10,0		2,0		7,5	
Chlorite	0,1		2,0				2,0		0,8	
Gypse	34,9	40,1	31,0	31,1	52,0	54,2	85,0	85,0	15,0	16,4
Anhydrite	25,0	19,8	0,9	0,8	18,0	15,8			46,9	45,5
Dolomite	15,0		8,1		4,0		1,0		1,7	
Calcite			12,0							
Magnesite			19,4		6,0		3,0		14,0	
Quartz	5,9		15,0		3,0		4,0		8,7	
Orthoclase	3,2									
Albite			2,6							
Pyrite										
Amarantite										
Potentiel de gonflement G (MPa)		1,40		nd		1,13		1,50		1,50

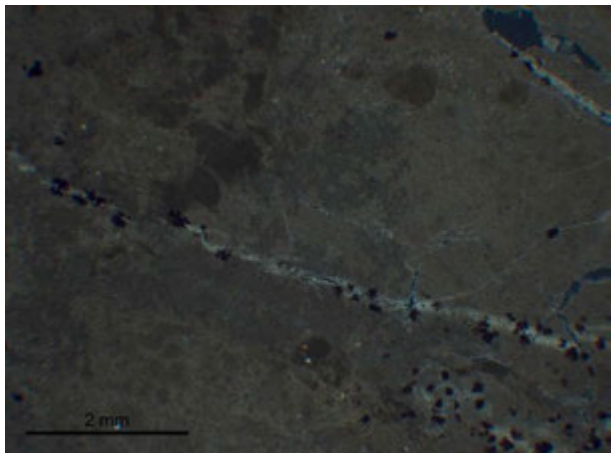
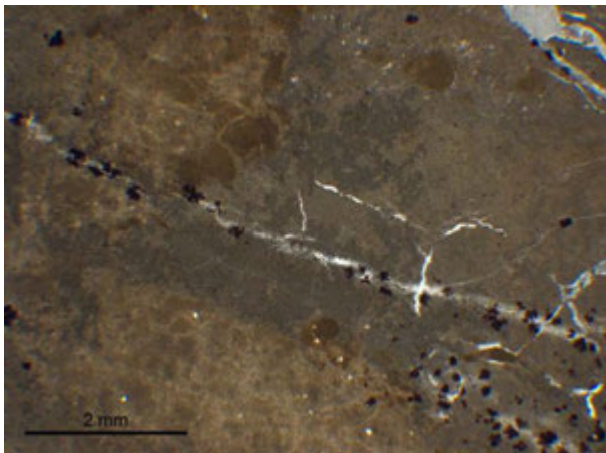
# **Annexe 1**

## **Photographies au microscope optique**

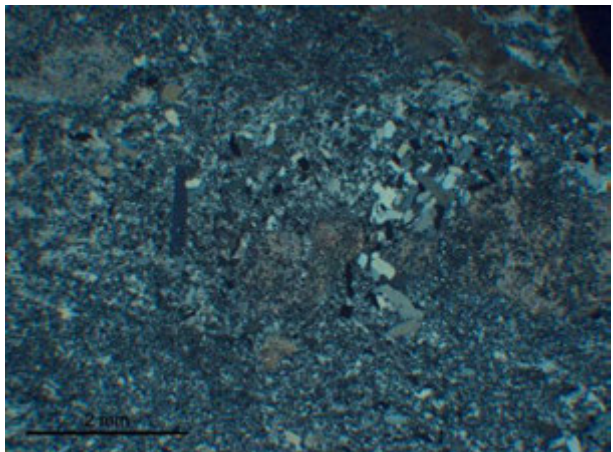
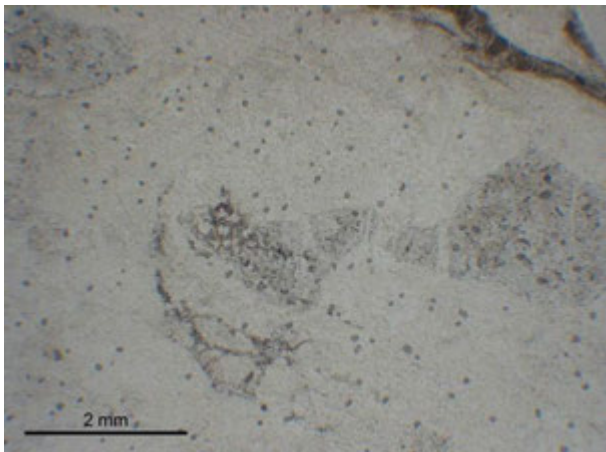
**GEODERIS**



**SC4-01 (LPA / LPNA)**



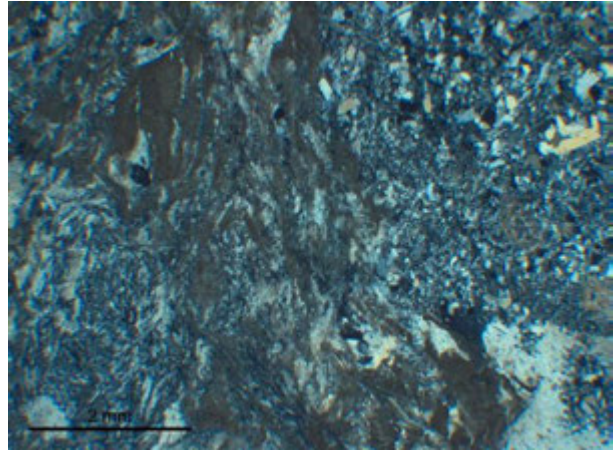
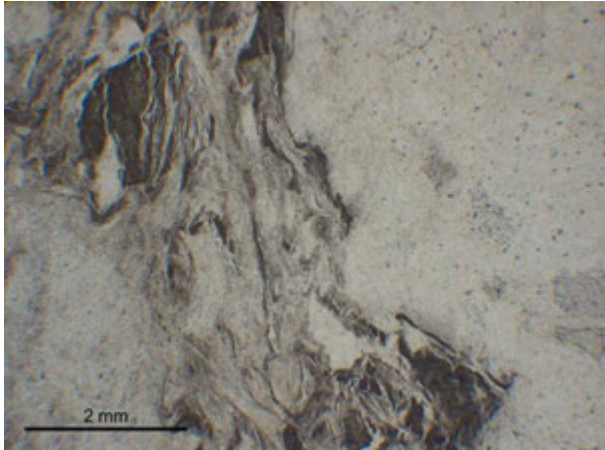
**SC4-03 (LPA / LPNA)**



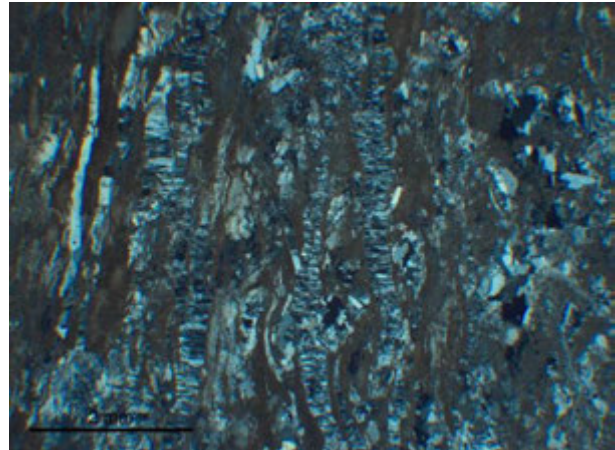
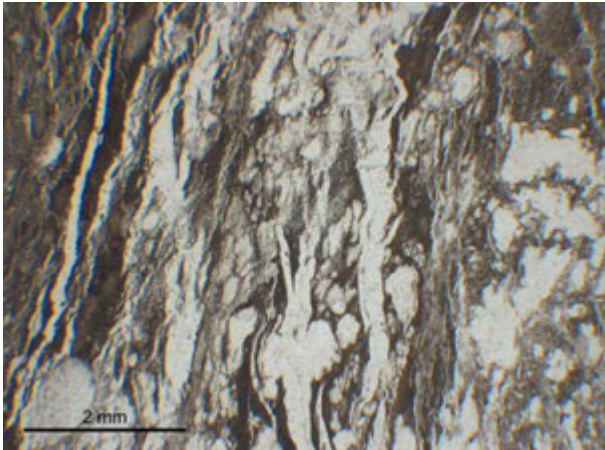
**SC4-06 (LPA / LPNA)**



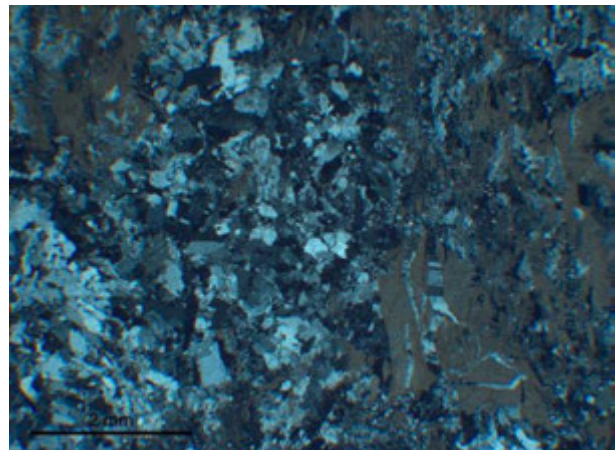
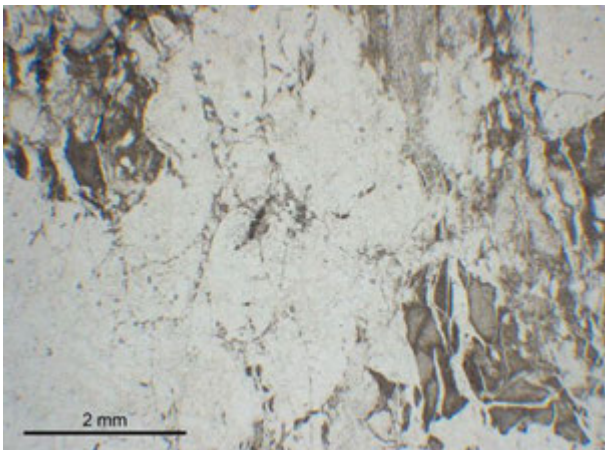
**GEODERIS**



**SC4-12 (LPA / LPNA)**

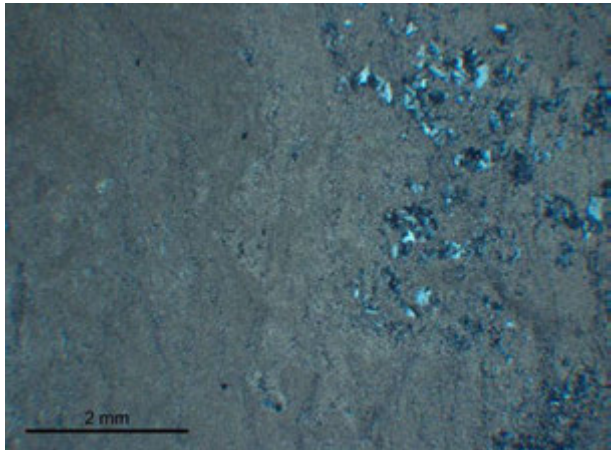
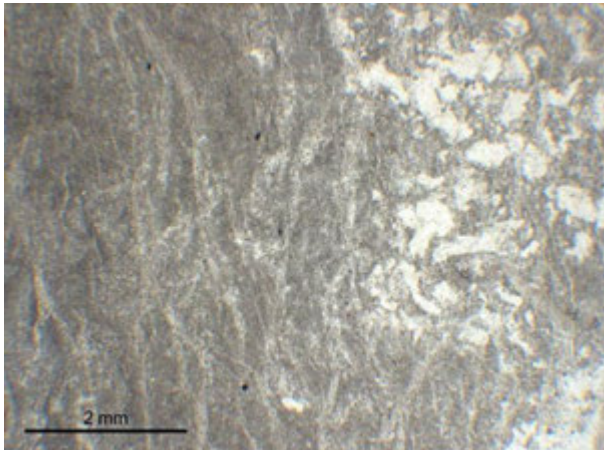


**SC4-13 (LPA / LPNA)**

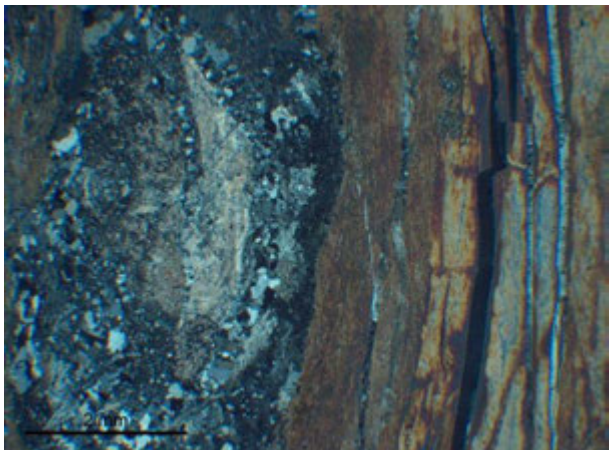
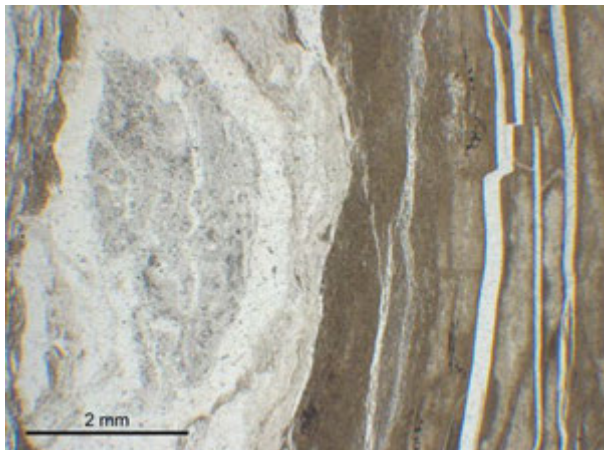


**SC4-14 (LPA / LPNA)**

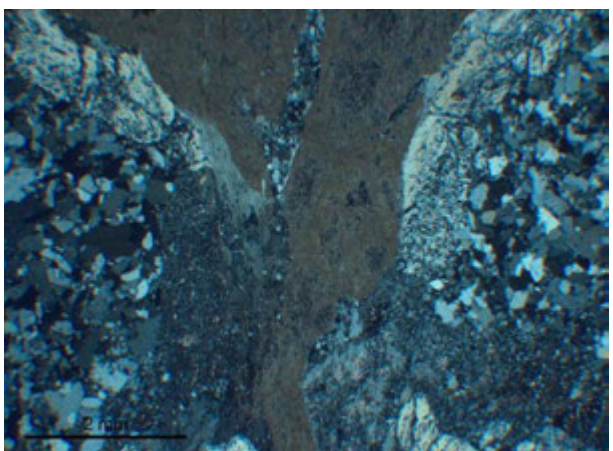
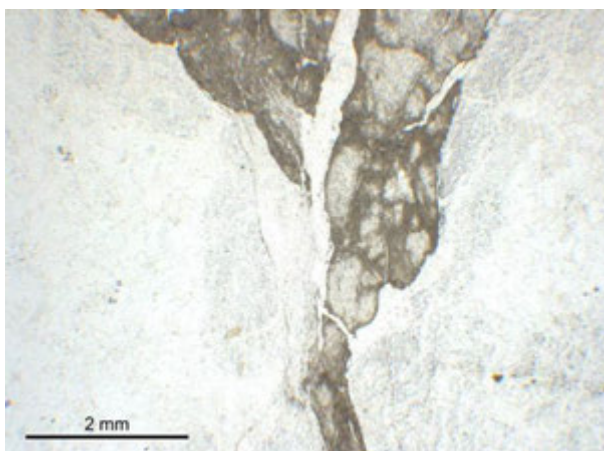
**GEODERIS**



**SC4-15 (LPA / LPNA)**

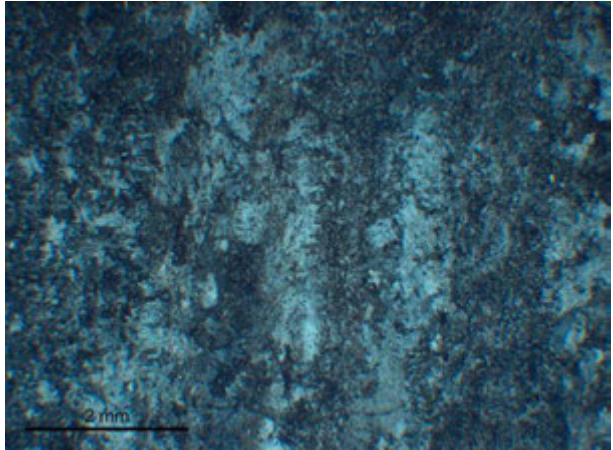
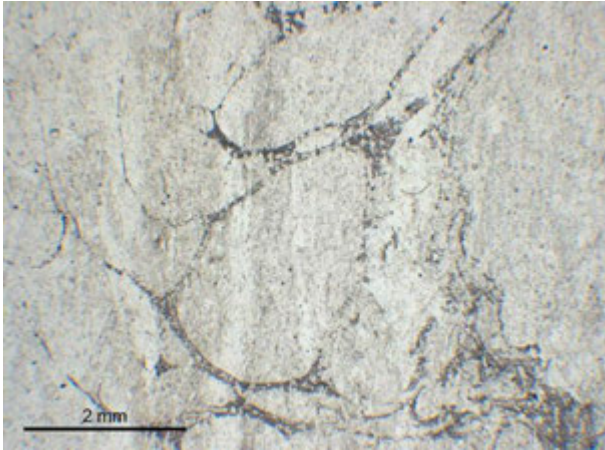


**SC4-16 (LPA / LPNA)**

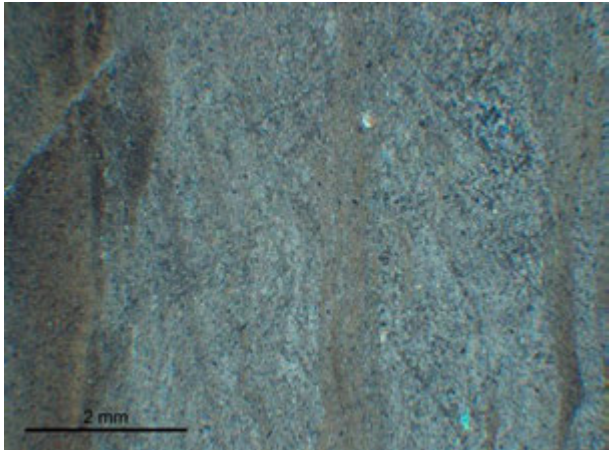
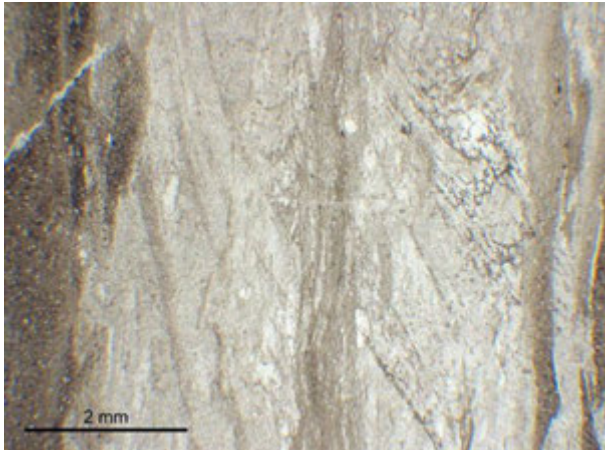


**SC4-17 (LPA / LPNA)**

**GEODERIS**

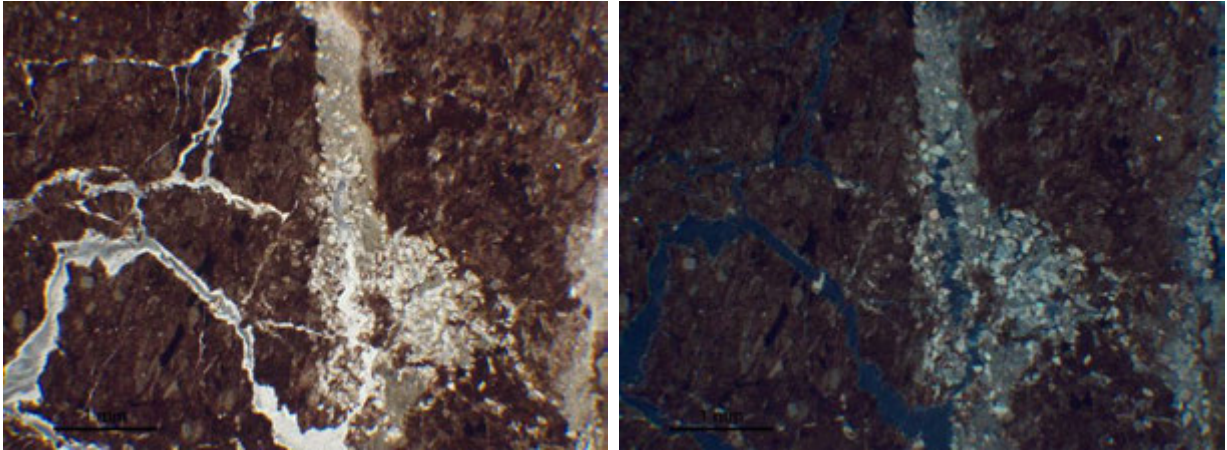


**SC4-18 (LPA / LPNA)**

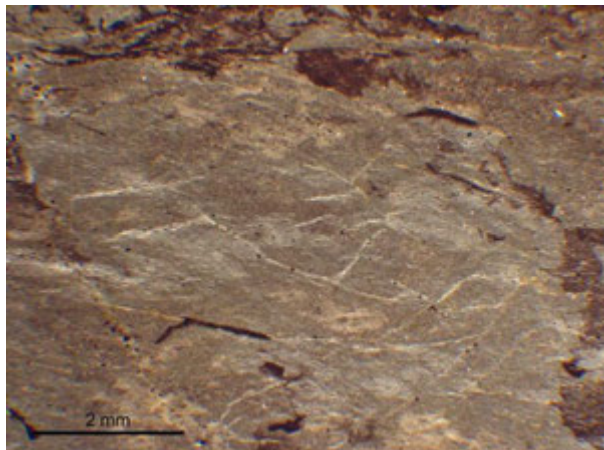


**SC4-19 (LPA / LPNA)**

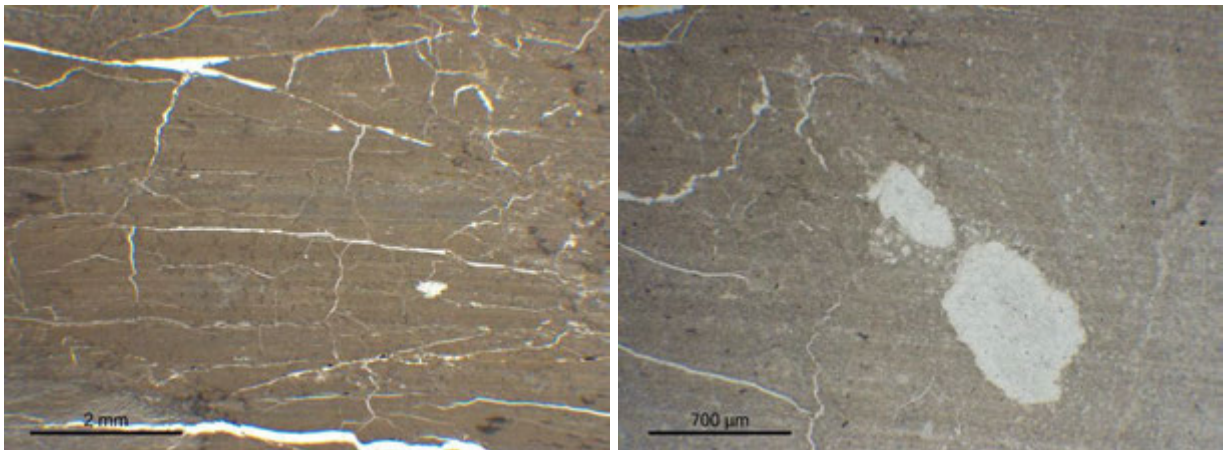
**GEODERIS**



**SC5-2 (LPA / LPNA)**

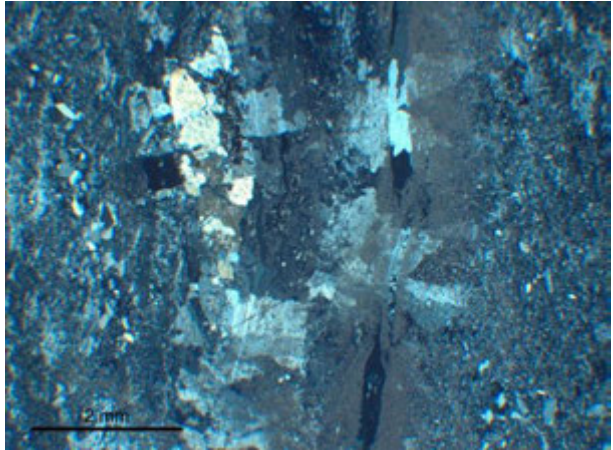
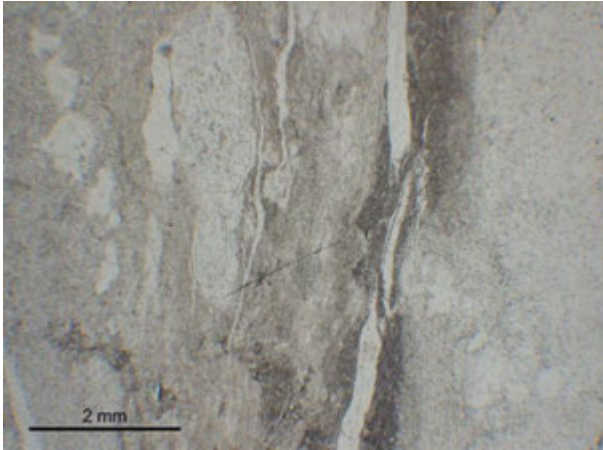


**SC5-4 (LPA)**

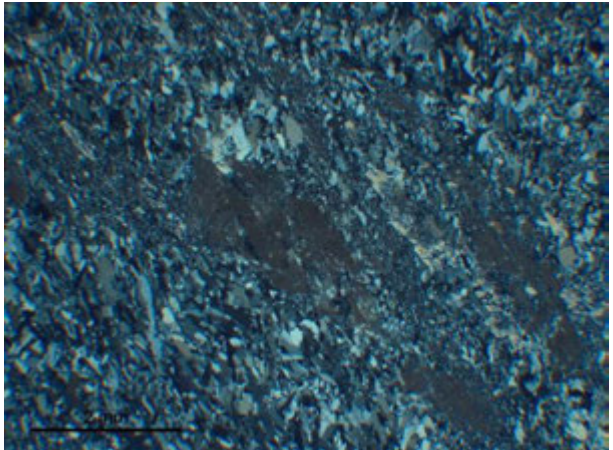
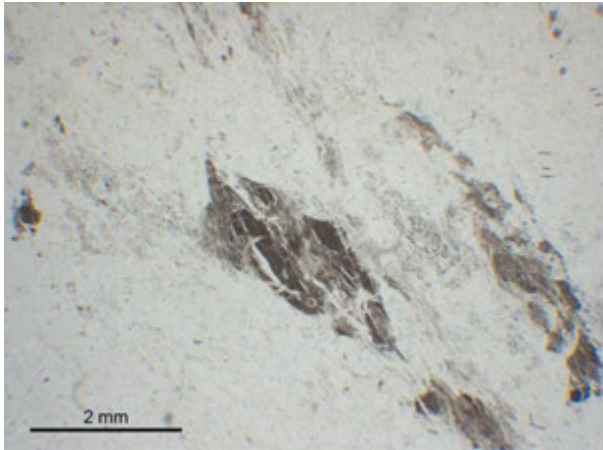


**SC5-6 (LPA)**

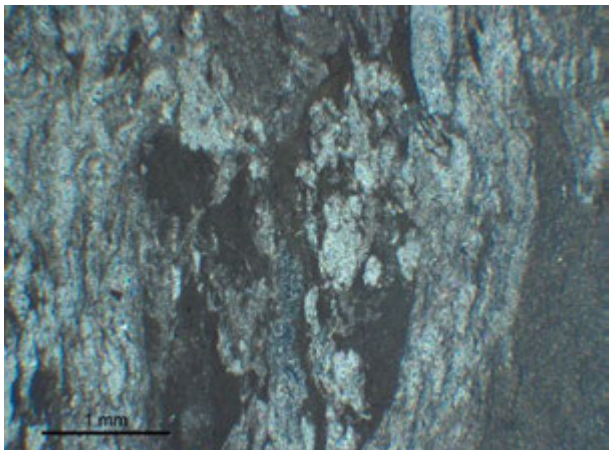
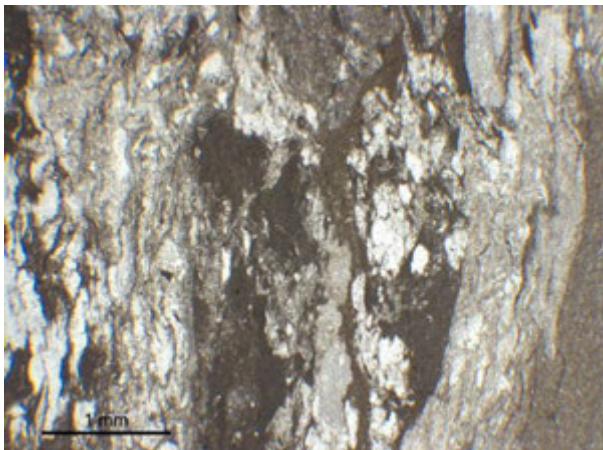
**GEODERIS**



**SC5-9 (LPA / LPNA)**

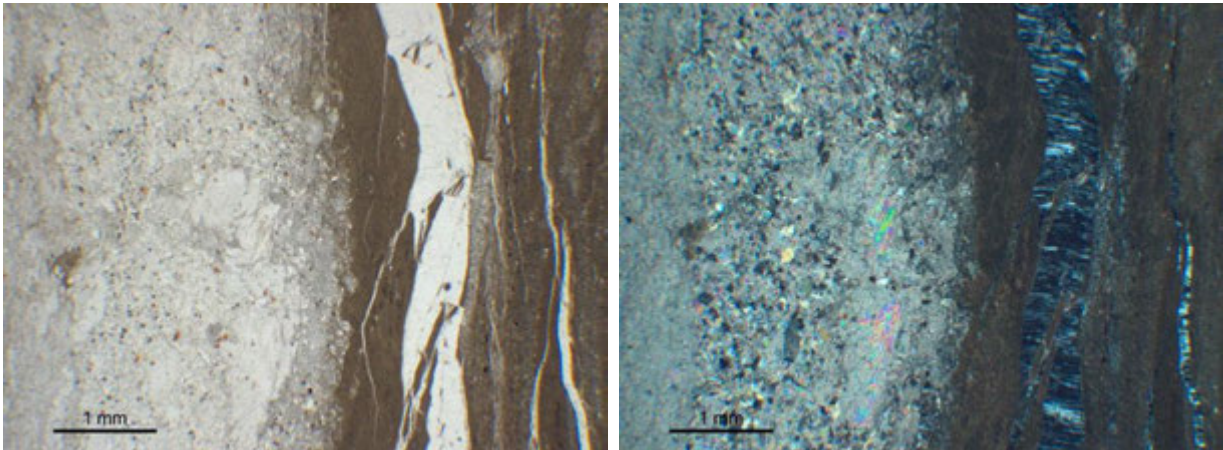


**SC5-11 (LPA / LPNA)**



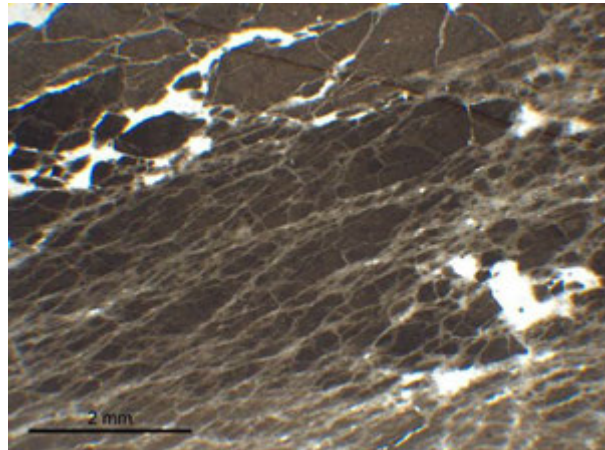
**SC5-13 (LPA / LPNA)**

**GEODERIS**

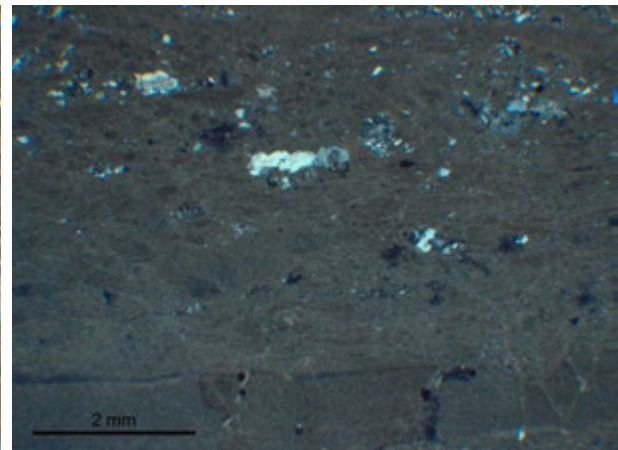
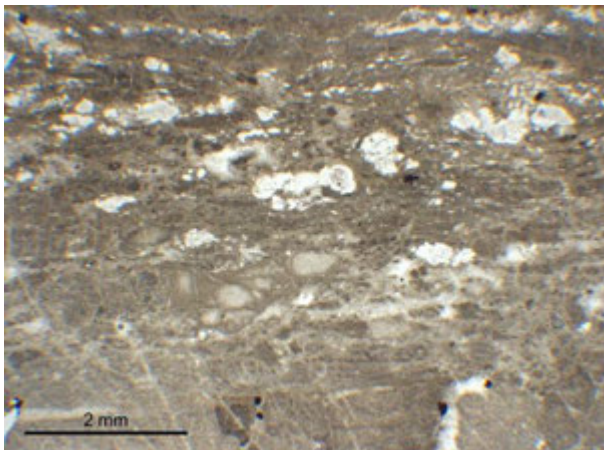


**SC5-15 (LPA / LPNA)**

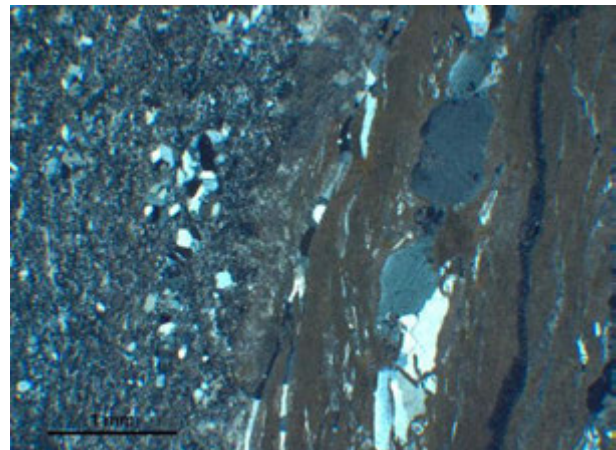
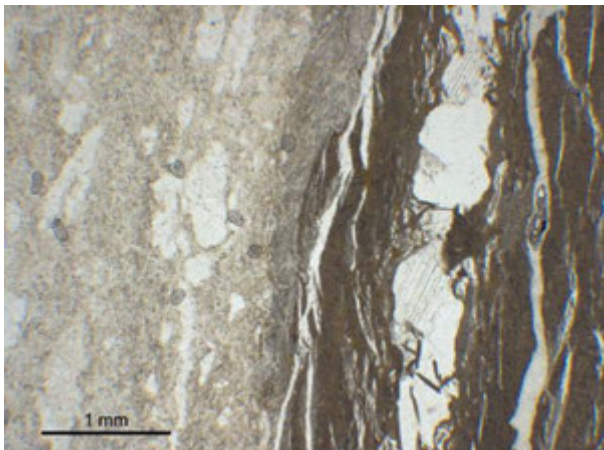
**GEODERIS**



**SC6-1 (LPA)**

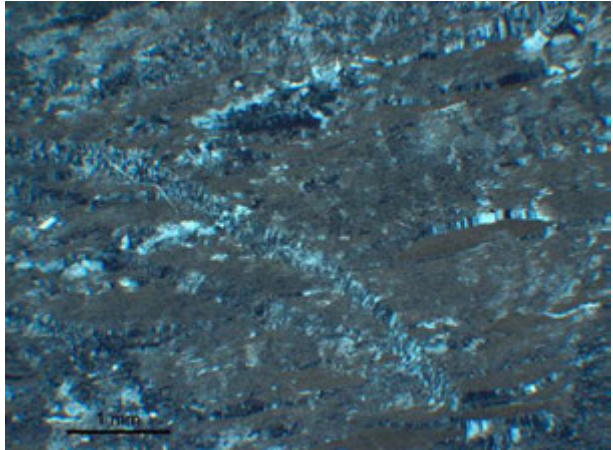
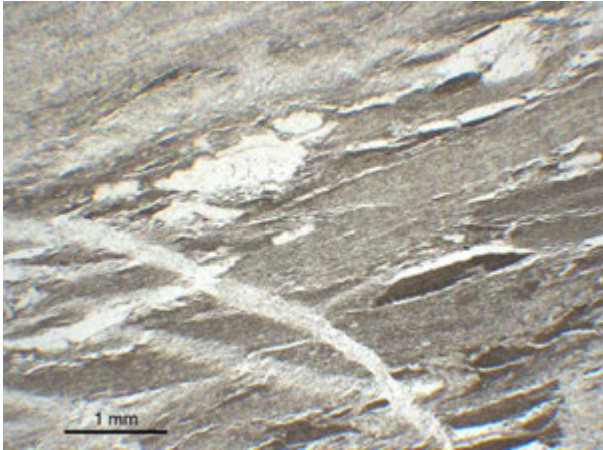


**SC6-4 (LPA / LPNA)**

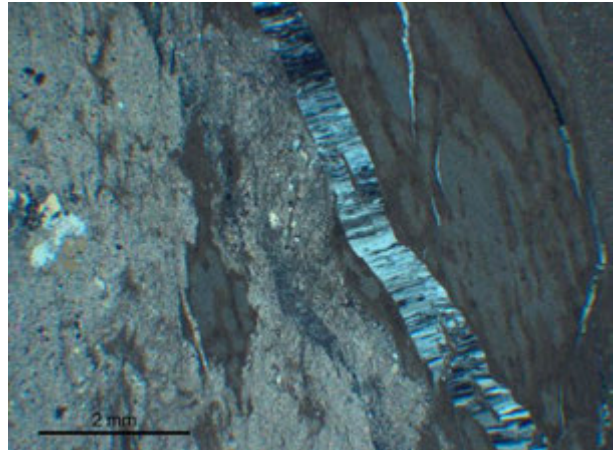
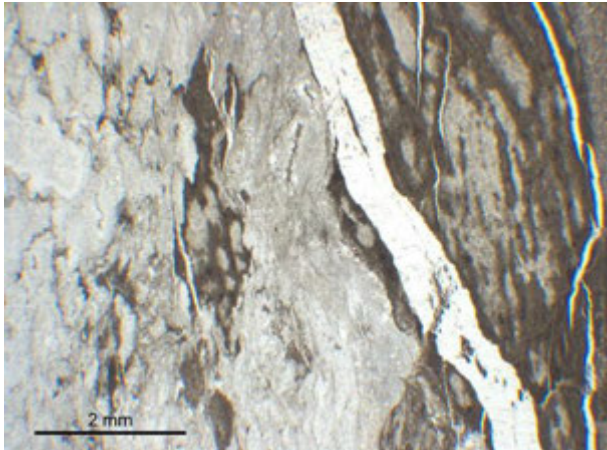


**SC6-6 (LPA / LPNA)**

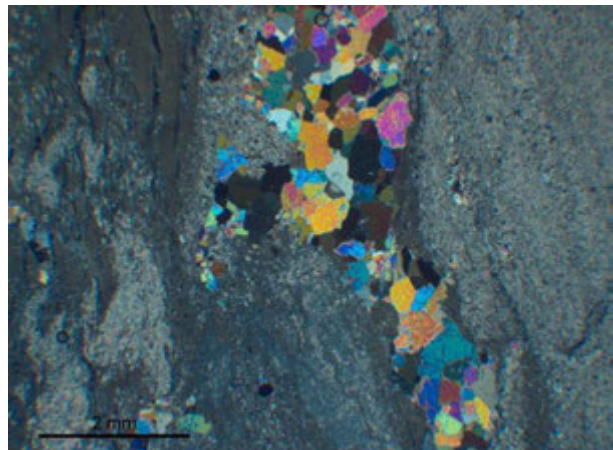
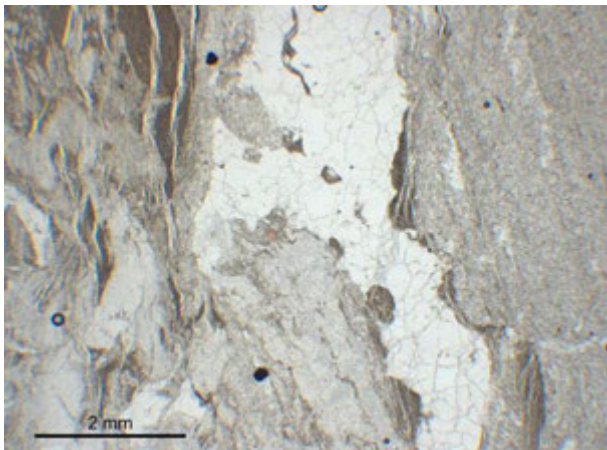
**GEODERIS**



**SC6-7 (LPA / LPNA)**



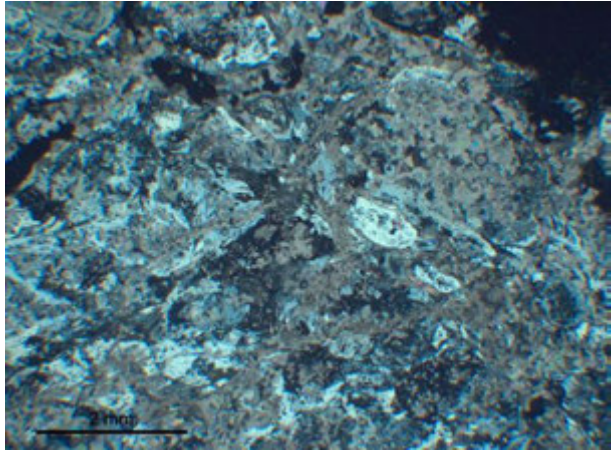
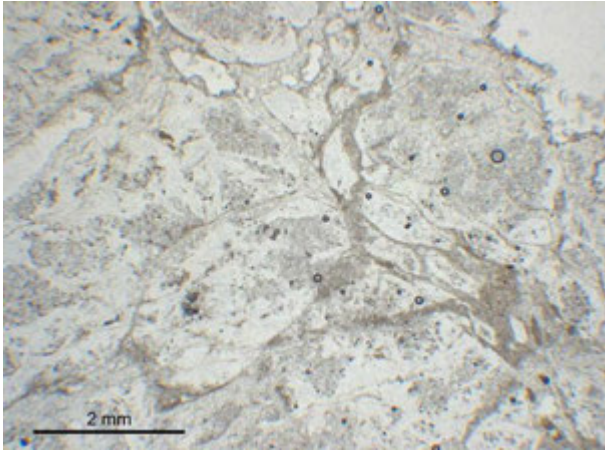
**SC6-10 (LPA / LPNA)**



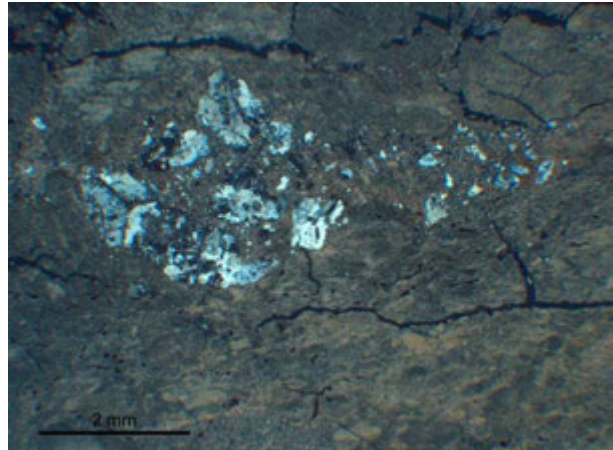
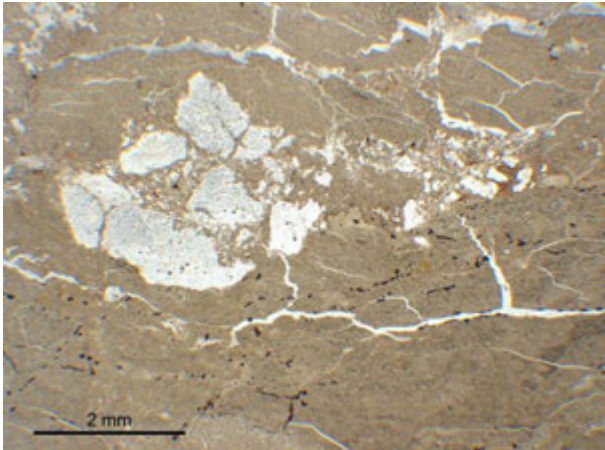
**SC6-12 (LPA / LPNA)**



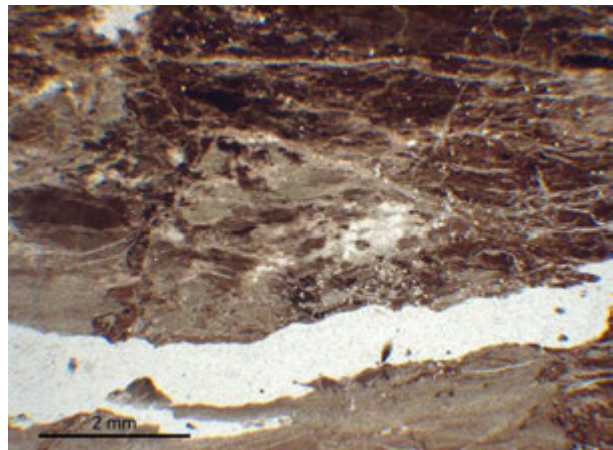
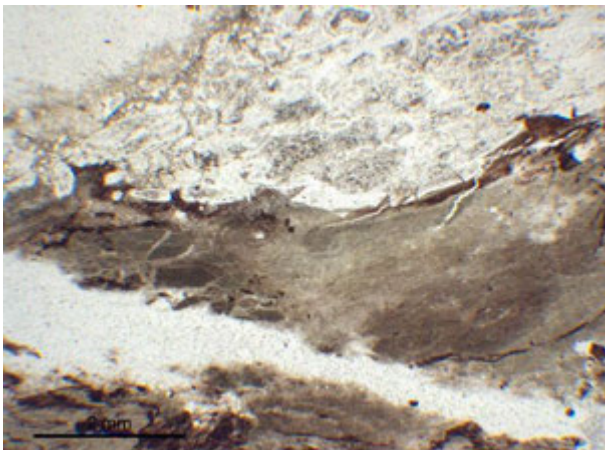
**GEODERIS**



**SC7-1 (LPA / LPNA)**

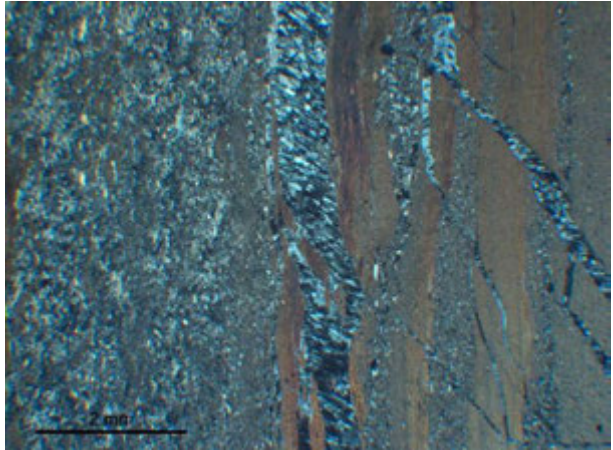
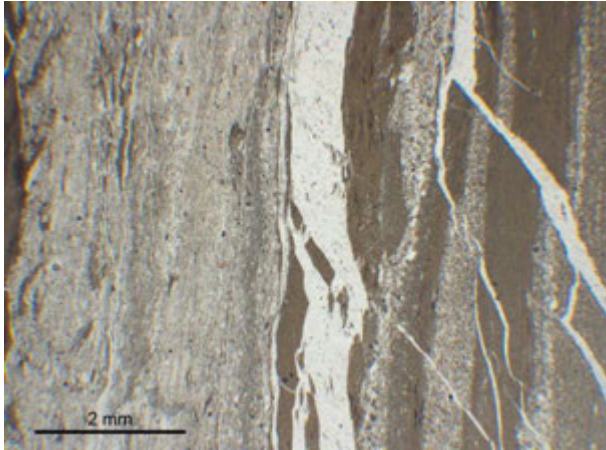


**SC7-2 (LPA / LPNA)**

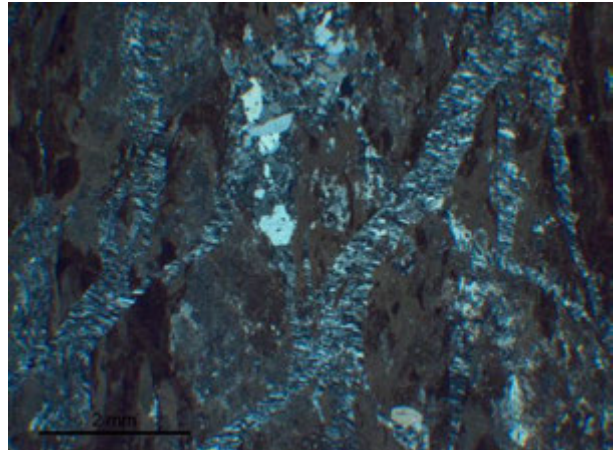
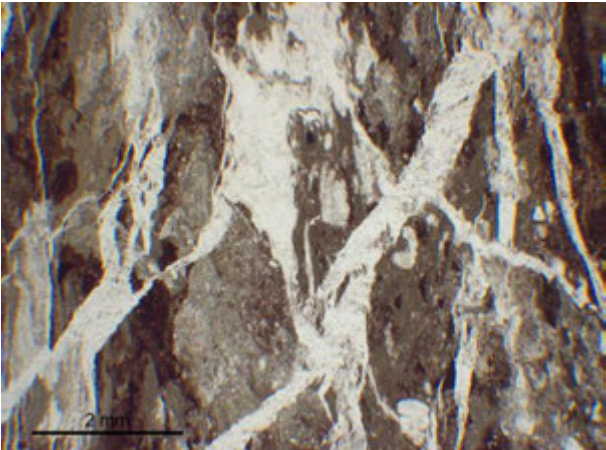


**SC7-3 (LPA)**

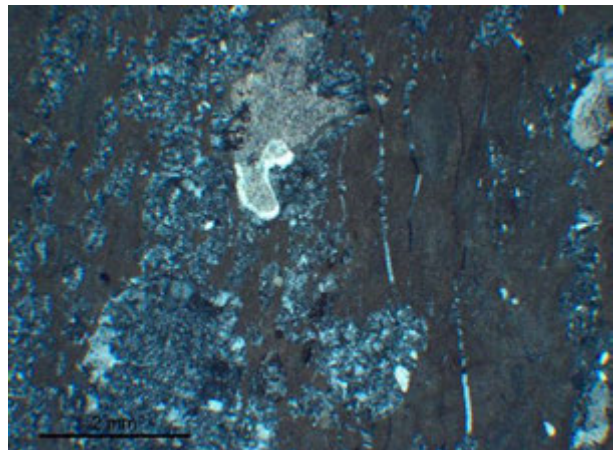
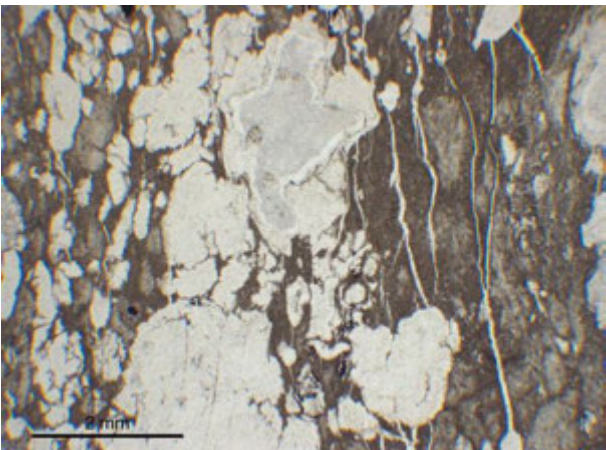
**GEODERIS**



**SC7-4 (LPA / LPNA)**

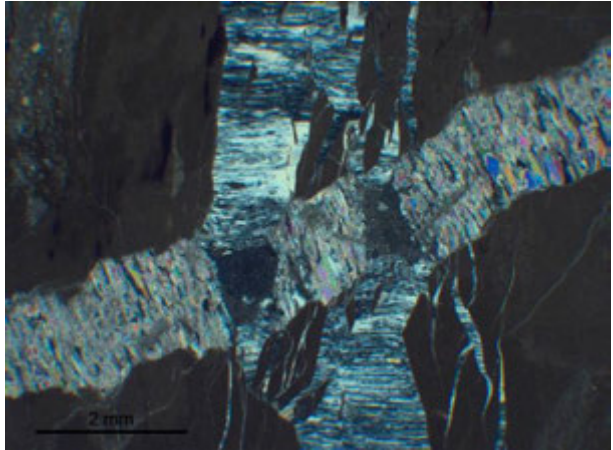
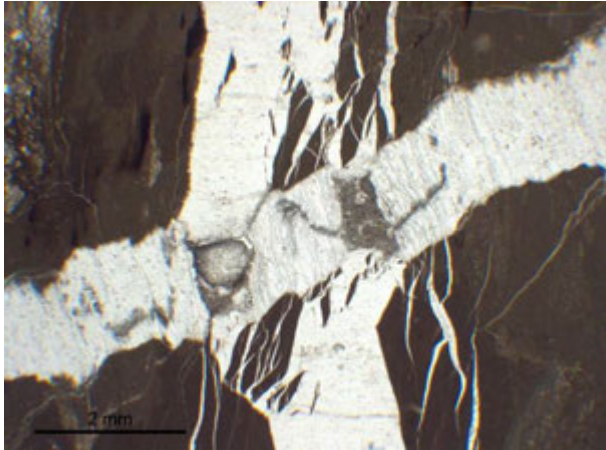


**SC7-5 (LPA / LPNA)**

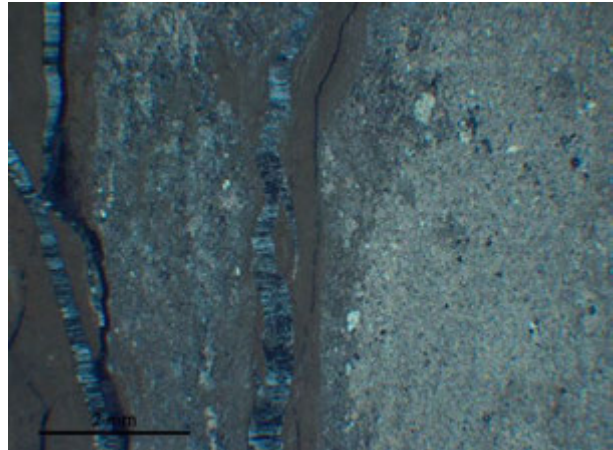
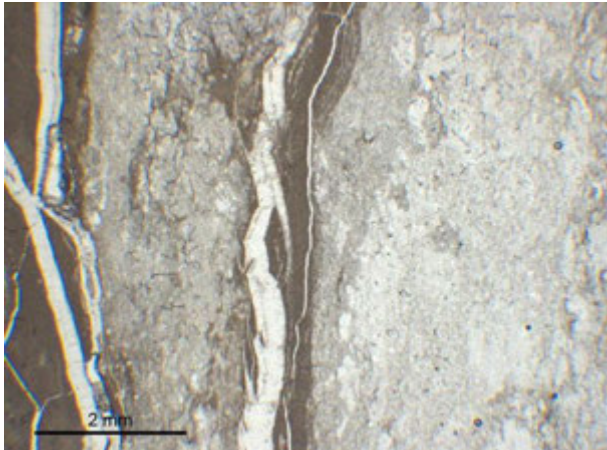


**SC7-6 (LPA / LPNA)**

**GEODERIS**



**SC7-7 (LPA / LPNA)**



**SC7-8 (LPA / LPNA)**

# **Annexe 2**

## **Limites d'Atterberg**

# GEODERIS



HydroGéomécanique Multi-échelle  
 Université de Lorraine - ENSG  
 UMR 7359 GéoRessources

## PROCES-VERBAL D'ESSAI DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERG

Limite de liquidité à la coupelle-Limite de plasticité au rouleau

Conforme à la norme : NF P 94-051

Procédure d'essai : MS1 - 10

Identification appareillage : Coupelle de Casagrande automatique (modèle Controls)  
 Coupelle de Casagrande manuelle type W.F.  
 N° balance

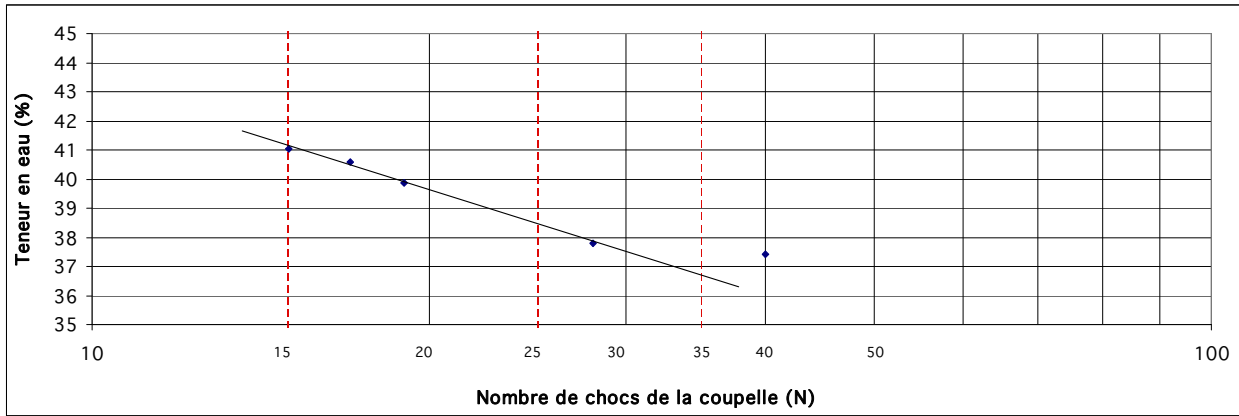
X
H3 et H2

Date : 03/09/2015  
 N° d'étude : 15.0524  
 Nom de l'étude : GEODERIS  
 Sondage : SC4-2  
 Profondeur :

Remarque

### Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande

Mesure n°	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de coups (N)	15	17	19	28	40			
Teneur en eau (%)	41,0	40,6	39,9	37,8	37,4			



### Limite de plasticité

Mesure n°	1	2	3	4
Teneur en eau (%)	31,5	31,8		

Limite de liquidité : $w_L =$	39	Indice de plasticité	
Limite de plasticité : $w_P =$	32	$I_P =$	7
Teneur en eau du sol		Indice de consistance	
$w (%) =$	24,3	$I_c =$	2,1

# GEODERIS



HydroGéomécanique Multi-échelle  
 Université de Lorraine - ENSG  
 UMR 7359 GéoRessources

## PROCES-VERBAL D'ESSAI DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERG

Limite de liquidité à la coupelle-Limite de plasticité au rouleau

Conforme à la norme : NF P 94-051

Procédure d'essai : MS1 - 10

Identification appareillage : Coupelle de Casagrande automatique (modèle Controls)  
 Coupelle de Casagrande manuelle type W.F.  
 N° balance

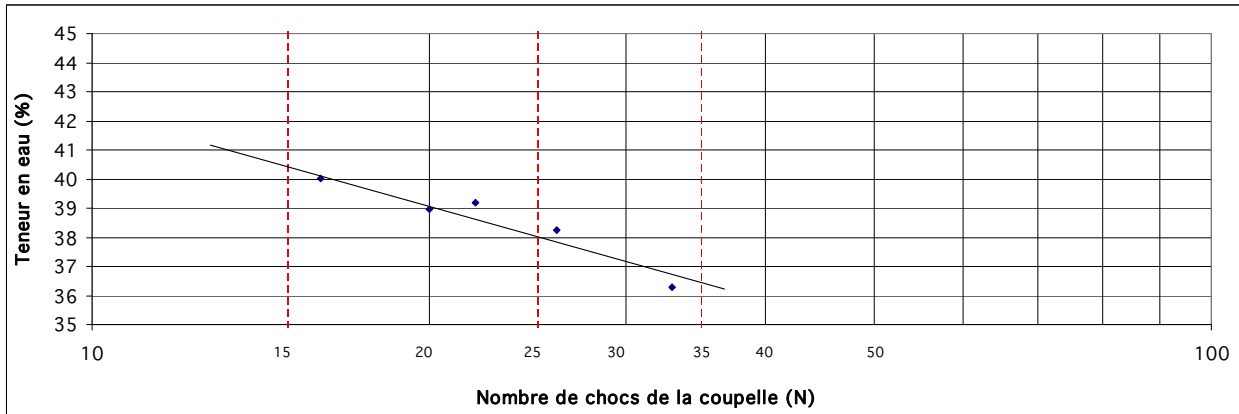
X
H3 et H2

Date : 03/09/2015  
 N° d'étude : 15.0524  
 Nom de l'étude : GEODERIS  
 Sondage : SC4-4  
 Profondeur :

Remarque

### Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande

Mesure n°	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de coups (N)	22	20	16	26	33			
Teneur en eau (%)	39,2	39,0	40,0	38,3	36,3			



### Limite de plasticité

Mesure n°	1	2	3	4
Teneur en eau (%)	32,2	31,7		

Limite de liquidité : $w_L =$	38	Indice de plasticité	
Limite de plasticité : $w_P =$	32	$I_P =$	6
Teneur en eau du sol		Indice de consistance	
$w (%) =$	23,1	$I_c =$	2,5

# GEODERIS



HydroGéomécanique Multi-échelle  
 Université de Lorraine - ENSG  
 UMR 7359 GéoRessources

## PROCES-VERBAL D'ESSAI DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERG

Limite de liquidité à la coupelle-Limite de plasticité au rouleau

Conforme à la norme : NF P 94-051

Procédure d'essai : MS1 - 10

Identification appareillage : Coupelle de Casagrande automatique (modèle Controls)  
 Coupelle de Casagrande manuelle type W.F.  
 N° balance

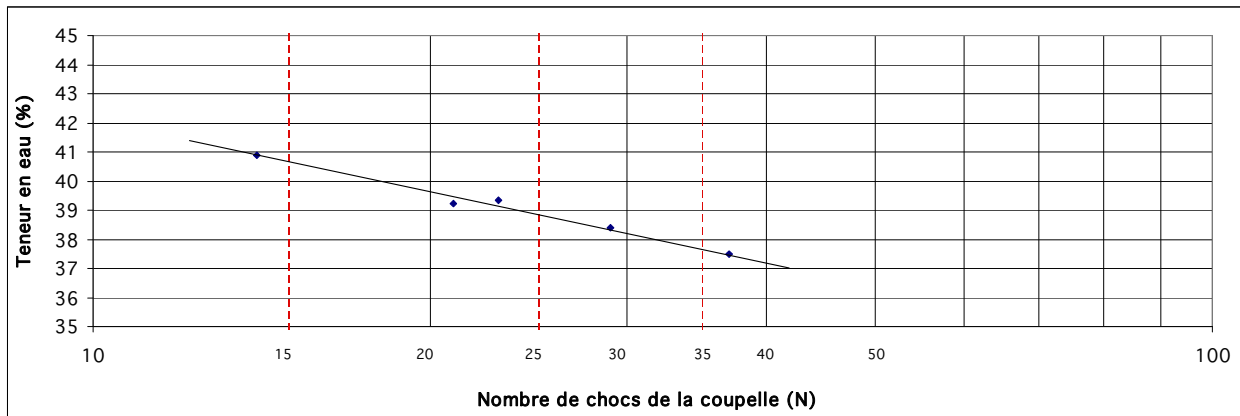
X
H3 et H2

Date : 03/09/2015  
 N° d'étude : 15.0524  
 Nom de l'étude : GEODERIS  
 Sondage : SC5-1  
 Profondeur :

Remarque

### Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande

Mesure n°	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de coups (N)	14	21	23	29	37			
Teneur en eau (%)	40,9	39,2	39,4	38,4	37,5			



### Limite de plasticité

Mesure n°	1	2	3	4
Teneur en eau (%)	31,0	31,2		

Limite de liquidité : $w_L =$	39	Indice de plasticité	
Limite de plasticité : $w_P =$	31	$I_P =$ 8	
Teneur en eau du sol		Indice de consistance	
$w (%) =$	14,9	$I_C =$ 3,1	

# GEODERIS



HydroGéomécanique Multi-échelle  
 Université de Lorraine - ENSG  
 UMR 7359 GéoRessources

**PROCES-VERBAL D'ESSAI**  
**DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERG**

Limite de liquidité à la coupelle-Limite de plasticité au rouleau

Conforme à la norme : NF P 94-051

Procédure d'essai : MS1 - 10

Identification appareillage : Coupelle de Casagrande automatique (modèle Controls)  
 Coupelle de Casagrande manuelle type W.F.  
 N° balance

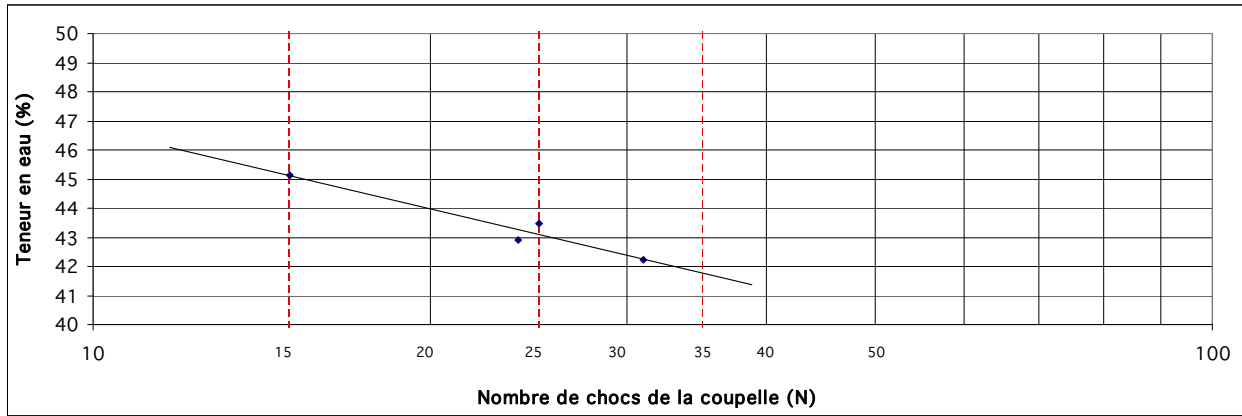
X
H3 et H2

Date : 08/09/2015  
 N° d'étude : 15.0524  
 Nom de l'étude : GEODERIS  
 Sondage : SC6-2  
 Profondeur :

Remarque

**Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande**

Mesure n°	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de coups (N)	15	25	24	31				
Teneur en eau (%)	45,1	43,5	42,9	42,2				



**Limite de plasticité**

Mesure n°	1	2	3	4
Teneur en eau (%)	36,0	35,2		

Limite de liquidité : $w_L =$	43	Indice de plasticité	
Limite de plasticité : $w_P =$	36	$I_P =$ 7	
Teneur en eau du sol		Indice de consistance	
$w (%) =$	14,8	$I_C =$ 3,8	



# GEODERIS



HydroGéomécanique Multi-échelle  
 Université de Lorraine - ENSG  
 UMR 7359 GéoRessources

**PROCES-VERBAL D'ESSAI**  
**DETERMINATION DES LIMITES D'ATTERBERG**

Limite de liquidité à la coupelle-Limite de plasticité au rouleau

Conforme à la norme : NF P 94-051

Procédure d'essai : MS1 - 10

Identification appareillage : Coupelle de Casagrande automatique (modèle Controls)  
 Coupelle de Casagrande manuelle type W.F.  
 N° balance

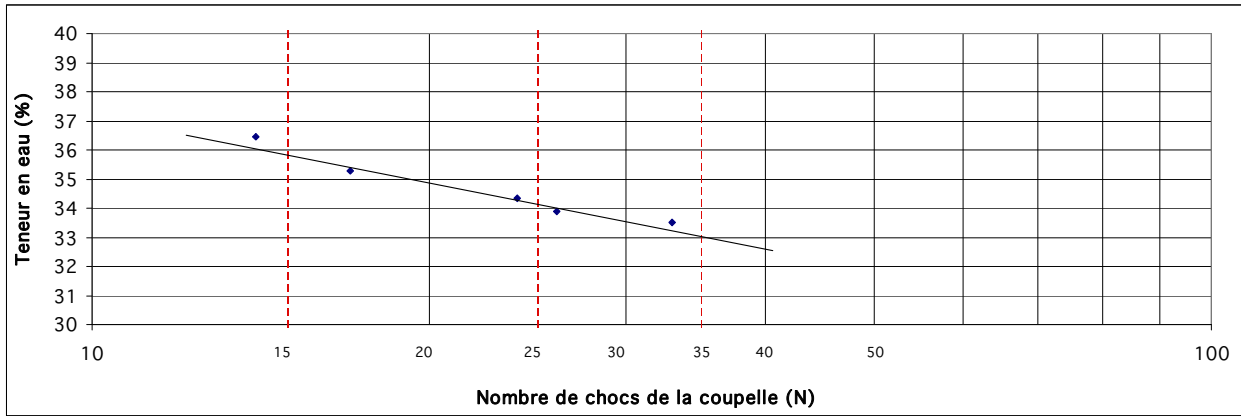
X
H3 et H2

Date : 08/09/2015  
 N° d'étude : 15.0524  
 Nom de l'étude : GEODERIS  
 Sondage : SC7-9  
 Profondeur :

Remarque

**Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande**

Mesure n°	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de coups (N)	14	17	24	26	33			
Teneur en eau (%)	36,4	35,3	34,3	33,9	33,5			



**Limite de plasticité**

Mesure n°	1	2	3	4
Teneur en eau (%)	29,3	29,2		

Limite de liquidité : $w_L =$	34	Indice de plasticité	
Limite de plasticité : $w_P =$	29	$I_P =$	5
Teneur en eau du sol		Indice de consistance	
$w (%) =$	16,4	$I_c =$	3,7

# **Annexe 3**

## **Valeurs au bleu de méthylène**

# GEODERIS



HydroGéomécanique Multi-échelle  
Université de Lorraine - ENSG  
UMR 7359 GéoRessources

## MESURE DE LA QUANTITE ET DE L'ACTIVITE DE LA FRACTION ARGILEUSE

Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par l'essai à la tache

Conforme à la norme NF P 94-068

Procédure d'essai : MS1-08

DATE	28/08/2015
OPERATEUR	E.L.
N° D'ETUDE	15.0524
NOM DE L'ETUDE	GEODERIS

Remarque :

Date de préparation de la solution de bleu de méthylène	21/08/2015
---	------------

Identification balance	H3
------------------------	----

REFERENCES DE L'ECHANTILLON	Teneur en eau initiale				Masse échantillon humide (g)	Masse échantillon sec (g)	Volume de solution de bleu (cm <sup>3</sup> )	V.B.S.		
	PTH (g)	PTS (g)	Ptare (g)	w%						
SC4-2						84,16	315	3,74		
SC4-4						87,75	295	3,36		
SC5-1						62,10	155	2,5		
SC5-3						56,25	120	2,13		
SC6-2						54,86	150	2,73		
SC6-5						67,91	110	1,62		
SC7-11						62,68	110	1,75		
SC7-13						64,45	85	1,32		



## **Annexe 14**

Avis du Dr-Ing E. Pimentel

« Expertise on the damages  
occurring in the community of  
Lochwiller (Alsace) »

15.04.2016



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Chair of Underground Construction  
P.O. Box 133  
Stefano-Franscini-Platz 5  
CH-8093 Zürich

**Expertise on the damages occurring  
in the community of Lochwiller (Alsace, France)**

Bericht 164201 – Zürich, 15.04.2016



**Table of contents**

<b>1</b>	<b>Objective and goal.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Problem description and investigations.....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Geology.....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>Comparable study cases .....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Aspects related to the swelling of anhydritic rock.....</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Causes and mechanisms.....</b>	<b>11</b>
<b>7</b>	<b>Recommendations .....</b>	<b>13</b>
	<b>References .....</b>	<b>17</b>



## 1 Objective and goal

The company Geoderis in Metz, France, asked the Chair for Underground Construction with the email from 04. February of this year to prepare an expertise on performed investigations and propositions concerning the swelling problems occurring in the village of Lochwiller, which is located 28 km to the north-west of Strasbourg in France. In the present expertise the two reports prepared by Geoderis (Kimmel et al. 2014 and Kimmel et al. 2016) are revised and recommendations concerning further investigations and mitigation works presented. A meeting in the offices of Geoderis in Metz and a visit of the site was done on 3<sup>rd</sup> March 2016.

The essential findings and conclusions of the study performed by Geoderis (see reports mentioned above) concerning the interpretation of the geology, including the orientation of the Gipskeuper as well as the identification of sections with different stages of swelling, can be confirmed. The extent of these sections results from the interpretation of the exploratory drillings and is plausible. As mentioned in the reports, the cause for the damages is the geothermal drilling on the Kandel property, which disturbed the hydrogeological conditions in the Gipskeuper formation in the vicinity of the borehole. However, one unresolved issue is the course of the groundwater table between the piezometers SC7 and SC5.

The following sections describe the problem at hand and the essential investigations performed (section 2) as well as the geology (section 3). Section 4 summarises similar cases where damage occurred due to geothermal borings in Gipskeuper and describes the applied mitigation works. Some processes and their characteristics related to the swelling of anhydrite and which are deemed relevant for this study (for a better interpretation of the results and thus to understand the limitations concerning a prediction of the swelling process) are discussed in section 5. Section 6 focuses on the main causes for the damages and discusses which mechanisms may now prevail in situ. The last section (section 7) lists recommendations for further investigations as well as for mitigation works.

## 2 Problem description and investigations

The western border of an older part of Lochwiller holds the residences (from South to North) of the families Schellinger, Schorr, Matjeka, Salin and Ott (see Fig. 1). Bordering these houses the new settlement "Weingarten" was constructed since 2006 on an area which was previously used as a vegetable orchard.

Since 2008, houses from both the older part of Lochwiller as well as the new settlement have experienced various forms of damage. Furthermore, the infrastructure surrounding the new settlement (e.g. roads, rainwater sewers and drainage pipes as well as streetlamps) was damaged. The cause for these damages was investigated by the company Geoderis and presented in the reports mentioned above (Kimmel et al. 2014

and Kimmel et al. 2016). The following paragraphs give a short summary of the most important events and findings. Detailed information can be found in the respective reports.

In February 2008 a geothermal borehole was drilled on the Kandel property down to a depth of 140 m (see Figs. 1 and 2). Within these works, a pressurized aquifer was encountered at a depth of 64 m on 19th February 2008. The next day (20th February 2008) the water level within the borehole had risen from a depth of 64 m to 11 m (Babot et al. 2008). After installation of the U-tubes down to 140 m, the gap in the borehole could not be backfilled completely. Roughly one month later, the neighbouring house Schorr experienced some leakage. House Schorr is located at a distance of 18.5 m from the borehole and lies at a lower altitude (13.5 m lower) than house Kandel (see Figs. 1 and 2). In a well located on the Schorr property an elevation of the water level by 5 m was observed. Roughly one month later the geothermal borehole was attempted to be sealed with resin. Due to insufficient verticality of the borehole, solely the upper section of the borehole could be sealed (two injections were performed at depths of 9 m and 14 m), thus merely inhibiting further leakage in the house Schorr.

The first signs of heaving were observed on cobblestone of the Schorr property in 2008. Since then, a series of steadily increasing damages occurred on a number of houses.

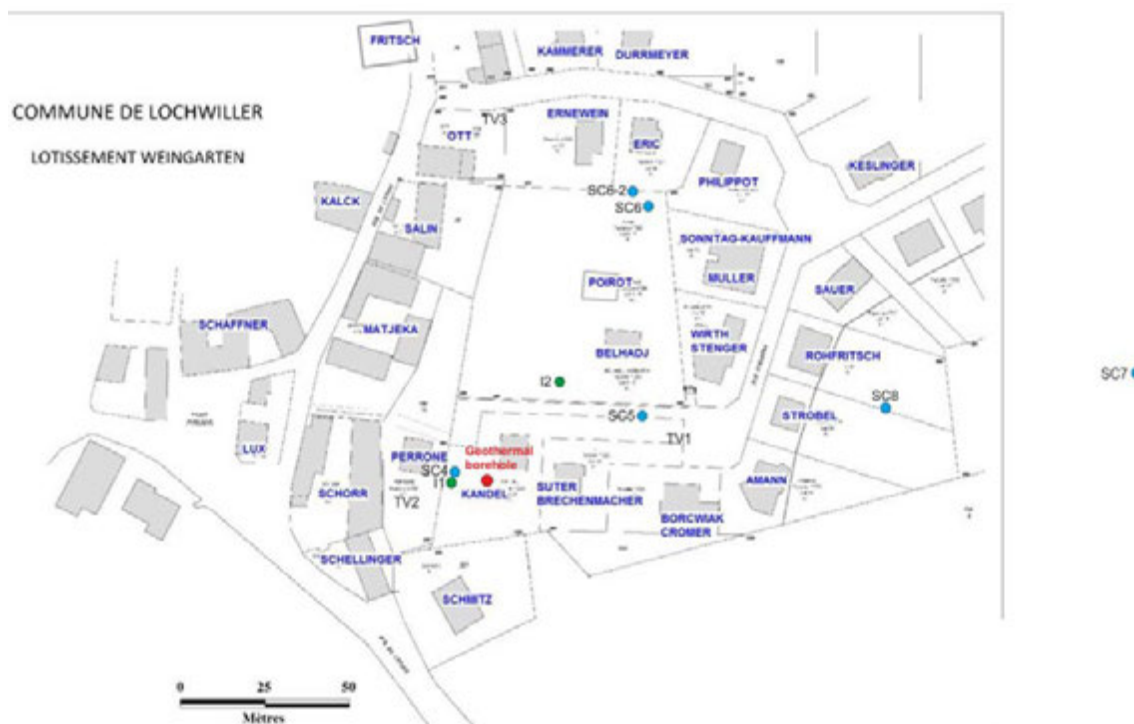


Figure 1. Location of the houses mentioned in the text (copy from Kimmel et al. 2014)

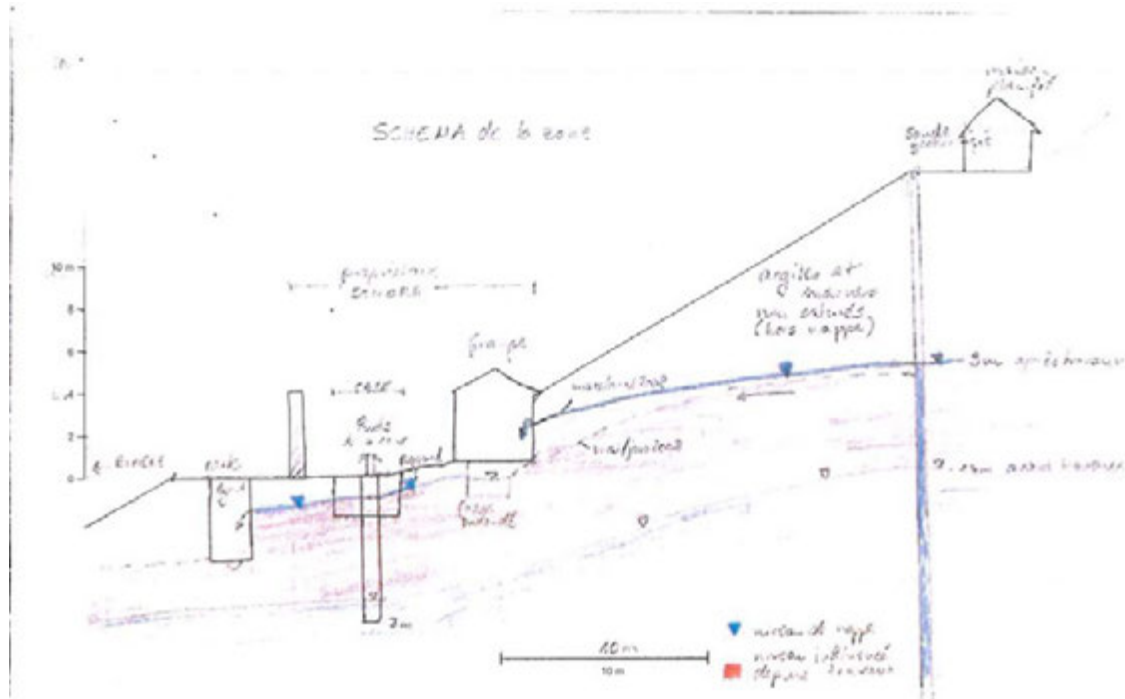


Figure 2. Sketch of the situation surrounding the Schorr property after the geothermal boring (copy from Babot et al. 2008)

Since 2011 differential levelling measurements were performed. These clearly indicate heaving mechanisms which affect the entire settlement (to a different extent). The maximal heave measured within a period of 6 months (March 2013 to October 2013) amounted to 25 cm whereas within a period of 16 months (October 2011 to February 2013) a heave of up to 47 cm was measured (Kimmel et al. 2014). This corresponds to an average heave rate of 3 to 4 cm per month. The measured heave is presented in Kimmel et al (2014) as isocurves (Fig. 3). The company Archimed GE performed geodetic measurements (altimetry and planimetry) of the ground surface every two months from May to October 2013 on survey points positioned in March 2013. Fig. 4 indicates the measured displacement vectors within the x-y-plane for a time span from 7th March to 28th October 2013. According to this, displacements of 13 cm were measured within 7.5 months in the vicinity of the house Belhadj-Kobloth.

Furthermore, two inclinometers were installed (I1 and I2 in Fig. 1). These indicate an inclination towards West which led in both cases to displacements of the inclinometer head by about 2 cm after 4.5 months. The inclination of I2 occurred nearly linearly over the top 12 m whereas the origin of the inclination of I1 cannot be identified (despite the depth of 20 m).

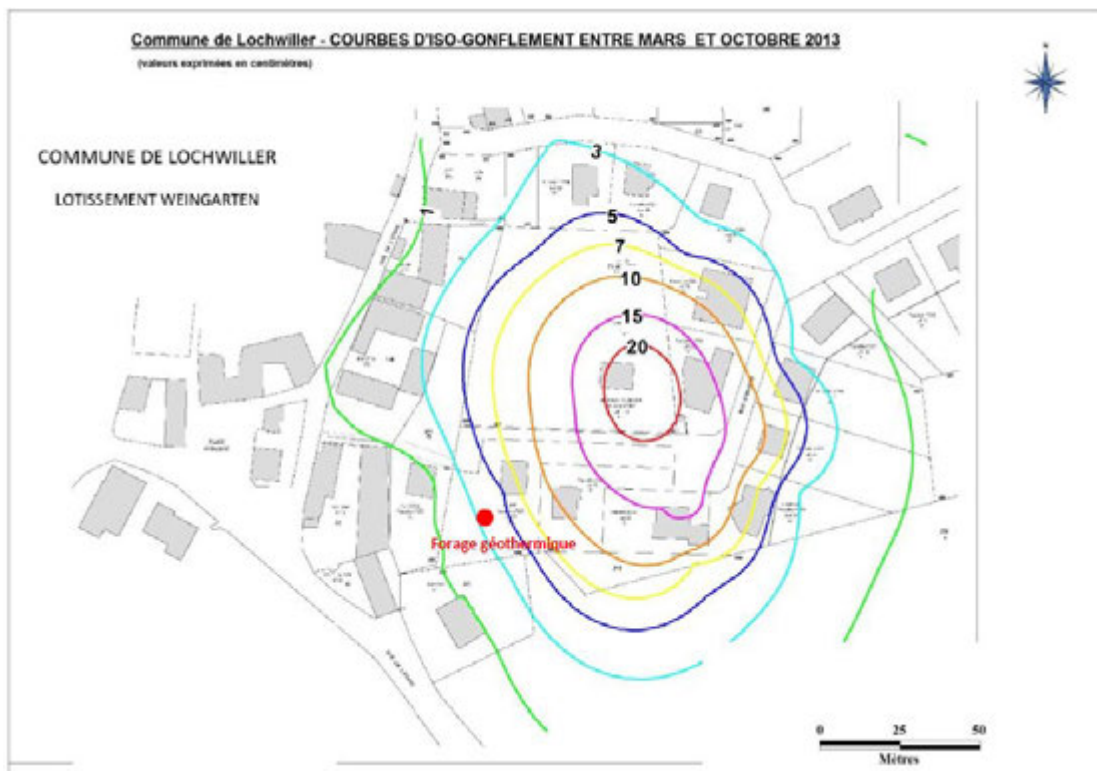


Figure 3. Isocurves (heave in cm) constructed from topographic survey readings in March and October 2013 (ARCHIMED data) (copy from Kimmel et al. 2014)

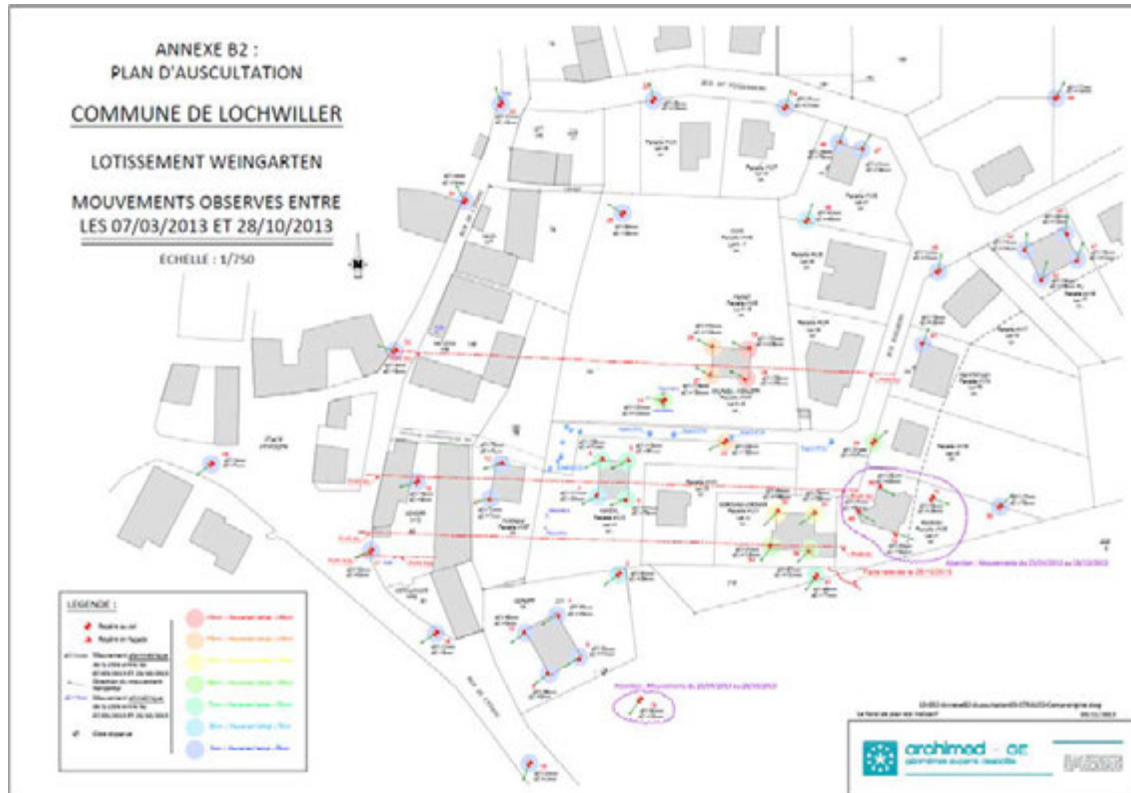


Figure 4. Displacement vectors from geodetic measurements between 3rd March and 28th October 2013 (Archimed 2013)

Additionally, four exploratory boreholes were drilled with core recovery and converted to piezometers (SC4, SC5, SC6 and SC7 in Fig. 1). Selected bore cores were then used for swelling tests in oedometers with a constant axial load. The mineralogy of the bore cores was determined on leftover material from the oedometer samples as well as on other cores. Water was sampled from the piezometers for chemical analysis and determination of age. The measured water table in the piezometers SC4, SC5 and SC7 is presented in Fig. 5.

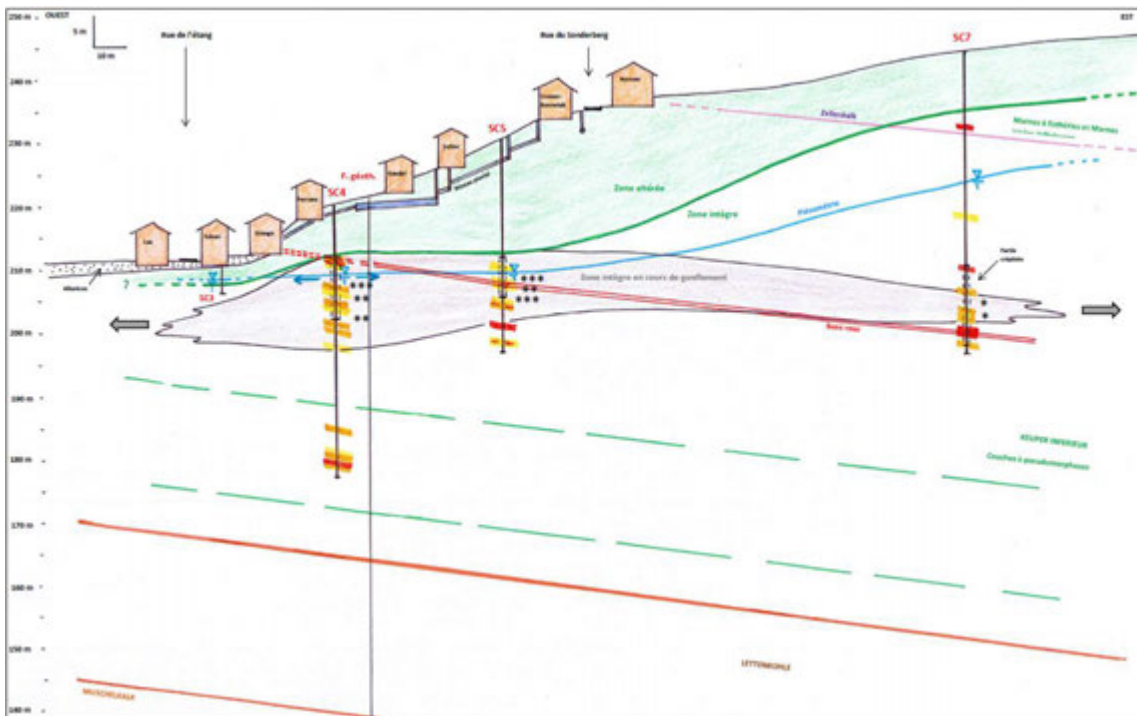


Figure 5. Geological and hydrogeological west-east cross-section - Assumed extent of the swelling and the weathered zone (yellow strata: gypsum, orange: basanite, red: anhydrite, \*: intensity of swelling from water temperature measurements) (copy from Kimmel et al. 2016)

### 3 Geology

Lochwiller is located on the left bank of the Rheingraben. The known geological formations encountered here are clay layers and Triassic layers: middle and lower Gipskeuper, Lettenkohle and Muschelkalk. The Triassic layers dip in Northeast direction with an inclination of  $10^\circ$ . The upper clay layers lie parallel to the topography (hill) and feature a thickness of roughly 2 m. They are characterised on the one hand by a small permeability, on the other hand by a strong sensitivity to water, i.e. the strength of the clay decreases when it comes into contact with water. The layers of the Gipskeuper can be divided into three sections, based on their swelling potential (from top to bottom): a leached section, a fully swollen section and unaltered Gipskeuper. In the leached and swollen layers a complete transformation from anhydrite to gypsum already took place. These sections are referred to as the “altered zone” in the report. The difference between the swollen and the leached layer is that the latter experienced additional dissolution of gypsum due to water circulation. The border between the swollen and the unaltered Gipskeuper is referred to as the “anhydrite level”.

### 4 Comparable study cases

Comparable damage cases in connection with geothermal borings have been reported from Staufen and Böblingen in Germany (Engesser et al. 2010 and Koch et al. 2015). Similar to Lochwiller, the geothermal boring of 2007 in Staufen punctured a deeper lying pressurized aquifer which resulted in a watering of the above lying Gipskeuper containing anhydrite. The maximal measured heave rate was 1.1 cm/month. In the case of Böblingen the water infiltrated through the geothermal borehole to the anhydritic Gipskeuper below. In both cases a number of houses were damaged due to the heave and the heave process is so far not completed.

In Staufen the boreholes (EWS1 to EWS7) were sealed via postgrouting and water is now being pumped continuously since 2010 in order to lower the groundwater level within the anhydritic layer. So far these measures merely led to a retardation of the heave process.

In Böblingen the boreholes (EWS1 and EWS2) were postgrouted multiple times between 27<sup>th</sup> October 2014 and 28<sup>th</sup> January 2015. Measurements performed via satellites show a retardation of the swelling process here as well.

### 5 Aspects related to the swelling of anhydritic rock

Swelling of anhydritic rock occurs due to transformation of anhydrite to gypsum. However, the mineralogical analysis of the bore cores indicates sulphate to be present in the form of basanite ( $\text{CaSO}_4 \times 0.5\text{H}_2\text{O}$ ) as well, in addition to anhydrite ( $\text{CaSO}_4$ ) and

gypsum ( $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ ). Basanite is metastable and usually not encountered in situ, with the exception of very arid regions (cf. Pagliai & Stoops 2010).

During sample preparation for X-ray diffractometry (abbr. XRD) the samples need to be dried. If this occurs at temperatures above ca.  $60^\circ\text{C}$ , it is possible that the gypsum (or a part of it) transforms to basanite through loss of bound water molecules. This can also occur during sample preparation of thin sections (generation of heat during polishing). Neither our investigations with Gipskeuper of the Belchen- and Chienbergtunnels, nor the investigations in Staufen and Böblingen showed the presence of basanite (Engesser et al. 2010 und Koch et al. 2015)<sup>1</sup>. Therefore, it is strongly assumed that the measured amount of basanite was in fact originally gypsum. The correction of the results need to be performed by considering the stoichiometry of the different minerals, i.e. the mass of 1.5 water molecules need to be added to a basanite molecule in order to obtain the mass of a corresponding gypsum molecule.

The properties of the swelling behaviour of anhydritic rock presented in the report of Kimmel et al (2014) stem from research performed by Nagra (National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste) and are based on results of a limited number of experiments. Therefore, they cannot be assumed to be generally applicable. Further research needs to be taken into consideration, such as e.g. Pimentel (2003a), who measured swelling pressures higher than 8 MPa on samples from the Gipskeuper surrounding the Freudensteintunnel. He also measured swelling strains over 30% with samples which were axially loaded with 3 MPa. These swelling strains cannot be attributed solely to the anhydrite to gypsum transformation, since the anhydrite content was ca. 20%. Based on observations he made on a number of samples, Pimentel introduced a concept of cracking due to gypsum crystallisation (Pimentel 2003b, 2007) where a gypsum crystal can cause the surrounding structure to fracture. The swelling of anhydrite in situ can therefore be accompanied by the formation of cracks or fissures which lead to new water routing through the rock and thus increase the surface of anhydrite in contact with water. This in return leads to further anhydrite dissolution and gypsum precipitation due to supersaturation of the dissolved sulphates in the pore with respect to gypsum. The gypsum crystals will form mainly in the existing pore space and thus begin to fill the pores. When these are filled, further gypsum precipitation will occur primarily in the direction of smallest stress (as long as this stress is not too high, cf.

---

<sup>1</sup> During first investigations performed by the authors, basanite was identified with XRD on samples from the Belchentunnel, however upon repetition with an improved sample preparation procedure it was found that no basanite was in the samples and the previously measured amount of basanite corresponded to the amount of gypsum measured during the re-run (cf. Anagnostou et al. 2016).

Serafeimidis et al. 2014) and cause a crack or fissure in the rock perpendicular to that direction. This leads to newly formed larger pores and the increase in total volume will be markedly higher than the theoretical increase in volume of the single molecules (i.e. from anhydrite to gypsum). Thus, it is not possible to predict the swelling strains based solely on the mineralogical composition of the rock. Furthermore, it is not possible to assume a maximal swelling pressure based on the experiments performed by Georesources, i.e. to apply an axial load on a sample in an oedometer cell, induce swelling by inundating the sample with water and after swelling apply an axial load high enough to reverse the deformation. This can only work if the processes are reversible as in the case of elastic material behaviour. The best way to obtain the maximal swelling pressure is by running swelling tests under completely constrained conditions (c.f. Pimentel 2007).

It needs to be pointed out, however, that the upscaling of laboratory results from swelling experiments to the scale of a geotechnical structure in situ is a so far unsolved problem in geotechnical engineering. This concerns the interpretation of maximal swelling stresses, swelling strains as well as the development of the involved processes (kinetics) in terms of time. The reason for these uncertainties can be attributed to the natural heterogeneity of the Gipskeuper before swelling, the formation of cracks and fissures and changes in water circulation and water chemistry in the rock (among other factors).

Due to the above mentioned uncertainties, it is not possible to predict the course of the swelling process over time as well as the effect of potential mitigation measures (also not after performing additional laboratory investigations). An extrapolation of the results from in situ measurements merely allows an estimation of the behaviour to be expected in the near future (e.g. heaves or displacements).

## **6 Causes and mechanisms**

Prior to the boring performed on the Kandel property, no signs of damage were observed in the affected area. Therefore, the above mentioned leakage in the house Schorr as well as the damages on other houses and the measured heave can only be related to the 140 m deep boring on the Kandel property. Following the boring, the water infiltrated the unaltered Gipskeuper and thus triggered the swelling mechanism, which led to the damages (starting with the leakage and heave of the cobblestone on the Schorr property). The attempt to seal the boring may not have been beneficial, since merely the upper section of the borehole was injected and thus nearly the entire length of the borehole within the Gipskeuper remained filled with pressurized water from the lower layer. This may have led to “favourable” groundwater infiltration in the unaltered Gipskeuper. It needs to be noted that the maximal swelling stress expected



from Gipskeuper exceeds the in situ stress from the overburden (which is ca. 1 MPa at an overburden of 40 m).

The estimated extent of the currently active zone within the unaltered Gipskeuper is illustrated in Fig. 5. This estimation is based on the interpretation of the borehole profiles as well as on measurements of the displacements at the surface and is considered plausible. A more accurate knowledge of the active swelling zones in greater depth requires displacement measurements of the ground, i.e. within the Gipskeuper.

The anhydrite level runs more or less parallel to the ground surface and not to the stratification (Fig. 5). Therefore, it is assumed that - in the past - the water which caused the formation of the altered Gipskeuper section originated from the surface. The upper layer of clay then formed on top of the Gipskeuper and served as a protective layer against further leaching and swelling. This layer is now being damaged by the swelling process (vertical cracks along the surface).

The displacement measurements at the surface indicate that the higher part of the settlement experiences the largest vertical heave as well as horizontal displacement.

These horizontal displacements may occur due to the following reasons: (a) the anhydrite layer did so far not swell evenly, but preferentially in one area (i.e. near the southeastern corner of house Belhadj-Kabloth) thus creating a "hill" with some radial deformation around the area of strongest activity; (b) since the horizontal stress in situ is smaller or similar to the vertical stress, swelling may occur in horizontal direction as well; (c) the vertical heave can cause sliding of the top layers of the slope. Such a sliding exerts an earth pressure on structures, which is particularly assumed to cause the damage of the house Schmitz (see Fig. 1). Due to the uneven heave, in combination with the above mentioned horizontal displacements of the ground, cracks develop along the surface (an indication for vertical cracks of the surface can be found next to the house Amann and along the street "impasse Koelberg"), allowing water from precipitation to infiltrate both into the upper layers (thus soften the soil and cause or accelerate landslides) as well as into the lower Gipskeuper. Softening of the upper layers increases the earth pressure on the structures (especially when strong rainfalls occur) which, therefore, results in additional damage to some houses. This could also affect some of the older houses at the foot of the slope. Furthermore, the vertical cracks along the surface as well as the damages to the rainwater sewers facilitate the infiltration of rain water in the leached Gipskeuper and subsequently into the unaltered Gipskeuper, leading to a stronger development of the swelling process. This could explain the connection between the amount of rain water and the rate of deformation, i.e. the percolation of rain water can cause landslides and / or accelerate the swelling process. However, these mechanisms cannot be recorded and identified alone with displacement measurements on the surface. The only way to identify the active mechanisms is with deformation measurements in the ground.

The groundwater table between the piezometers SC4 and SC5 may be supplied by the geothermal boring. It is questionable whether the measured water level of SC7 belongs to the same aquifer as that in SC5 and how the course of the groundwater table runs between these two piezometers. If they are in fact connected, the main source for the groundwater is actually rain water (and not primarily from the geothermal drilling, as so far assumed), with a main seepage flow from east to west. Based on this assumption, the water level in SC5 would need to be higher than that in SC4.

Dissolution (i.e. leaching) of gypsum occurs in the already swollen section of the Gipskeuper under the influence of seepage flow. This was seen e.g. at the Schanztunnel in Germany, where seepage flow occurred parallel to the tunnel axis. After roughly 110 years the swollen Gipskeuper contained no more gypsum, whereas 10 m below the invert the rock still contained anhydrite. For the moment - and as long as there is no strong seepage flow in the unaltered zone - leaching of gypsum is considered a secondary problem.

A termination of the entire swelling process can only be expected when either the swelling potential is completely exhausted or when the new aquifer experiences no further water supply and the free water in the aquifer is drained. The former can last for decades (no final statement can be made concerning the expected duration of the swelling process) and range over the entire anhydritic Gipskeuper and thus affect the majority of Lochwiller. The damages could be so severe, that an extensive part of the village may necessitate demolition. Since the swelling process in the unaltered Gipskeuper is triggered by the water in the new aquifer, a complete sealing of all water routing towards the new aquifer and drainage of the aquifer would be necessary. Each measure toward an effective reduction of the water supply of the new aquifer could retard the swelling processes. As indicated previously, there is a causal connection between the ground water from the geothermal borehole, rainfall and the swelling heave. As discussed above, the infiltration of rain water into the unaltered section of the Gipskeuper can be accelerated by the cracks occurring due to swelling heave of the surface. An increase in water infiltration will, in return, favour the swelling process. In order to undermine this vicious cycle, as much water as possible (groundwater as well as rain water) needs to be withheld from the unaltered zone.

## **7 Recommendations**

In Kimmel et al. 2014 the following recommendations were proposed:

- taking urgent measures concerning the sealing of the underground pipework, to eliminate all surface water intake;
- a perfect sealing of the boreholes, to control the influx of deep groundwater, by performing a re-drilling and concreting under high pressure;

- evaluation of the remaining anhydrite and the nature of the groundwater, in order to confirm the origin of the swelling process by drilling down to the base of Gipskeuper (approx. 40m);
- the resumption of levelling measurements and an extension of the network of measurements, which appears to be insufficient to date;
- identification of similar geological configurations as vigilance for future projects in this very sensitive subsurface environment.

We generally agree with these recommendations. As seen in comparable study cases (cf. section 4) the immediate measures need to focus on the mitigation of further swelling. By applying, observing and assessing the efficiency of the mitigation measures, the heave rate can be slowed down (i.e. buying more time) and additional in situ information can be gained for the planning of further measures (e.g. concepts for additional monitoring, drainage and/or further grouting). However, a complete suppression of the active swelling processes can most likely not be achieved, as was also seen in various cases of damage in tunnelling (e.g. Belchen- and Chienbergtunnels in Switzerland). Furthermore it is not possible to predict the evolution of the swelling process and the ultimate effect of the mitigation measures (cf. section 5).

The following paragraphs elaborate the above mentioned measures and contain suggestions for additional possible measures.

a) A sealing of the geothermal boring via grouting needs to occur consequently below the anhydritic Gipskeuper, i.e. in the layers of the Lettenkohle and Muschelkalk. A sealing of the borehole above these layers (i.e. within the Gipskeuper) would not be advantageous, since the new aquifer could then still be supplied with groundwater from the borehole. However, this necessitates grouting under the high water pressures prevailing at that depth (ca. 5 bars at 50 m water column or more). For this reason the use of a packer is recommended. The packer would need to be placed and inflated in the old borehole within the section of the Lettenkohle. This requires the precise location of the old borehole within the Lettenkohle or a complete radial overcut of the borehole.

b) In addition to the restoration of damaged rainwater collecting pipes, all further defect pipelines (such as sewers or drinking water pipelines) should always be repaired immediately. Furthermore, all open cracks in the terrain should be filled and sealed with clayey material, so that rain water flows unhindered into the rainwater collecting pipes (i.e. without any infiltration in the ground).

c) An additional retardation of the swelling process can be accomplished by draining the free water in the new aquifer. Due to the topography this can only be achieved by pumping the water. In order to dimension an efficient pumping system, this measure should only be started after grouting of the bore hole is completed and the course of the groundwater table in the new aquifer is known (see "e").

d) In order to gain a better understanding of the various deformation processes (e.g. the identification of the active swelling zones in the rock mass or the distinction between horizontal displacements due to swelling or due to landslide) as well as to determine the effectiveness of the sealing measures from an early stage on, displacement measurements in all three directions (x/y/z) need to be collected at a greater depth. It is therefore recommended to incorporate at least three TRIVEC-borings in the above mentioned measuring program. The TRIVEC system is a combination of one micrometer and two inclinometers and enables measuring deformations in all three directions at every meter of the entire bore hole (Amstad et al. 1988). The TRIVEC-borings should pierce the entire unaltered Gipskeuper (while avoiding water to infiltrate the Gipskeuper) and reach all the way into the Lettenkohle. It would be advantageous, if the flushing of the borings were performed with the use of swelling inhibitors. The recommended positions for the TRIVEC-borings TV1 to TV3 are sketched in Fig. 1.

e) Due to the importance of the (uncertain) course of the groundwater table between the piezometers SC7 and SC5 and the consequences this groundwater table could imply for the selection and dimensioning of the measures, this assumed course needs to be confirmed. This can be achieved by drilling additional bore holes and developing them to piezometers. In order to investigate the so far uncertain hydraulic connection between the existing piezometers, at least one additional piezometer (SC8) is necessary between SC7 and SC5 (see Fig. 1). A hydraulic connection can be identified by pouring tracers e.g. in SC7 and measuring the arrival of the tracers in the surrounding piezometers (assuming that a hydraulic gradient exists between SC7 and the surrounding piezometers). This allows the identification and estimation of seepage flow in the ground. Should seepage flow be detected, it needs to be determined whether the flow runs along preferential layers, in order to design sealing or drainage measures more efficiently.

f) Further exploratory drillings in the older part of the town will facilitate an exact mapping of anhydrite level, i.e. the identification of leached, unleached and intact Gipskeuper, and therefore determine under which buildings the swelling potential is exhausted. It is crucial, however, that the Lettenkohle is not punctured by these borings. Since the leached Gipskeuper is more porous than the intact Gipskeuper, the former does not behave as an impermeable layer and does not prohibit water circulation.

f) Due to the questionable identification of basanite during the mineralogical analysis (XRD), the repetition of XRD on at least one sample is recommended, whereas the sample may not be subjected to temperatures  $>60^{\circ}\text{C}$  during sample preparation. When the assumption, that the basanite occurred due to faulty sample preparation, is verified and the amount of gypsum corresponds to the erroneously measured basanite, the other (existing) results can be corrected considering the stoichiometry of the different minerals (cf. section 5).

g) Additional swelling tests under completely constrained conditions would give an indication of the maximal swelling pressure and thus add to a thorough characterisation of the ground and resolve uncertainties from a scientific point of view. However, it is expected that the maximal swelling pressure is far higher than the pressure from the overburden. Since a restraining counter pressure (as is common, e.g., in tunnelling where heavy anchoring or a stiff lining is applied) is not an applicable measure in this case, the determination of the maximal swelling pressure with laboratory experiments will not provide a practical relevance for the planning of further mitigation measures.

h) Buildings, which show severe damage and where the safety is endangered, should be rehabilitated immediately. As long as the swelling process cannot be stopped, and thus no new equilibrium reached, no further building should be constructed in the active swelling zone. Even with a retardation of the swelling process it is only a matter of time, until new buildings are subjected to damage. This also applies to remediation measures on existing buildings.

Zürich, 12.05.2016

Dr.-Ing. Erich Pimentel

MSc ETH Civ Eng Tara Wanninger-Huber

## References

- Amstad Ch., Koepfel J., Kovári K. (1988): TRIVEC-measurements in geotechnical engineering. Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Symp. on Field Measurements in Geomechanics. Eds. Sakurai, Balkema. Rotterdam, p. 17-32.
- Anagnostou G., Serafeimidis K., Pimentel E., Wanninger-Huber T., Vrakas A. (2015): *Modelling of anhydritic swelling claystones*. Forschungsprojekt FGU 2010/007 auf Antrag der Arbeitsgruppe Tunnelforschung (AGT), 1539.
- Archimed GE (2013): *Rapport d'Auscultation n°04 du 14/11/2013 – Commune de Lochwiller - Lotissement Weingarten*.
- Babot Y., Schomburgk S. Elsass P. (2008): *Expertise des venues d'eau chez Monsieur schorr 13 rue de l'Etang à Lochwiller (67) – Visite du 02 juin 2008*. BRGM/ALSNT08N13, juin 2008
- Engesser W., Ruch C., Wirsing G. (2010): *Geologische Untersuchungen von Baugrundhebungen im Bereich des Erdwärmesondenfeldes beim Rathaus in der historischen Altstadt von Staufen i. Br.* Sachstandbericht Az.: 94-4763//10-563, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), Freiburg.
- Kimmel M., Frank C., Hadadou R. (2014): *Advice on the causes of damage occurring in the community of Lochwiller (67)*. Geoderis, Report E2014/003DE – 14ALS3301.
- Kimmel M., Hadadou R. (2016): *Evaluation of the residual swelling potential of evaporites to the right of the Weingarten residential area in Lochwiller (Lower Rhine) – Project Version*. Geoderis, Report E2016/027DE\_PROJECT – 16ALS21010.
- Koch A., Martin M., Prestel R., Ruch C., Sage A., Trapp Ch. (2015): *Geologische Untersuchungen von Baugrundhebungen im nordöstlichen Stadtgebiet von Böblingen (Hebungsgebiet "Nord")*. Sachstandbericht Az.: 95-4764//15-7202, Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau (LGRB), Freiburg.
- Pagliai M., Stoops G. (2010): *Physical and biological surface crusts and seals in Interpretation of micromorphological features of soils and regoliths*. Eds. Stoops G., Marcelino V., Mees F., Elsevier, Ch. 19, p. 419-435.
- Pimentel E. (2003a): *Langzeitschwellversuche an Probenmaterial aus dem Freudenteintunnel. Zwischenbericht für den Zeitraum 0.1.01.2001–01.10.2003*. Bericht des Lehrstuhls der Universität Karlsruhe, erstattet an die DB Projekte Süd GmbH.
- Pimentel E. (2003b): *Swelling behavior of sedimentary rocks under consideration of micromechanical aspects and its consequences on structure design*. Geotechnical Measurements and Modelling. Proc. intern. symp. Karlsruhe, Germany, 23-26 Sept. 2003: pp. 367-374. Lisse: Balkema.

Pimentel E. (2007): *A laboratory testing technique and a model for the swelling behavior of anhydritic rock*. The second half century of rock mechanics; 11th Congress of the International Society for Rock Mechanics (ISRM), Lisbon; Volume 1, 143-146; Taylor & Francis Group London.

Serafeimidis, K., Anagnostou, G., Vrakas, A. (2014): *Scale effects in relation to swelling pressure in anhydritic claystones*. Int. Symp. on Geomechanics from micro to macro. University of Cambridge.