

---

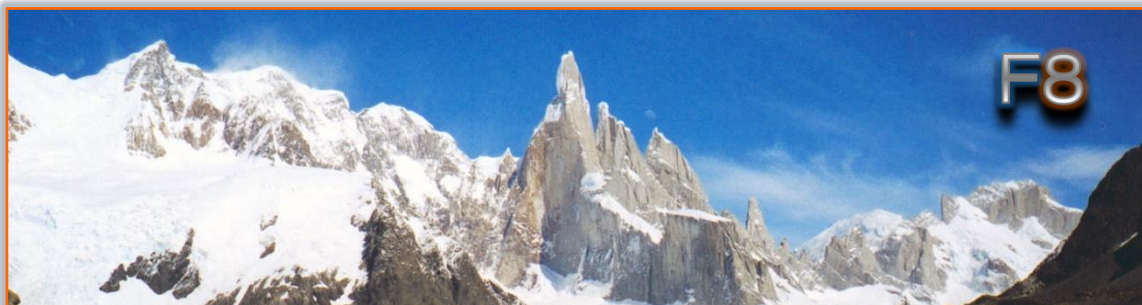
# NOUVEAU MONDE GRAPHITE INC.

## Exploration Géotechnique & Étude en mécanique des roches

### Analyse de stabilité des futures parois rocheuses

Novembre 2019

---



**Sacha Friedlin, ing.**  
Expert en parois rocheuses

Tél. :1-514-433-2999  
8sacha8@gmail.com

#126399 (O.I.Q.)

**F8 ROC & FALAISES INC.**  
2585 SPRUCE, VAL-DAVID,  
QUÉBEC, CANADA J0T 2N0

## Projet : Nouveau Monde Graphite

Les services de F8 Roc & Falaises Inc. ont été retenus par Nouveau Monde Graphite Inc. afin d'optimiser la conception des pentes d'excavation du gisement de graphite près de St-Michel-des-Saints.

Ce rapport présente les explorations géotechniques, les études en mécanique des roches, les analyses pour évaluer la stabilité des futures parois rocheuses et les recommandations pour le début des travaux d'excavation prévus au sud du gisement.

F8 Roc & Falaises Inc. est fier de participer au projet Nouveau Monde Graphite qui a la volonté d'opérer une mine 100% électrique et de manière hautement responsable écologiquement. Dans l'optique de diminuer les volumes d'excavation pour minimiser l'empreinte environnementale du projet et, du même coup, réduire les coûts d'exploitation, une approche alternative est présentée à la page 27 de ce rapport.

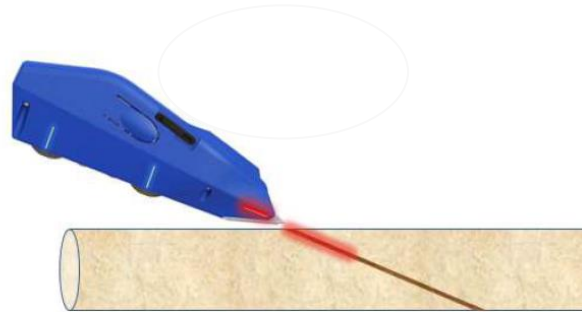


## Exploration géotechnique

### Forages

Cinq nouveaux forages avec carottes orientées ont été réalisés dans la partie sud du gisement pour étudier les propriétés mécaniques du roc des futures parois rocheuses. Ces forages font suite aux dix forages avec carottes orientées réalisés en 2017 dans les parties centrale et nord du gisement (voir réf: #1 et #2 et la planche 1 à la page suivante).

L'orientation des structures géologiques a été mesurée à l'aide de l'instrument Reflex IQ-Logger.



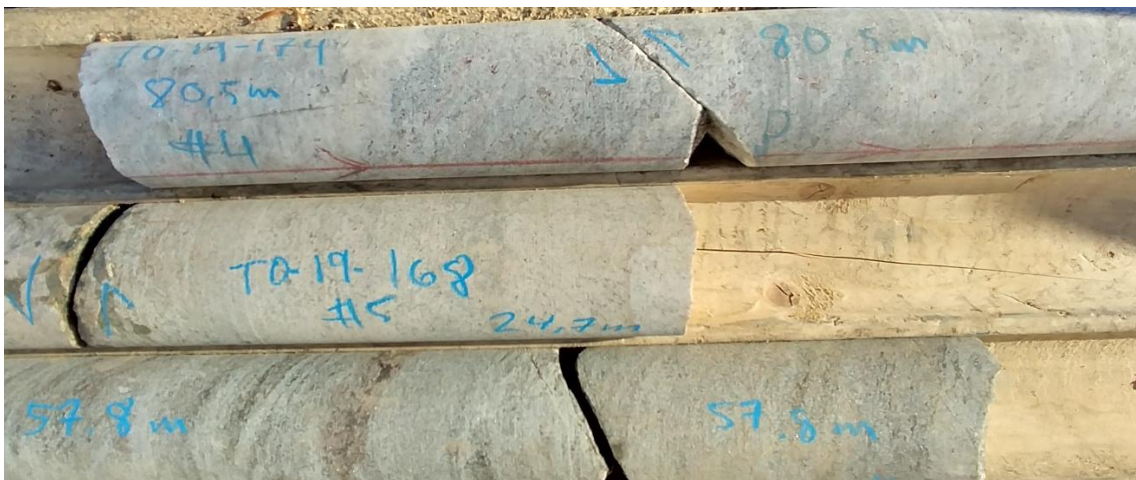
### Cartographie de surface

Aux endroits où l'épaisseur de mort-terrain semble faible, des tranchées d'environ 2 mètres de largeur ont été excavées à l'aide d'une pelle mécanique. Ensuite, les surfaces de roc ont été nettoyées à l'aide de jets d'eau et cartographiées (voir planche 2).



### Essais laboratoire

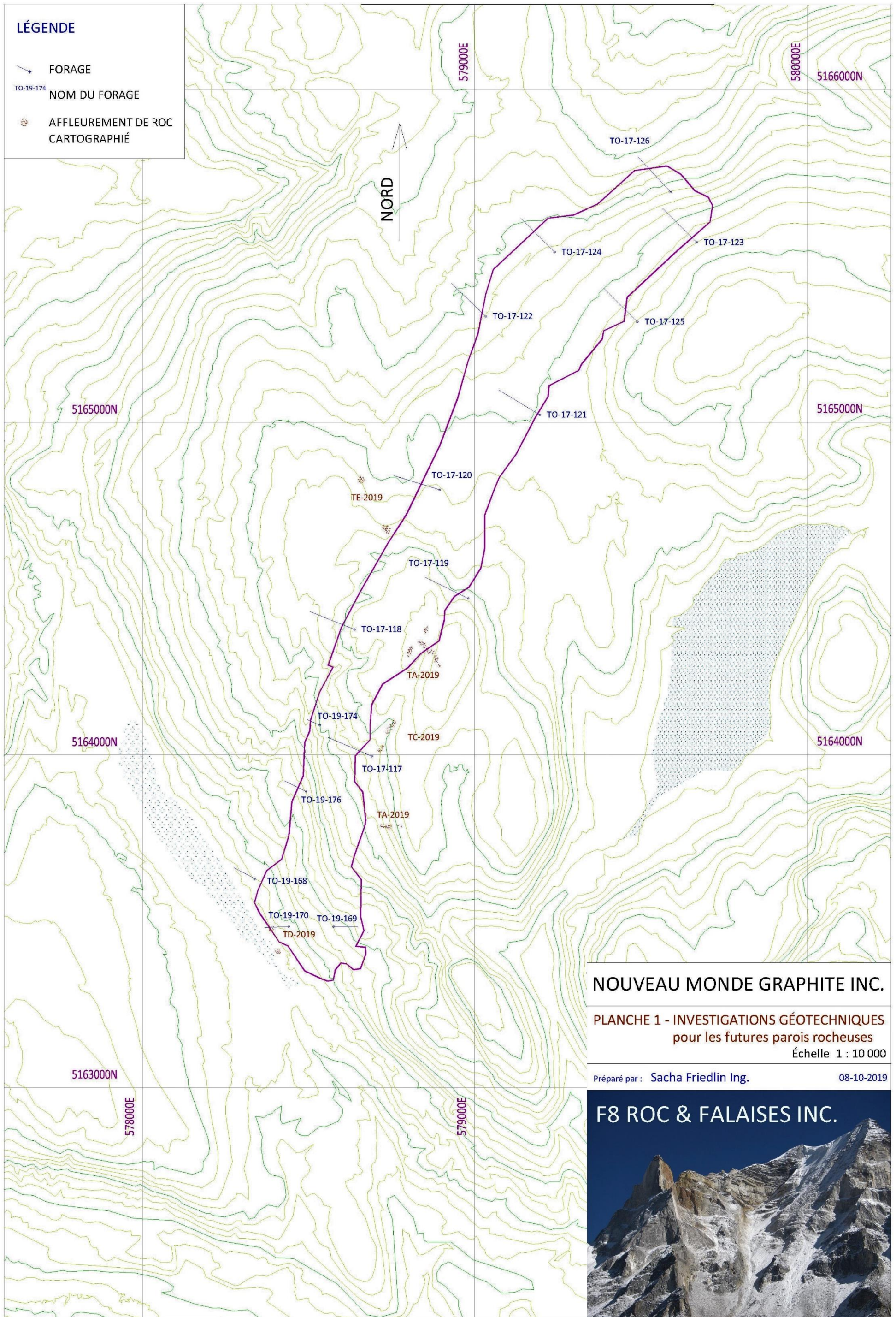
Sept essais de compression et quatre essais de cisaillement ont été réalisés sur des échantillons de forage à l'Université de Sherbrooke (réf. : #3).



**LÉGENDE**

-  FORAGE
-  TO-19-174 NOM DU FORAGE
-  AFFLEUREMENT DE ROC CARTOGRAPHIÉ

NORD



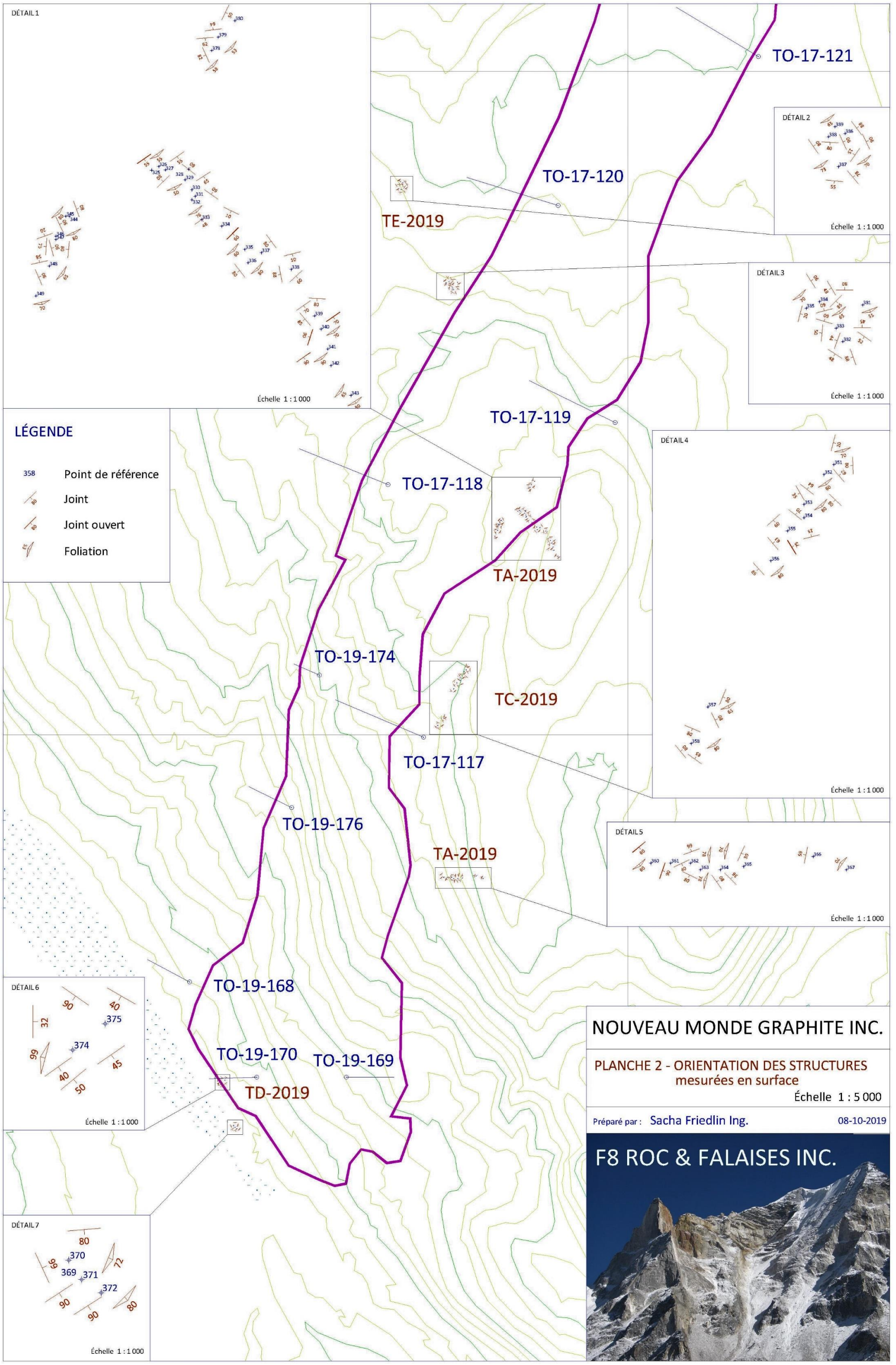
**NOUVEAU MONDE GRAPHITE INC.**

**PLANCHE 1 - INVESTIGATIONS GÉOTECHNIQUES**  
pour les futures parois rocheuses  
Échelle 1 : 10 000

Préparé par : Sacha Friedlin Ing. 08-10-2019



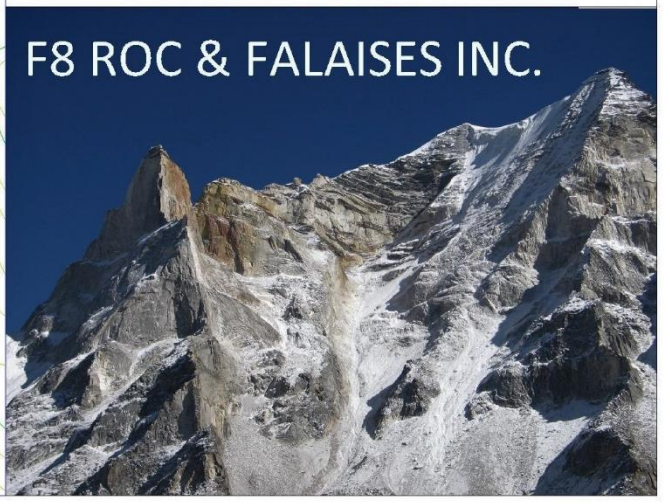
**F8 ROC & FALAISES INC.**



**NOUVEAU MONDE GRAPHITE INC.**

**PLANCHE 2 - ORIENTATION DES STRUCTURES  
mesurées en surface**  
Échelle 1 : 5 000

Préparé par : **Sacha Friedlin Ing.** 08-10-2019



## Étude en mécanique des roches

### Géologie régionale

Le gisement de graphite repose dans la ceinture métasédimentaire de la province de Grenville et est connue comme le Dépôt Matawinie ou Bloc Tony. Le roc est principalement constitué de paragneiss composé de sédiments métamorphosés et déformés (*réf.: #1*).

### Roc rencontré

Les forages et la cartographie de surface ont rencontré un roc constitué de paragneiss et gneiss entrecoupés de gabro, métatextite, pegmatite ou quartzite. (Voir photos des carottes de forage à l'annexe A).

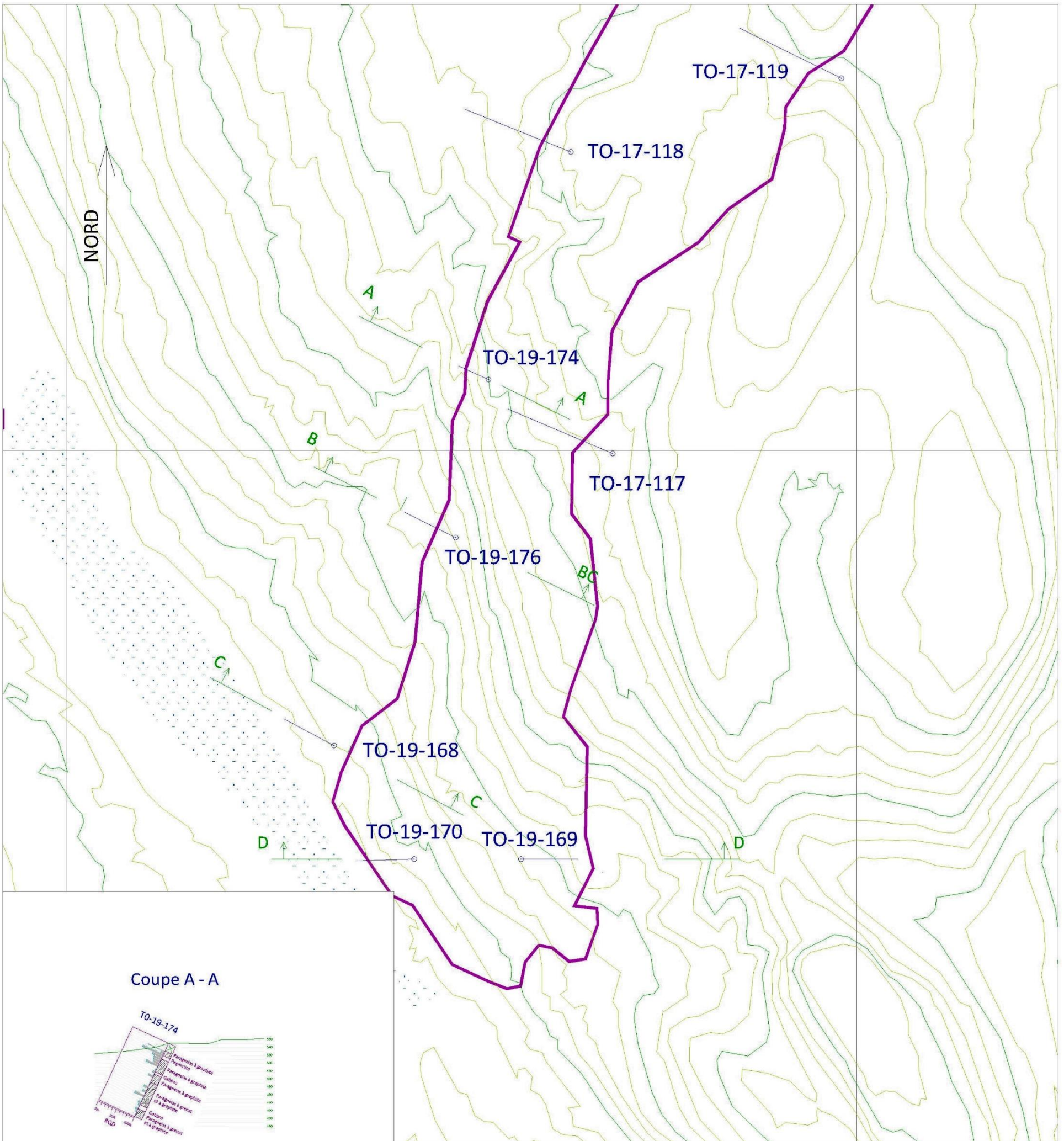


Les affleurements de roc cartographiés au sommet des futures parois montrent, en général, un roc massif et compétent (photo ci-dessus), sauf au sud-ouest du gisement. À cet endroit les affleurements de roc constitués de paragneiss à graphite sont plus fracturés et altérés (photo à droite).

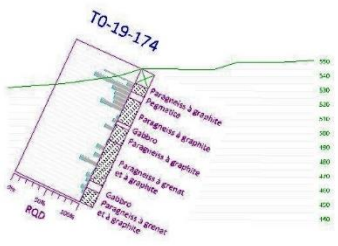


### Indices RQD "Rock Quality Designation"

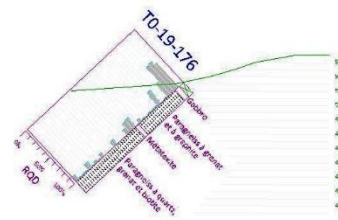
Les indices RQD évalués sur les cinq forages de 2019 sont présentés sur la planche 3 et montrent un roc de très bonne qualité en profondeur. La moyenne des indices RDQ est de 89%. Les indices RQD sont plus élevés pour le gneiss granitique charnockitique rencontré dans le fond des forages TO-19-168 et TO-19-169.



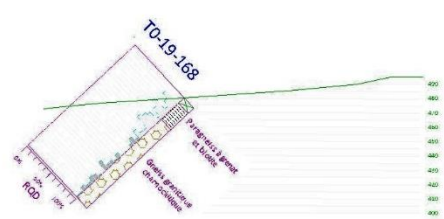
Coupe A - A



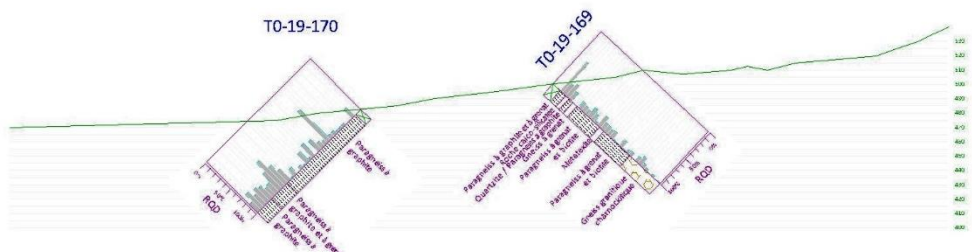
Coupe B - B



Coupe C - C



Coupe D - D



NOUVEAU MONDE GRAPHITE INC.

PLANCHE 3 - FORAGES 2019  
Lithologie et RQD

Échelle 1 : 5 000

Préparé par : Sacha Friedlin Ing.

08-10-2019

F8 ROC & FALAISES INC.



### Résistance en compression

Les résistances en compression uniaxiale, modules d'élasticité et coefficients de Poisson obtenus à partir des sept échantillons sélectionnés en 2019 sont présentés au tableau ci-dessous (réf.:#3). Ces essais montrent des résistances en compression élevées avec une moyenne de 169 MPa.

Essais de compression 2019							
Forage	profondeur m	Échantillon	Type de roc	Co MPa	E GPa	v	Masse Volumique kg/m <sup>3</sup>
TO-19-176	46,3	#2a	Paragneiss à quartz, grenat et biotite	179,5	68,2	0,12	2625
TO-19-176	46,3	#2b		149,5			2624
TO-19-176	58,5	#3a	Paragneiss à quartz, grenat et biotite	183,3	76,8	0,27	3018
TO-19-176	58,5	#3b		192,9			3018
TO-19-170	46,2	#7	Paragneiss à graphite	73,9	56,7	0,16	2717
TO-19-176	44	#8a	Paragneiss à grenat et biotite	243,6	60,7	0,21	2624
TO-19-176	44	#8b		163,7			2609
MOYENNE:				169	66	0,19	2748

Les valeurs des essais réalisés en 2017 (présentées dans le tableau ci-dessous) n'ont pas été retenues pour l'étude des parois au sud du gisement, parce que la résistance en compression du roc est beaucoup plus faible que celles mesurées en 2019. Ces différences sont dues possiblement au gel et dégel des échantillons de roc ou à la localisation des forages qui semble être plus dans la zone minéralisée qui est moins résistante.

Essais de compression 2017 (non retenus à cause du gel/dégel & dans la zone minéralisée)							
Forage	profondeur m	Échantillon	Type de roc	Co MPa	E GPa	v	Masse Volumique kg/m <sup>3</sup>
TO-15-37	174,9	#1-1	Paragneiss à graphite et pegmatite	81,4	-	-	2690
TO-15-37	175,3	#1-2	Paragneiss à graphite et pegmatite	48,3	-	-	2720
TO-15-37	176,7	#1-3	Paragneiss à graphite et pegmatite	44,1	-	-	2820
TO-15-39	115,3	#2-1	Gneiss à grenat	136,8	-	-	2690
TO-15-39	115,6	#2-2	Gneiss à grenat	29,2	-	-	2820
TO-15-39	116,1	#2-3	Gneiss à grenat	41,4	-	-	2790
TO-15-39	119,2	#2-4	Paragneiss à grenat et paragneiss à graphite	64	-	-	2840
TO-15-71	177,3	#4-1	Roche calco-silicatée	67,7	-	-	2660
TO-15-71	178,1	#4-2	Roche calco-silicatée	113,9	-	-	3700
TO-16-82	233,9	#5-1	Paragneiss à grenat et paragneiss à graphite	49,7	-	-	2990
TO-16-82	234,3	#5-2	Paragneiss à grenat et paragneiss à graphite	77,7	-	-	2760
TO-16-82	235,7	#5-3	Paragneiss à graphite	85,4	-	-	2660
TO-16-84	121,2	#6-1	Gneiss à grenat	54,3	-	-	2820
MOYENNE:				69			2843

**Système de classification RMQ ou indice Q**

Le RMQ "Rock Mass Quality" ou l'indice Q (réf.: #4) est estimé à 5,87, ce qui correspond à une masse de roc de qualité moyenne.

Paramètres et pondérations de la classification géomécanique RMQ :

<b>Nombre de famille de diaclases</b>		<b>J<sub>n</sub></b>			
Massif, peu ou pas de diaclases		0,5-1			
Une famille de diaclases		2			
Une famille et diaclases aléatoires		3			
Deux familles de diaclases		4			
Deux familles et diaclases aléatoires		6			
Trois familles de diaclases		9			
		1. Pour une intersection, utilisez 3 x J <sub>n</sub>			
Trois familles et diaclases aléatoires		12			
Quatre familles et plus, diaclases aléatoires très nombreuses		15			
		2. Pour un portail, utilisez 2 x J <sub>n</sub>			
Roche concassée, semblable à un sol		20			
<b>Rugosité des diaclases</b>					
<i>parois en contact</i>		<b>J<sub>r</sub></b>			
Diaclases discontinues		4			
Rugueuses, irrégulières, ondulées		3			
Lisses, ondulées		2			
Très lisses, ondulées		1,5			
		1. Ajoutez 1,0 si l'espacement moyen de la famille dominante > 3m			
Rugueuses ou irrégulières, planaires		1,5			
Lisses, planaires		1			
Très lisses, planaires		0,5			
<i>parois séparées lorsque cisailé</i>		<b>J<sub>r</sub></b>			
Zones avec remplissage de minéraux argileux assez épais pour empêcher le contact des parois		1			
Zones sableuses, de gravier ou concassée assez épaisse pour empêcher le contact des parois		1			
<b>Altération des diaclases</b>					
<i>parois en contact</i>	<b>J<sub>a</sub></b>	<i>parois en contact lorsque cisailées</i>	<b>J<sub>a</sub></b>	<i>parois séparées lorsque cisailées</i>	<b>J<sub>a</sub></b>
Dure, élastique, remplissage imperméable	0,75	Particules sableuses, sans argile	4	Zones de roche concassée	6
Non altérées, salissage de surface seulement	1	Minéraux argileux, sur-consolidés, épaisseur < 5 mm	6	Roche et argile	8-12
Légèrement altérées, minéraux non déformables, particules sableuses etc.	2	Minéraux argileux, moyennement sur-consolidés, épaisseur < 5 mm	8	Zones silteuses, sablueuses, avec une faible fraction d'argile	5
Remplissage silteux, sableux, avec une faible fraction d'argile	3	Remplissage argileux gonflant, épaisseur < 5 mm	8-12	Zones ou bandes épaisses d'argile	10-13
Matériaux déformables, i.e kaolinite, mica etc, épaisseur < 1-2 mm	4				

<b>Infiltration d'eau</b>		<b>J<sub>w</sub></b>	<b>Pression d'eau (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>			
Sec ou infiltration mineure < 5 l/m		1	< 1,0			
Infiltration moyenne, lessivage occasionnel		0,66	1,0-2,5			
Infiltration importante, roc compétant sans remplissage		0,5	2,5-10			
Infiltration importante		0,33	2,5-10			
Infiltration exceptionnellement importante après sautage, réduction dans le temps		0,2-0,1	> 10			
Infiltration exceptionnellement importante		0,1-	> 10			
		0,05				
<b>Facteur de réduction de contrainte</b>						
<i>Zone de faiblesse intersectant l'excavation</i>		<b>SRF</b>	<b>Roc compétant, problèmes de contraintes élevées</b>	<b>ca/ct</b>	<b>ca/ct</b>	<b>SRF</b>
Occurrences multiples de la zone, remplissage argileux, massif désenchevêtré		10	Faibles contraintes, près de la surface	> 200	> 13	2,5
Zone unique, profondeur de Texc. < 50 m		5	Contraintes moyennes	10-200	0,66-13	1
Zone unique, profondeur de Texc. > 50 m		2,5	Contraintes élevées	5-10	0,33-0,66	0,5-2
Zones multiples dans du roc compétant, sans argile		7,5	Coups de terrain faibles	< 2,5	< 0,16	10-20
Zone unique dans du roc compétant, sans argile, profondeur < 50 m		5				
Zone unique dans du roc compétant, sans argile, profondeur > 50 m		2,5				
Diaclases ouvertes, massif très fracturé		5				
<i>Roc comprimé, déformations plastiques, contraintes élevées</i>			<i>Roche gonflante</i>			
Pression de compression relativement faible		5-10	Pression de gonflement faible			5-10
Pression de compression élevée		10-20	Pression de gonflement élevée			10-15

$$Q = \left[ \frac{RQD}{J_N} \right] \cdot \left[ \frac{J_R}{J_A} \right] \cdot \left[ \frac{J_W}{SRF} \right] = 5,874$$

Indice Q	Qualité de la masse rocheuse
0,001 - 0,01	Exceptionnellement pauvre
0,01 - 0,1	Extrêmement pauvre
0,1 - 1	Très pauvre
1 - 4	Pauvre
4 - 10	Moyenne
10 - 40	Bonne
40 - 100	Très bonne
100 - 400	Extrêmement bonne
400 - 1000	Exceptionnellement bonne

**Système de classification RMR**

Selon la cartographie de surface, l'espacement des joints varie entre 0,2 mètre et 5 mètres avec une moyenne estimée à 1 mètre. Le RMR "Rock Mass Rating" (réf.: #5) est estimé à 61 ce qui correspond à une masse de roc de bonne qualité.

Paramètres et pondérations de la classification géomécanique RMR :

<b>A1 :</b>	Résistance de la roche intacte, $\sigma_c$ (MPa)	> 200	100 - 200	50 - 100	25 - 50	10 - 25	3 - 10	1 - 3
<b>Cote</b>		15	12	7	4	2	1	0
<b>A2 :</b>	RQD (%)	90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
<b>Cote</b>		20	17	13	8	3		
<b>A3 :</b>	Espacement des diaclases (m)	> 3	1 - 3	0,3 - 1	0,05 - 0,3	< 0,05		
<b>Cote</b>		30	25	20	10	5		
<b>A4 :</b>	Condition des joints	Aucune altération	Faible	Moyenne	Élevé	Extrême		
<b>Cote</b>		25	20	12	6	0		
<b>A5 :</b>	débit/10 m de longueur de tunnel	aucun		< 25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min		
	ou Pression d'eau	0		0,0 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
	Contrainte principale							
	ou conditions générales	sec		mouillé	suintement	écoulement		
<b>Cote</b>		10		7	4	0		

Cote A6 : Ajustement pour l'orientation des joints (pour les murs est et ouest)

Indicateur de pendage d'orientation des joints	Très Favorable	Favorable	Moyen	Défavorable	Très Défavorable
<b>Cote</b>	<b>0</b>	<b>-2</b>	<b>-5</b>	<b>-10</b>	<b>-12</b>
Direction perpendiculaire à l'axe du tunnel			Direction parallèle à l'axe du tunnel		<b>P : 0° - 20°</b>
Forage suivant pendage (P)	Forage contre pendage (P)				
<b>P : 45° - 90°</b>	<b>P : 20° - 45°</b>	<b>P : 45° - 90°</b>	<b>P : 20° - 45°</b>	<b>P : 45° - 90°</b>	<b>P : 20° - 45°</b>
Très Favorable	Favorable	Moyen	Défavorable	Très Défavorable	Moyen
					Défavorable

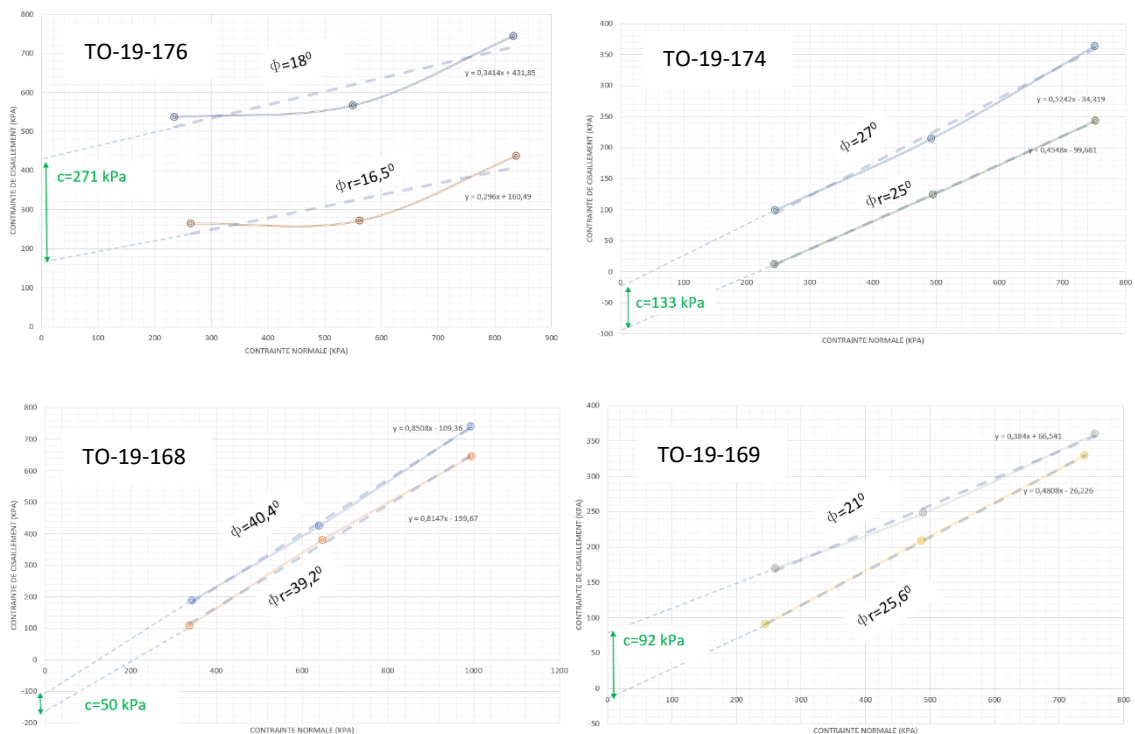
$RMR = A1 + A2 + A3 + A4 + A5 + A6 = 61$

Cote	100 - 81	80 - 61	60 - 40	40 - 21	< 20
Description	Très bonne	Bonne	moyenne	Faible	Très faible
Classe No.	I	II	III	IV	V
Cohésion du massif ( $c_m$ ), kPa	> 300	200 - 300	150 - 200	100 - 150	< 100
Angle de friction du massif ( $\phi_m$ )	> 45°	40° - 45°	35° - 40°	30° - 35°	< 30°

Résistance au cisaillement mesurée en laboratoire

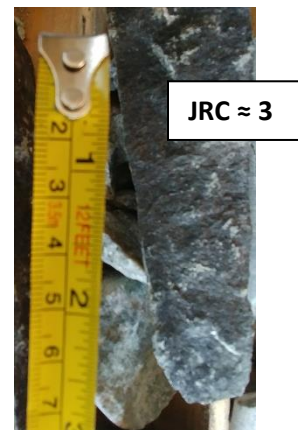
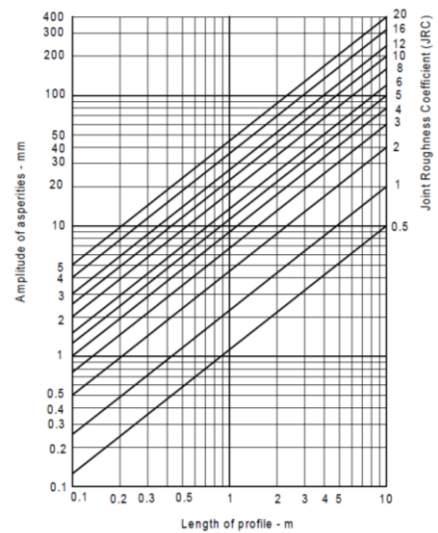
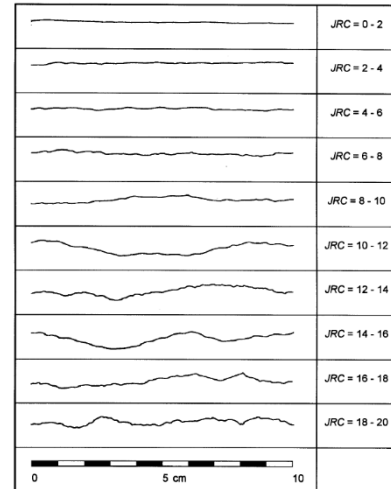
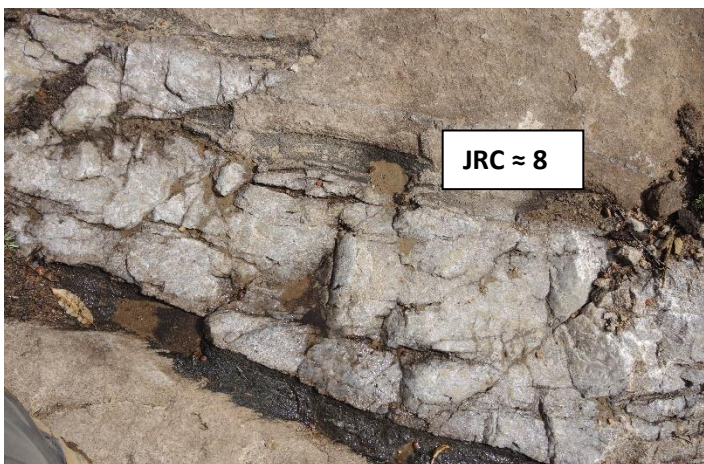
À partir des échantillons de forages, quatre fissures ayant une orientation défavorable à la stabilité ont été sélectionnées pour réaliser des essais de cisaillement. Les résultats de ces essais sont présentés ci-dessous (réf.:#3). La valeur moyenne des angles de friction et de cohésion extrapolés est de 27° et 137 kPa. Les essais de résistance au cisaillement ont donné des valeurs très variables, qui dépendent principalement de la condition des interfaces testées (rugosité, altération). Les valeurs déterminées sur les carottes ne peuvent pas être directement extrapolées au massif rocheux, notamment en raison de la faible taille de l'échantillonnage et de l'effet d'échelle. Les fissures observées sur une plus grande distance (sur les affleurements de roc) montrent plus d'irrégularité.

Forage	Profondeur	Échantillon	Type de roc	Résistance au pic		Résistance résiduel		Angle de friction	Cohésion (kPa)
				Contrainte de cisaillement (kPa)	Contrainte normale (kPa)	Contrainte de cisaillement (kPa)	Contrainte normale (kPa)		
TO-19-176	30,3	#1-0,250MPa	Paragneiss à grenat et paragneiss à graphite	537	235	265	264	18	271
TO-19-176	30,3	#1-0,500MPa		567	550	272	562		
TO-19-176	30,3	#1-0,750MPa		744	833	437	838		
TO-19-174	80,5	#4-0,250MPa	Paragneiss à grenat et paragneiss à graphite	99	245	12	244	27	133
TO-19-174	80,5	#4-0,500MPa		214	492	124	495		
TO-19-174	80,5	#4-0,750MPa		364	751	243	752		
TO-19-168	24,7	#5-0,250MPa	Gneiss granitique charnockitique	188	343	109	338	40	50
TO-19-168	24,7	#5-0,500MPa		425	640	381	648		
TO-19-168	24,7	#5-0,750MPa		741	994	645	995		
TO-19-169	57,8	#6-0,250MPa	Paragneiss à grenat et biotite	170	260	91	245	21	92
TO-19-169	57,8	#6-0,500MPa		248	490	209	487		
TO-19-169	57,8	#6-0,750MPa		360	756	329	740		



**Estimation de JRC**

Le JRC "Joint Roughness Coefficient" a été évalué à partir des carottes de forage et de la cartographie de surface (réf.: #6). Les mesures estimées du JRC varient entre 1 et 12 et une moyenne de 5 a été retenue pour cette étude de stabilité.

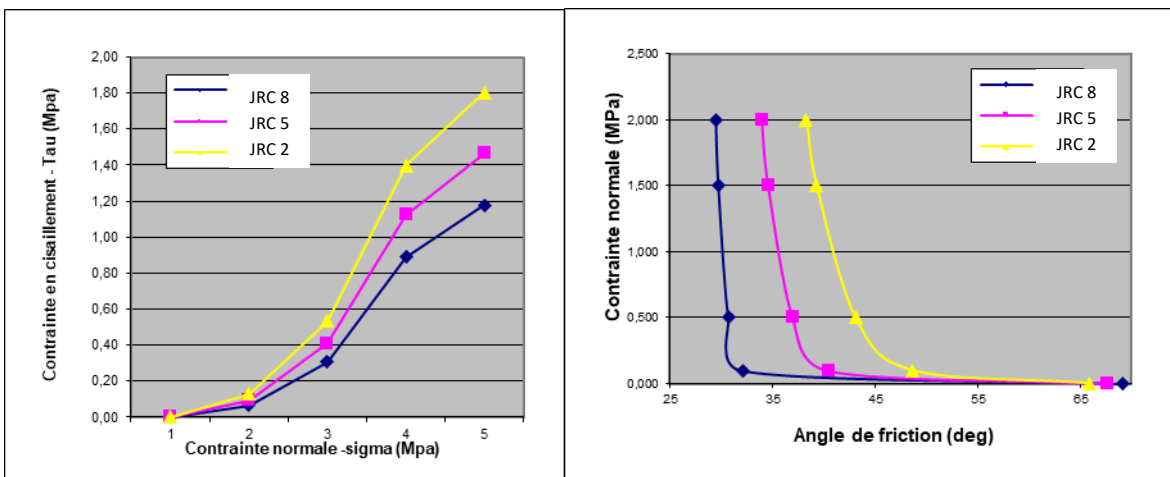


Estimation de la résistance au cisaillement à partir du JRC (réf.:#7)

Équation:  $\tau = \sigma_n \tan (\Phi_r + JRC \times \log_{10}(JCS/\sigma_n))$

Données:	$\Phi_r$	26	26	26
	JRC	2	5	8
	JCS	169	169	169
	$\sigma_n$ MIN	3,4E-20	3,5E-07	6,4E-04

JRC	Résultats				
	Contrainte Normale $\sigma_n$ MPa	Contrainte Cisaillement $\tau$ MPa	dTAU dSIGN DTDS MPa	Angle de Friction $\Phi$ Degrés	Cohésion COH MPa
2	3,37E-20	9,26E-20	2,618	69,094	0,000
2	0,1	0,065	0,629	32,179	0,002
2	0,5	0,308	0,596	30,781	0,010
2	1,5	0,891	0,573	29,827	0,031
2	2,0	1,176	0,568	29,577	0,041
5	3,53E-07	9,70E-07	2,423	67,578	0,000
5	0,1	0,092	0,854	40,490	0,007
5	0,5	0,408	0,754	37,005	0,032
5	1,5	1,125	0,691	34,625	0,089
5	2,0	1,466	0,675	34,002	0,117
8	0,001	0,002	2,229	65,838	0,000
8	0,1	0,130	1,137	48,657	0,016
8	0,5	0,533	0,937	43,122	0,065
8	1,5	1,399	0,820	39,337	0,170
8	2,0	1,802	0,791	38,345	0,220



### Paramètres mécaniques retenus pour les joints

Le tableau ci-dessous présente les valeurs moyennes de cohésion et d'angle de friction estimées selon la méthode de Barton 1977 à partir des données obtenues de la cartographie de surface, des carottes de forages et des essais laboratoire réalisés en 2019.

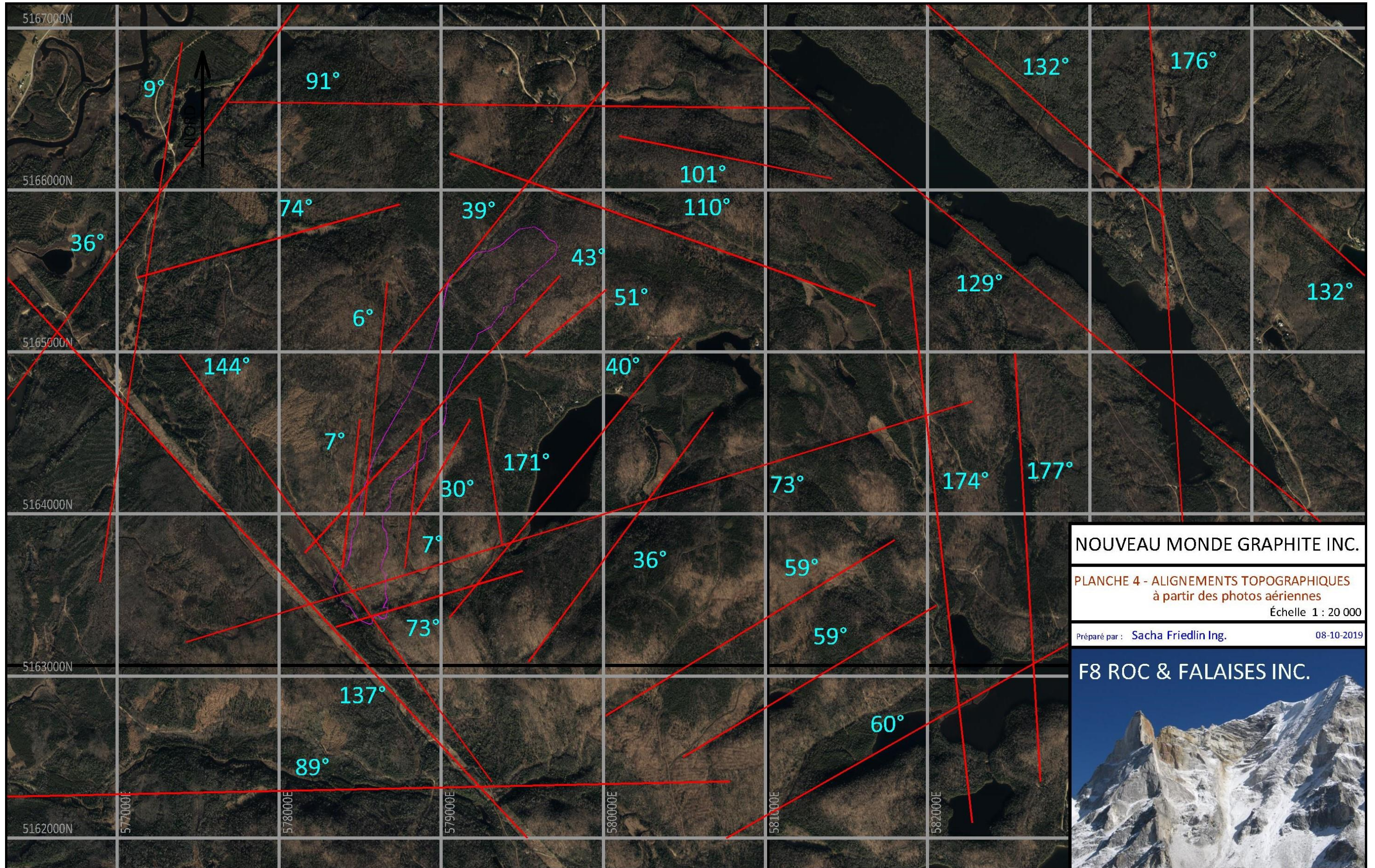
Joints lisses (JRC=2)		Moyenne des joints (JRC=5)		Joints rugueux (JRC=8)	
Cohésion (MPa)	Angle de friction	Cohésion (MPa)	Angle de friction	Cohésion (MPa)	Angle de friction
0,01-0,04	29-30°	0,03-0,12	34-37°	0,07-0,22	38-43°

### Alignements topographiques

Une étude des photos aériennes a permis de discerner des alignements topographiques. Ces alignements sont présentés sur la Planche 4. Les alignements à 6° et 7° coïncident avec l'orientation de la foliation observée en forage et en surface.

### Orientation des structures

Les orientations des structures ont été traitées et présentées sous forme de stéréonets. Ces stéréonets ont été obtenus à l'aide du logiciel *Dips*. La correction de Terzaghi a été appliquée. La planche 5 et les pages suivantes présentent les différents stéréonets étudiés. La sélection des familles de joints pour chaque direction de mur étudié est présentée à la page 20.

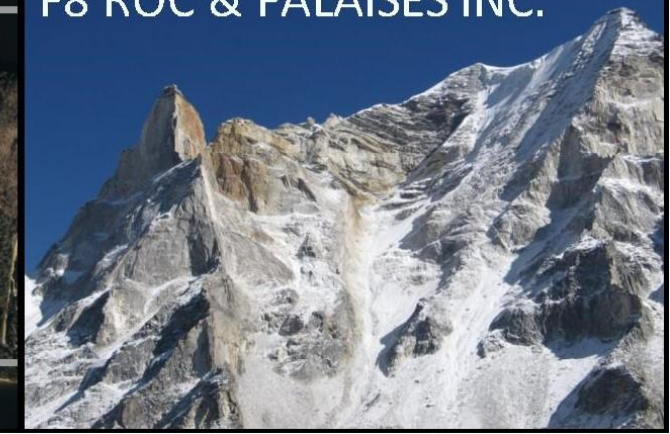


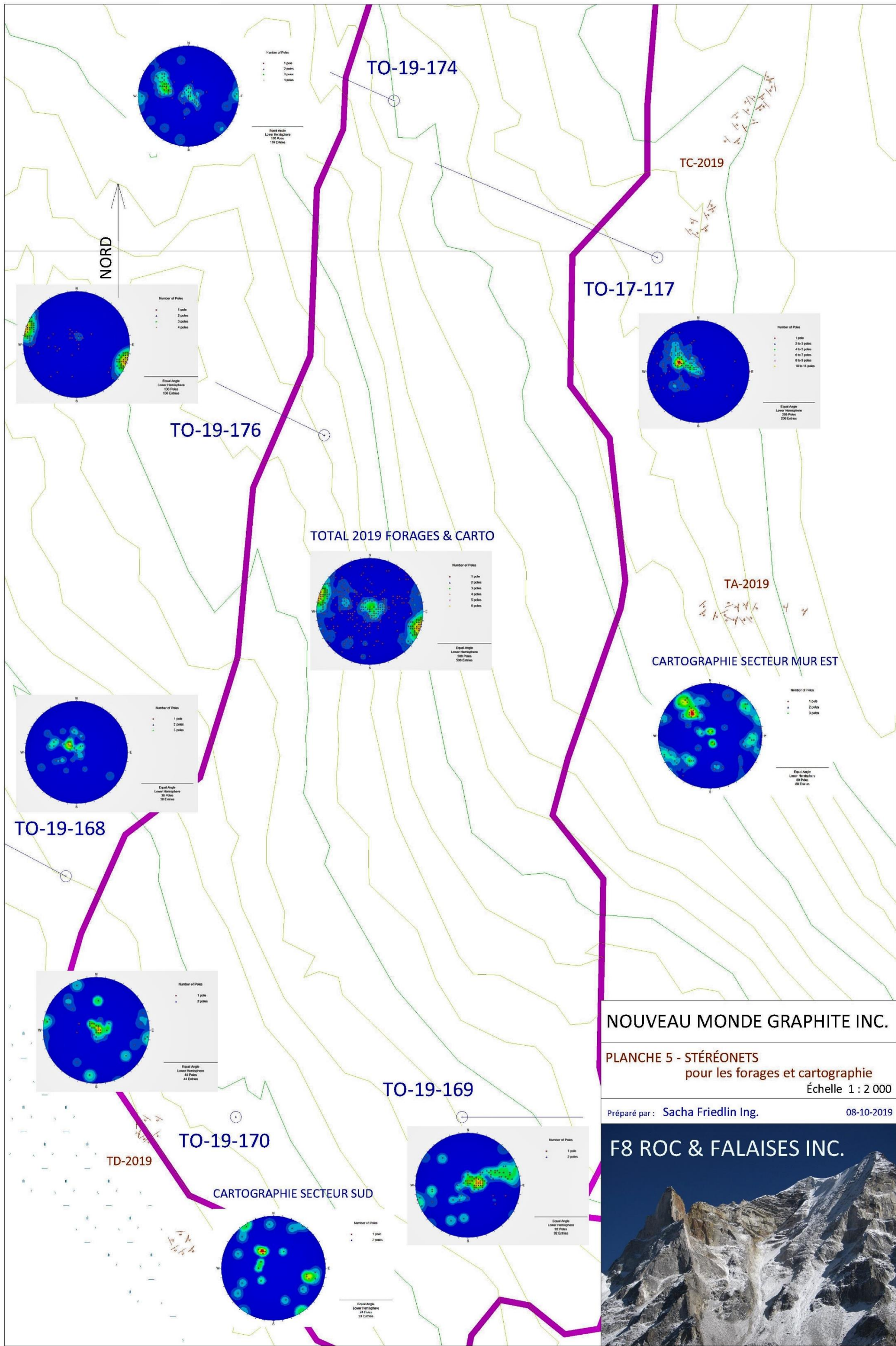
NOUVEAU MONDE GRAPHITE INC.

PLANCHE 4 - ALIGNEMENTS TOPOGRAPHIQUES  
à partir des photos aériennes  
Échelle 1 : 20 000

Préparé par : Sacha Friedlin Ing. 08-10-2019

F8 ROC & FALAISES INC.





NOUVEAU MONDE GRAPHITE INC.

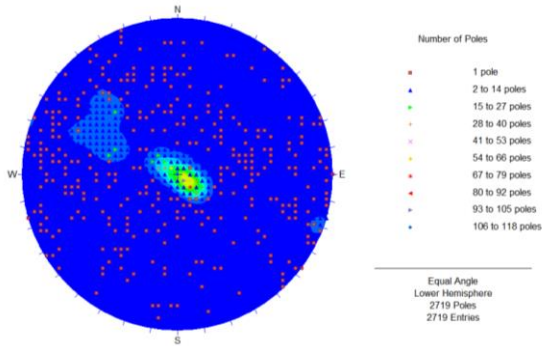
PLANCHE 5 - STÉRÉONETS  
pour les forages et cartographie  
Échelle 1 : 2 000

Préparé par : Sacha Friedlin Ing. 08-10-2019

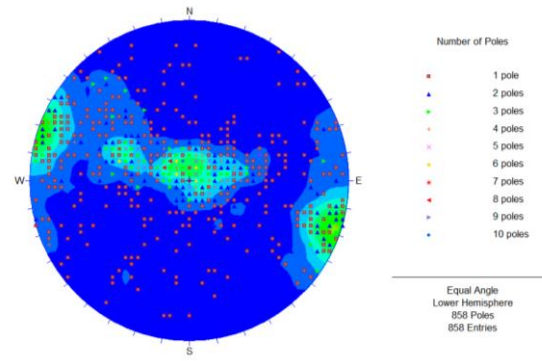


F8 ROC & FALAISES INC.

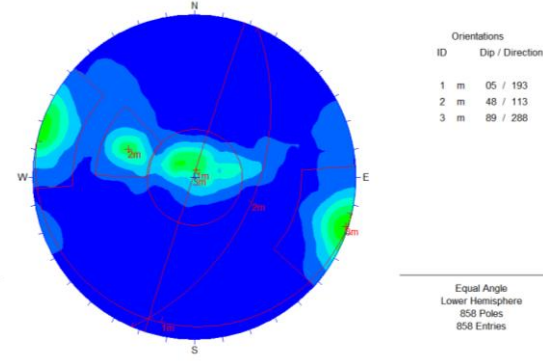
Toutes les mesures de 2017 et de 2019



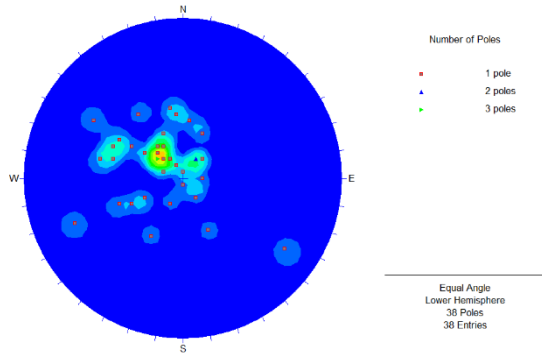
Toutes les mesures de 2019



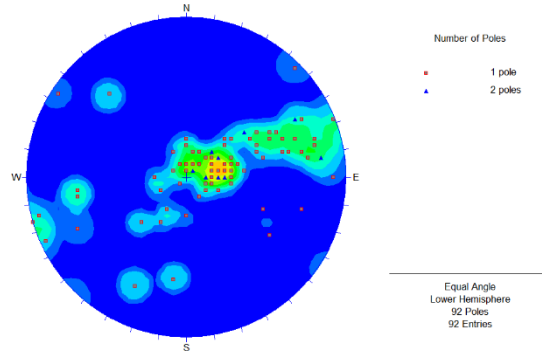
Regroupement de toutes les mesures de 2019



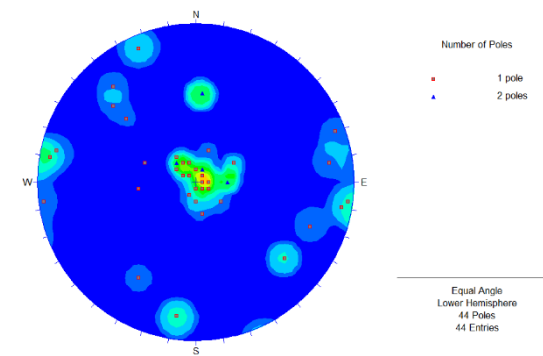
TO-19-168



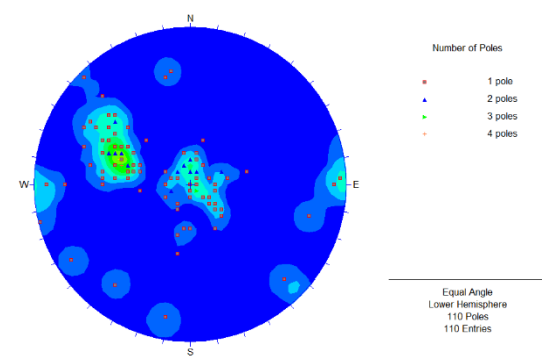
TO-19-169



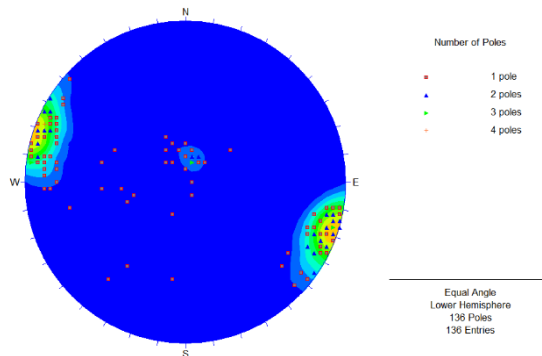
TO-19-170



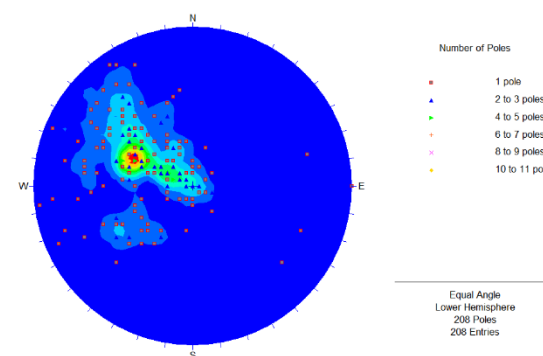
TO-19-174



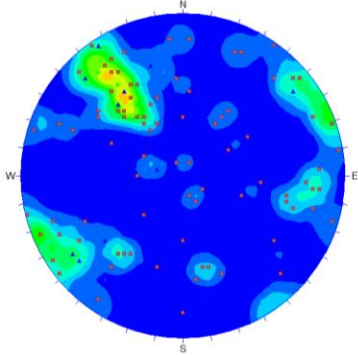
TO-19-176



TO-17-117



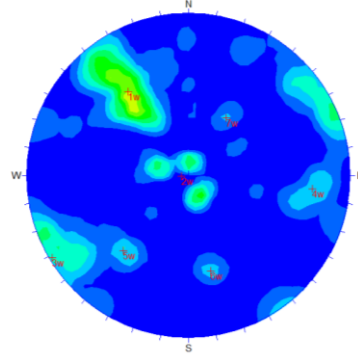
Cartographie de surface



Number of Poles  
 1 pole  
 2 poles  
 3 poles

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 119 Poles  
 119 Entries

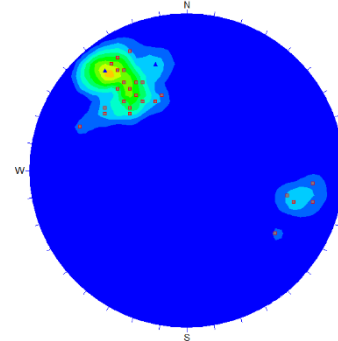
Regroupement pour la cartographie de surface



Orientations  
 ID Dip / Direction  
 1 w 85 / 144  
 2 w 05 / 083  
 3 w 89 / 059  
 4 w 75 / 276  
 5 w 63 / 041  
 6 w 62 / 347  
 7 w 46 / 213

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 119 Poles  
 119 Entries

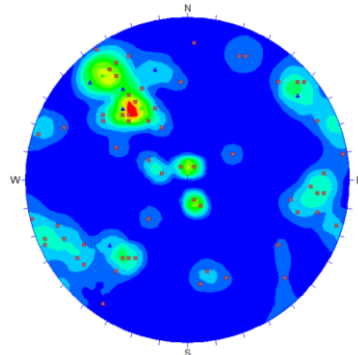
Foliation mesurée en surface



Number of Poles  
 1 pole  
 2 poles  
 3 poles

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 32 Poles  
 32 Entries

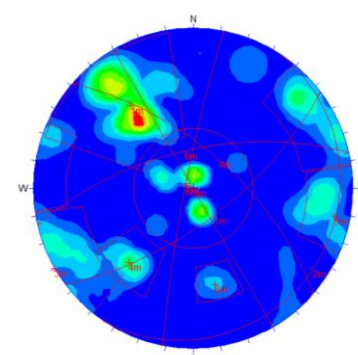
Cartographie de surface - secteur mur est



Number of Poles  
 1 pole  
 2 poles  
 3 poles

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 80 Poles  
 80 Entries

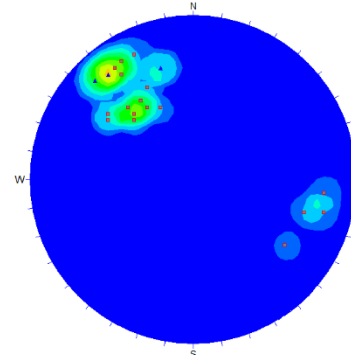
Regroupement cartographie secteur mur est



Orientations  
 ID Dip / Direction  
 1 m 66 / 143  
 2 m 06 / 124  
 3 m 90 / 060  
 4 m 63 / 041  
 5 m 84 / 281  
 6 m 63 / 347

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 80 Poles  
 80 Entries

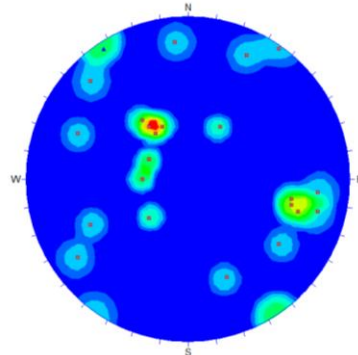
Foliation mesurée en surface – secteur mur est



Number of Poles  
 1 pole  
 2 poles

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 23 Poles  
 23 Entries

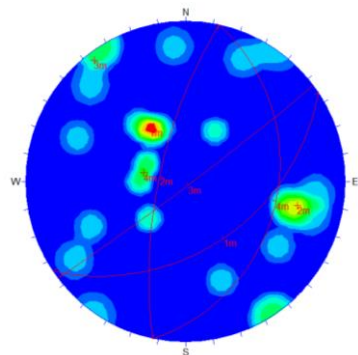
Cartographie de surface - secteur mur sud-ouest



Number of Poles  
 1 pole  
 2 poles

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 24 Poles  
 24 Entries

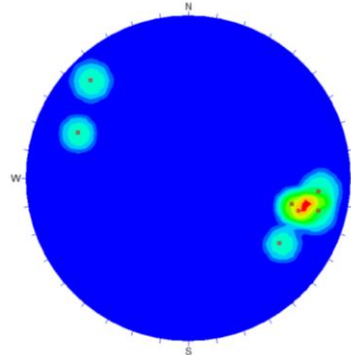
Regroupement cartographie secteur mur sud-ouest



Orientations  
 ID Dip / Direction  
 1 m 44 / 146  
 2 m 71 / 282  
 3 m 87 / 143  
 4 m 30 / 102

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 24 Poles  
 24 Entries

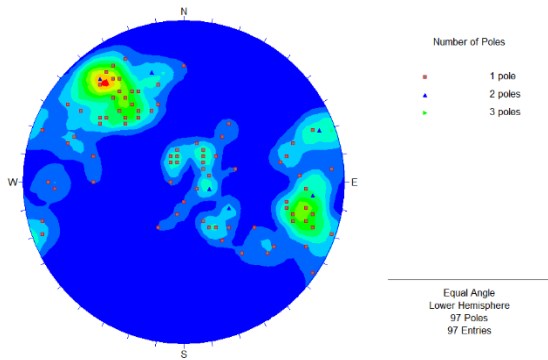
Foliation mesurée en surface – secteur mur sud-ouest



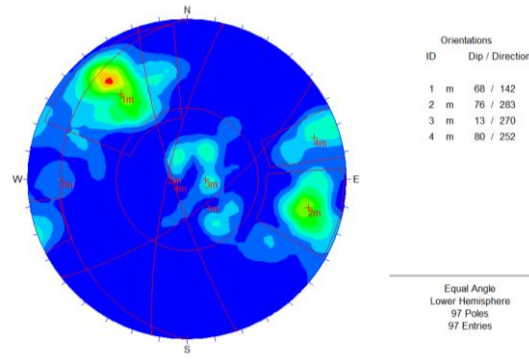
Number of Poles  
 1 pole

Equal Angle  
 Lower Hemisphere  
 7 Poles  
 7 Entries

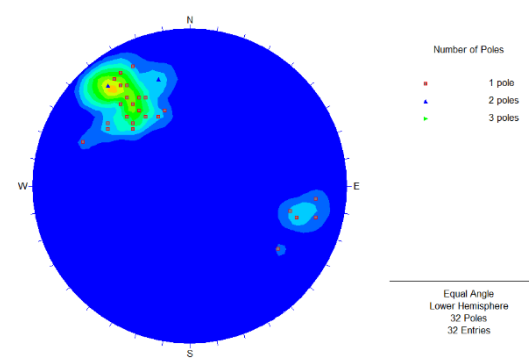
Toutes les mesures de foliation mesurés en 2019



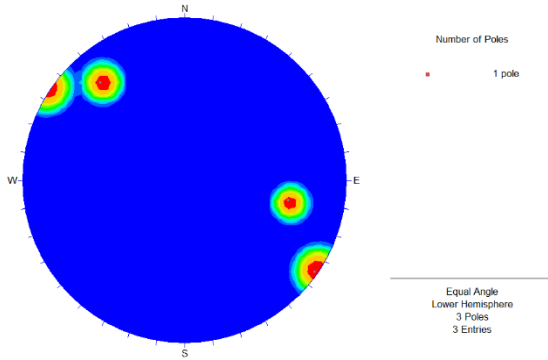
Regroupement des mesures de foliation



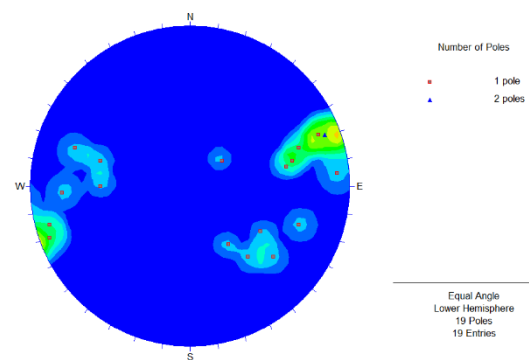
Foliation mesurée en surface



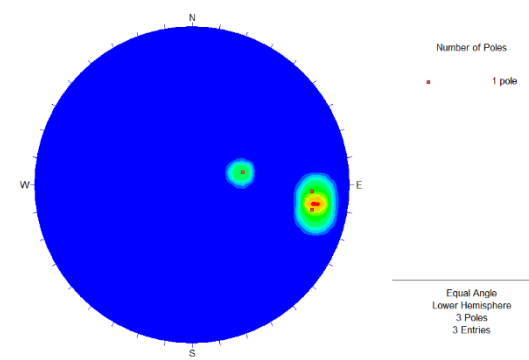
Foliation mesurée dans TO-19-168



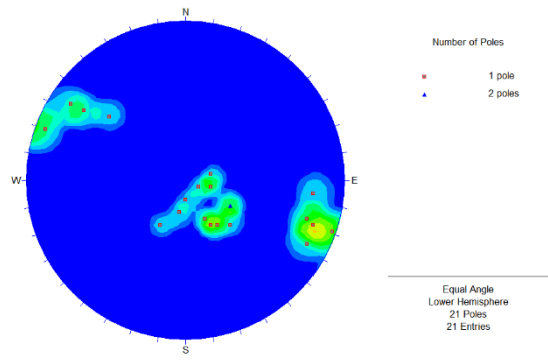
Foliation mesurée dans TO-19-169



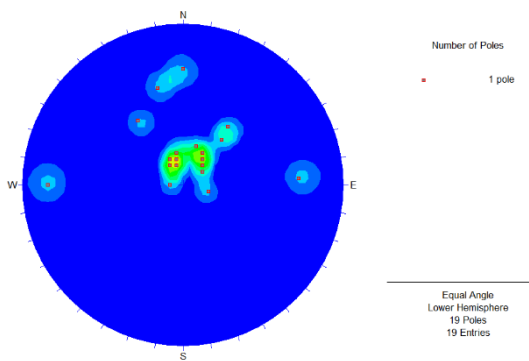
Foliation mesurée dans TO-19-170



Foliation mesurée dans TO-19-174

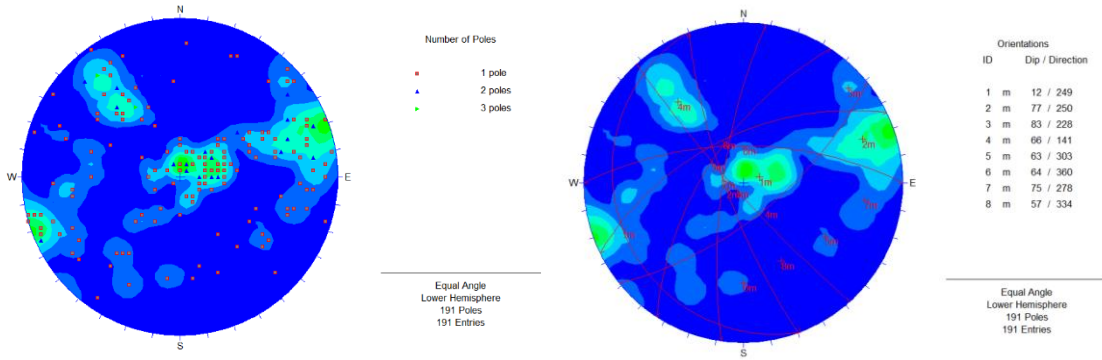


Foliation mesurée dans TO-19-176

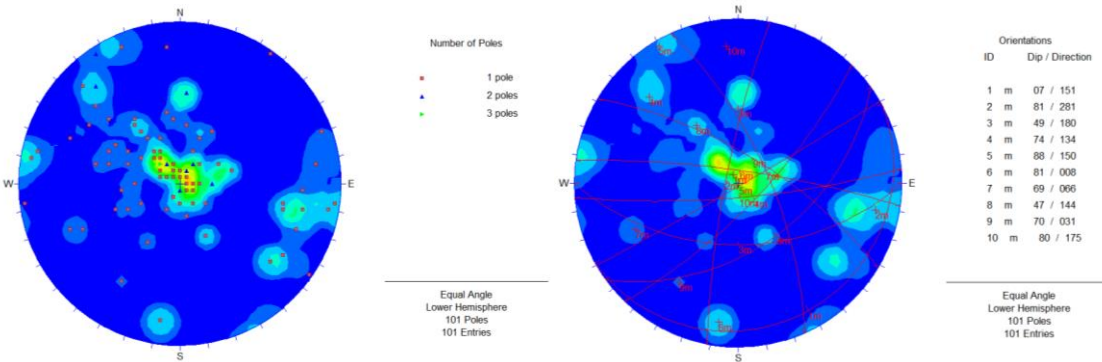


# Projet : Nouveau Monde Graphite

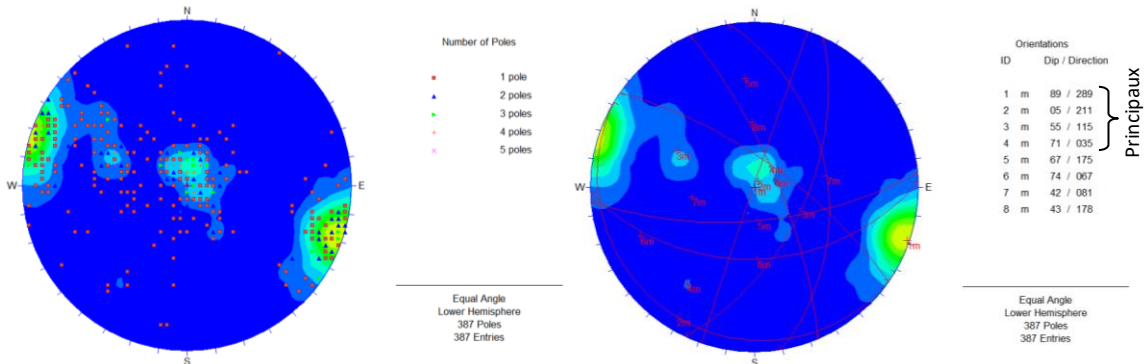
Pour l'étude du mur est à 270° - Cartographie secteur est (détails 2 à 5 sur la planche 3) avec TO-19-169



Pour l'étude du mur sud-ouest à 55° - Cartographie secteur sud avec TO-19-168 et TO-19-170



Pour l'étude du mur ouest à 101° - Cartographie secteur sud, TO-19-168, 170, 174 et 176



## Coefficient sismique

Selon Ressources Naturelles Canada et le Code du Bâtiment 2015, l'accélération maximale du sol (PGA) pour cette zone est de 0.122g (avec une probabilité de dépassement dans 50 ans de 2%).

### Calcul de l'aléa sismique - Code National du Bâtiment 2015

INFORMATION: Canada de l'Est Français (613) 995-0600 Anglais (613) 995-5548 Télécopieur (613) 992-8836  
Canada de l'Ouest Anglais (250) 363-6500 Télécopieur (250) 363-6565

Site: 46.669N 73.957W
Bibliographie fichier utilisateur: Sacha Friedlin
2019-11-05 21:54 UT

Demandeur: Sacha Friedlin, F8 Roc Falaises Inc.

Probabilité de dépassement par année	0.000404	0.001	0.0021	0.01
Probabilité de dépassement dans 50 ans	2 %	5 %	10 %	40 %
Sa (0.05)	0.162	0.107	0.073	0.030
Sa (0.1)	0.212	0.144	0.101	0.043
Sa (0.2)	0.198	0.137	0.098	0.043
Sa (0.3)	0.165	0.115	0.083	0.036
Sa (0.5)	0.133	0.092	0.066	0.028
Sa (1.0)	0.079	0.054	0.038	0.015
Sa (2.0)	0.042	0.028	0.019	0.006
Sa (5.0)	0.012	0.007	0.004	0.001
Sa (10.0)	0.005	0.003	0.002	0.001
PGA (g)	0.122	0.082	0.057	0.024
PGV (m/s)	0.117	0.076	0.051	0.019

Remarques. Spectral (Sa (T), où T est la période en secondes) et l'accélération maximale du sol (PGA) sont données en unités de g (9.81 m/s<sup>2</sup>). La vitesse maximale du sol est donnée en m/s. Les valeurs sont pour la "terre ferme" (CNBC2015 Site Classe C, la vitesse moyenne des ondes de cisaillement de 450 m/s). Les valeurs du CNBC2015 et de CSAS6-14 sont spécifiés en caractères gras. Trois périodes supplémentaires sont fournis - leur utilisation est documenté dans les commentaires CNBC2015. Seuls 2 chiffres significatifs doivent être utilisés. Ces valeurs ont été interpolées à partir d'une grille de points de 10 km de distance. Selon le gradient des points à proximité, les valeurs peuvent varier. Plus de 95 pour cent des valeurs interpolées sont à 2 pour cent des valeurs calculées.

---

#### Bibliographie

Le code national du bâtiment du Canada 2015 NRCC no. 56190F; Annexe C: Information climatique pour la conception des bâtiments au Canada - table dans l'Annexe C

Commentaires sur le calcul des structures (Guide de l'utilisateur - CNB 2015 : partie 4 de la division B)  
Commentaire J: Conception pour des effets sismiques

Commission Géologique du Canada Dossier public 7893 Cinquième génération du modèle des risques sismiques au Canada: Valeurs de grille pour être utilisés avec le Code national du bâtiment du Canada 2015

Voir les sites webs [www.SeismesCanada.ca](http://www.SeismesCanada.ca) et [www.nationalcodes.ca](http://www.nationalcodes.ca) pour plus d'information

Natural Resources Canada / Ressources naturelles Canada

Canada

### ANALYSE DE STABILITÉ

Étant donné la bonne résistance du roc, la stabilité des parois est contrôlée par les propriétés et l'orientation des discontinuités. Le relâchement de contrainte généré par l'excavation est négligeable comparativement à l'effet déstabilisant des discontinuités dans le massif rocheux. Donc, aucune analyse numérique en utilisant la méthode des éléments finis n'est requise pour cette étude. Ces méthodes d'analyse numérique sont utilisées pour représenter les contraintes dans le massif et étudier les déformations du massif rocheux. La présente étude de stabilité va plutôt se concentrer sur l'analyse des blocs rocheux et le parcours des débris de roc.

#### **Analyses des blocs rocheux**

Les analyses de stabilité des blocs rocheux ci-dessous ont été réalisées à l'aide du logiciel *Swedge*. Ce logiciel évalue la géométrie en 3D et la stabilité de blocs formés par des excavations de surface dans un massif rocheux contenant des discontinuités structurales dont les orientations sont connues. Le modèle de Mohr-Coulomb a été utilisé dans toutes les analyses comme loi de comportement à la rupture. Les forces déstabilisatrices, telles que le poids même du bloc, la présence d'eau dans les discontinuités et les secousses sismiques ou autres forces externes quelconques, sont comparées aux forces stabilisatrices générées par la résistance au cisaillement des plans structuraux, afin d'obtenir un coefficient de sécurité contre le glissement. Le coefficient de sécurité utilisé dans ce rapport pour évaluer les angles de pente maximale d'excavation est de 1,3 (réf.: #6). Les paramètres mécaniques des joints qui ont été retenus sont ceux présentés à la page 14 pour un joint moyen, ce qui correspond à une cohésion de 80 kPa et un angle de friction de 35 degrés. Une densité du roc de 2,7 et un coefficient de séisme de 0,12 ont été utilisés.

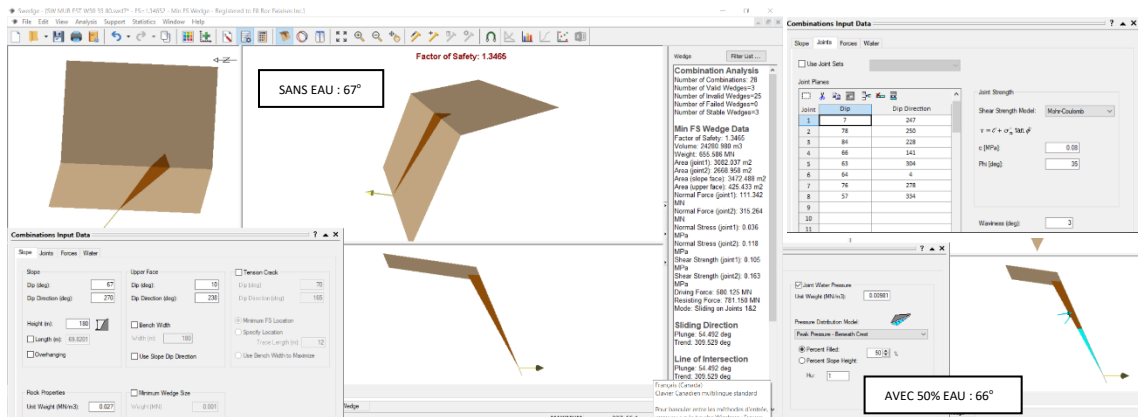
La persistance des joints n'étant pas connue, la longueur des joints n'a pas été limitée pour les analyses des blocs rocheux. Les dimensions des blocs rocheux sont en fonction de la hauteur des murs.

Pour chaque orientation de mur, toutes les combinaisons possibles des 8 ou 10 regroupements de joints ont été analysées. Lorsqu'un bloc rocheux est formé par une combinaison, le coefficient de sécurité de ce bloc a été évalué et lorsque ce coefficient est inférieur à 1,3, l'angle de pente général du mur où le bloc atteint un facteur de 1,3 a été déterminé.

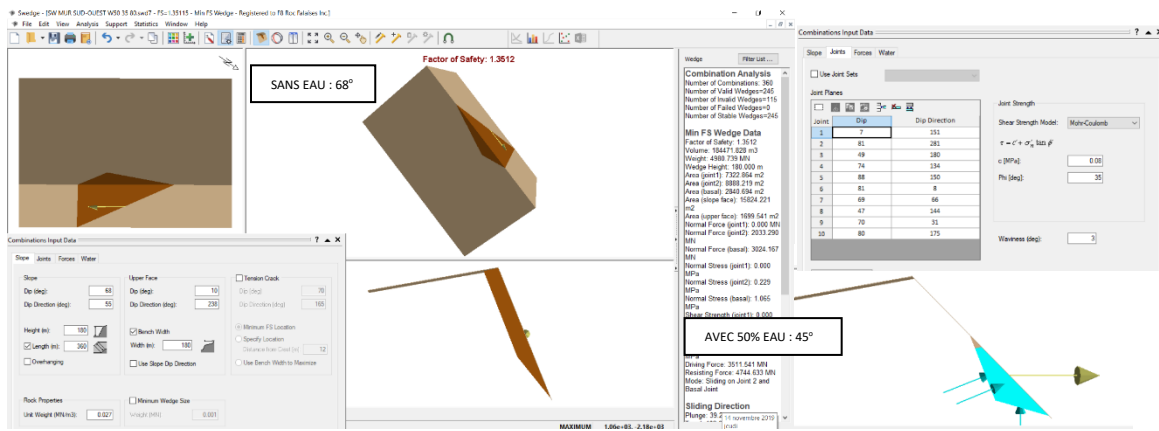
Les analyses supposent des cas où les joints sont localisés aux endroits le plus défavorable et les joints sont présumés continus.

# Projet : Nouveau Monde Graphite

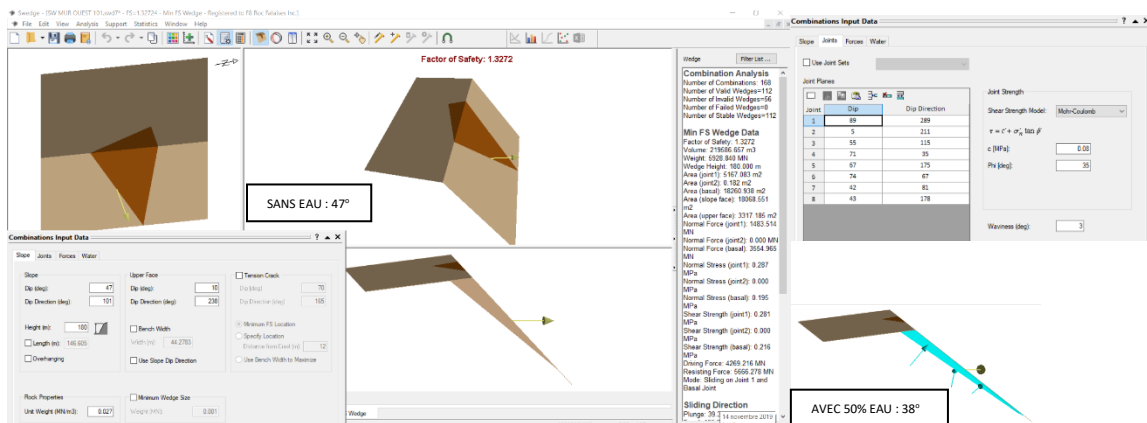
## MUR EST (270°)



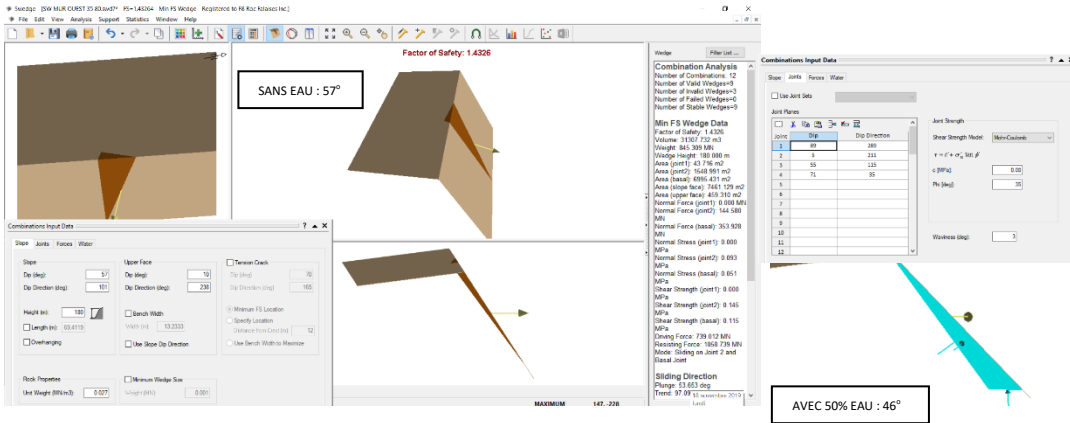
## MUR SUD-OUEST (55°)



## MUR OUEST (101°) en considérant tous les regroupements



## MUR OUEST (101<sup>0</sup>) en considérant les regroupements principaux



L'analyse des blocs rocheux montre l'influence importante de l'eau pour la stabilité du mur ouest et sud-ouest.

Les angles de pente stables sont présentés ci-dessous pour chaque orientation de mur. D'autres investigations sont proposées pour le mur ouest avant de déterminer plus précisément l'angle de pente stable.

Angles de pente stable (coefficient de sécurité 1,3) pour différentes hauteurs de mur sans pression d'eau						
Mur	H=180m	H=100m	H=50m	H=35m	H=24m	H=12m
Est	67 <sup>0</sup>	71 <sup>0</sup>	74 <sup>0</sup>	76 <sup>0</sup>	79 <sup>0</sup>	90 <sup>0</sup>
Sud-ouest	68 <sup>0</sup>	72 <sup>0</sup>	77 <sup>0</sup>	80 <sup>0</sup>	80 <sup>0</sup>	80 <sup>0</sup>
Ouest	47 <sup>0</sup> -57 <sup>0</sup>	51 <sup>0</sup> -60 <sup>0</sup>	57 <sup>0</sup> -68 <sup>0</sup>	59 <sup>0</sup> -76 <sup>0</sup>	64 <sup>0</sup> -87 <sup>0</sup>	79 <sup>0</sup> -90 <sup>0</sup>

### Études de chute de bloc

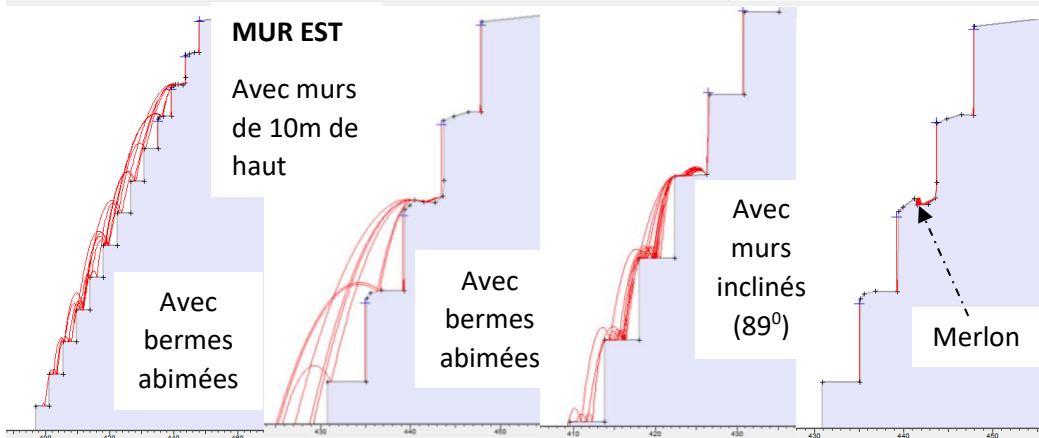
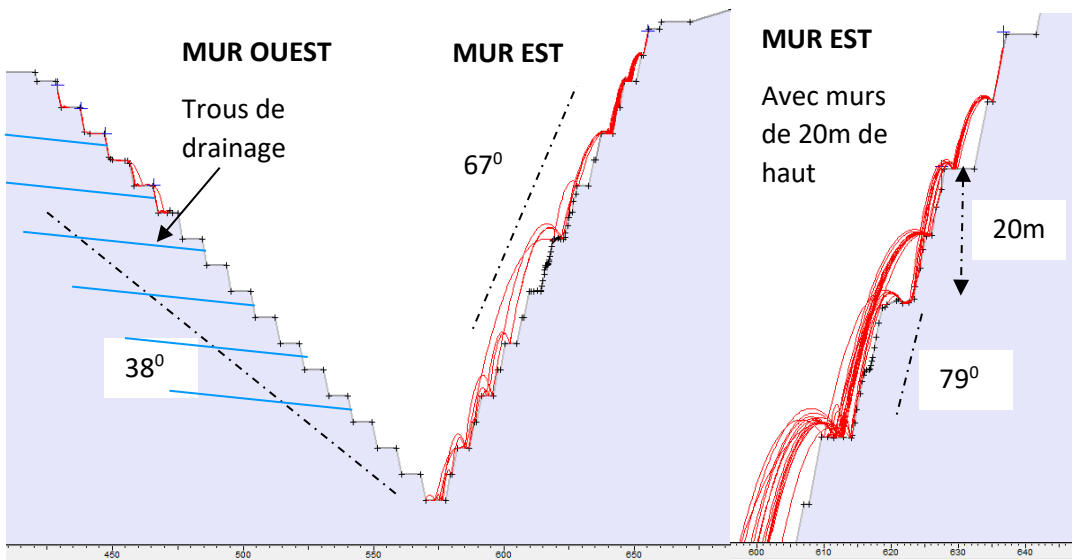
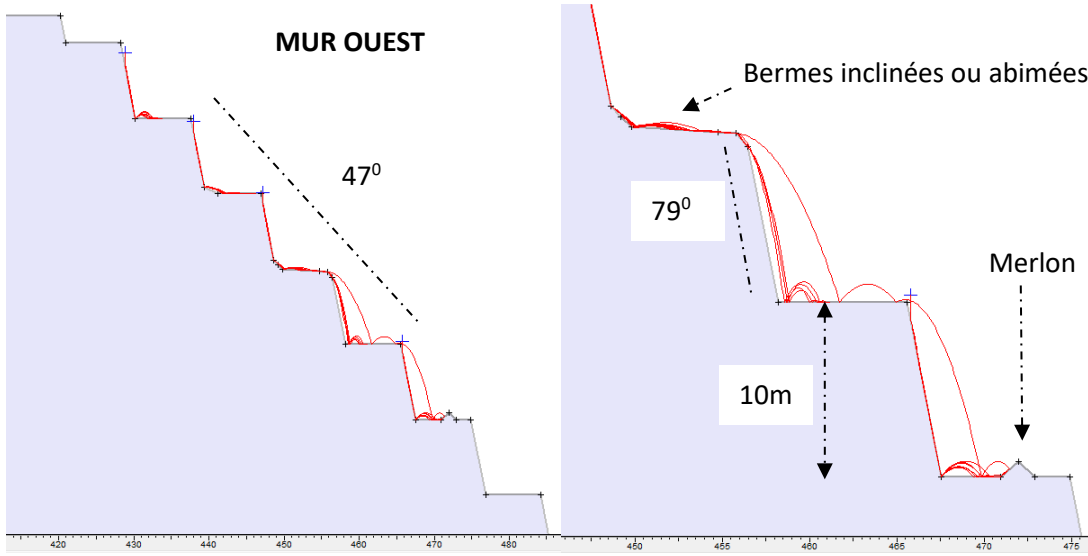
Des analyses de chute de blocs ont été effectuées à l'aide du logiciel *RocFall* afin de mieux comprendre la trajectoire des blocs avec un angle de pente d'excavation de 47 degrés pour le mur ouest et de 67 degrés pour les murs est. Des simulations ont été réalisées pour des murs de 10 mètres et 20 mètres (pour le mur est), en suivant les angles de pente stables suggérés au tableau de la page précédente. Le logiciel simule la chute d'un certain nombre de blocs sur une coupe donnée et calcule la trajectoire de chacun de ces blocs. Le logiciel considère le bloc comme un point. Le fait qu'un bloc soit arrondi ou non et qu'il puisse se briser n'est pas pris en considération.

Les paramètres considérés pour le roc et les talus de roc dynamité sont ceux-ci :	Roc		Cousin de roc dynamité	
	Valeur	Écart type	Valeur	Écart type
Coefficient de restitution normal	0,53	0,04	0,32	0,04
Coefficient de restitution tangentiel	0,99	0,04	0,8	0,04
Angle de friction	30	2	30	2

En général, les débris de roc ne sont pas arrêtés par les bermes dès qu'elles sont abimées ou inclinées ou encore si le mur n'est pas complètement droit, particulièrement pour le mur est. Des murs de 20 mètres de haut entre les bermes ont été modélisés pour le mur est. Cette approche ne semble pas être favorable. Les petites bermes laissées au milieu des murs inclinés de 20 mètres de hauteur pour les manœuvres de forage (0,8 m de largeur) font rebondir les débris par-dessus les bermes. L'option avec des murs verticaux de 10-12 mètres de hauteur semblent être plus favorable pour arrêter les débris sur le mur est.

Les bermes doivent être recouvertes d'un talus en enrochement et munies d'un merlon pour que la majorité des débris de roc soient arrêtés.

# Projet : Nouveau Monde Graphite



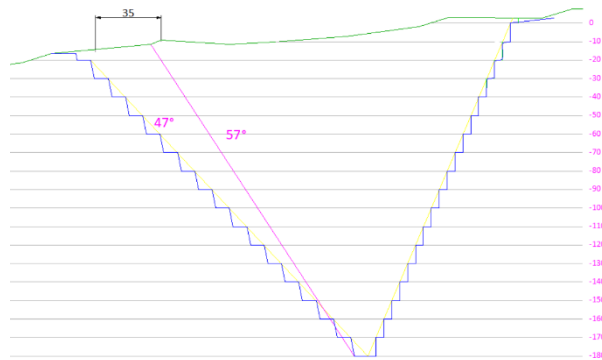
### RECOMMANDATIONS

Les angles de pente d'excavation recommandés sont de  $67^{\circ}$  pour le mur est,  $68^{\circ}$  pour le mur sud-ouest et de  $47^{\circ}$  pour le mur ouest. Une meilleure connaissance des conditions géologiques permettrait fort possiblement d'ajuster l'angle de pente du mur ouest à  $57^{\circ}$ .

Les bermes devront être recouvertes de roc dynamité et munies d'un merlon lorsque possible au pied de chaque paroi de 10 ou 12 mètres de hauteur. Les angles des parois entre les bermes sont proposés à  $90^{\circ}$  pour le mur est, à  $80^{\circ}$  pour le mur sud-ouest et à  $79^{\circ}$  pour le mur ouest.

#### Alternatives proposées pour diminuer les volumes d'excavation

Deux hypothèses conservatrices ont été utilisées pour déterminer les angles de pente maximale d'excavation proposés dans ce rapport. Les analyses supposent des cas où les joints sont localisés aux endroits le plus défavorable et les joints sont présumés continus. L'idéal pour poursuivre l'étude de stabilité serait de pouvoir vérifier ces deux hypothèses en excavant et nettoyant la surface du socle rocheux à l'aide de jets d'eau le long du périmètre de la future fosse avant de débiter l'excavation dans le roc. La localisation et la persistance des joints pouvant former des blocs pourra être cartographiée et les angles de pentes d'excavation pourront être réévalués et adaptés localement. Cette démarche de décapage et de nettoyage est particulièrement recommandée pour le mur ouest. Il est suggéré de nettoyer une bande de 35 mètres de largeur à l'endroit indiqué sur le dessin ci-dessous.



D'autres forages d'exploration avec carottes orientées pourraient être réalisés pour mieux connaître les conditions géologiques en profondeur. Une analyse de stabilité en délimitant les zones où les parois rocheuses seront constituées de gneiss granitique charnockitique, qui semble plus résistant et moins fracturé, permettrait également de proposer des angles de pente stables plus abruptes pour certaines zones.

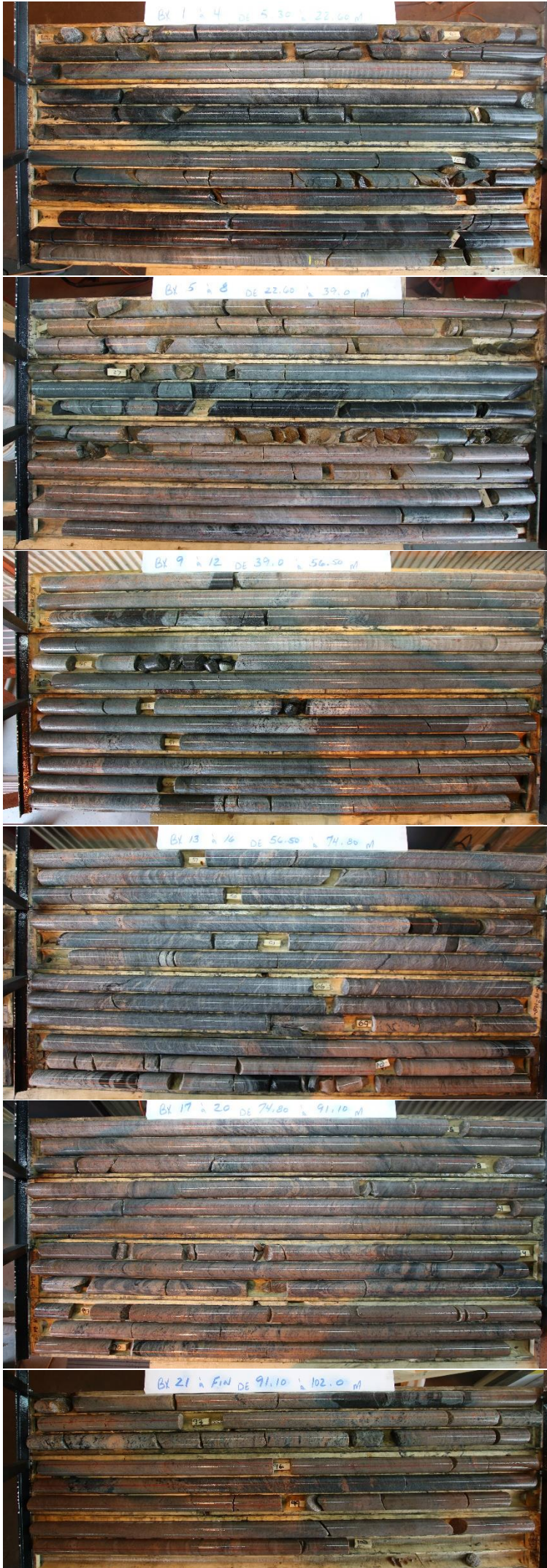
### Autres recommandations concernant les procédures d'excavation

- Les sautages de masse doivent être réalisés de manière à minimiser les vibrations. La charge par délais doit être minimisée, la densité de chargement doit être suffisamment élevée et la direction des sautages de masse doit être perpendiculaire aux parois. Les micro-retards dans la séquence de mise-à-feu et le dégagement progressif de la surcharge occasionnée par le couvert rocheux doivent être vérifiés.
- L'écaillage à l'aide d'une pelle mécanique et manuellement à l'aide d'une nacelle doit être réalisé au fur et à mesure des excavations et particulièrement avant les travaux de cartographie et de forage de prédécoupage.
- La cartographie des structures géologiques rencontrées et l'analyse de stabilité doivent être mise à jour au fur et à mesure des excavations.
- Des trous de drainage d'au moins 80 mètres de long (avec un patron de 35m x 35m) doivent être prévus pour le mur ouest.
- Un couvert de roc dynamité et un merlon doivent être laissés sur les bermes lorsque possible. Aucun débris ne doit se retrouver sur les rebords des parois lorsqu'ils sont inclinés vers la fosse.
- Il est recommandé de localiser les rampes d'accès au centre de la fosse, loin des parois rocheuses.
- Il est recommandé de prévoir une pause et d'arrêter tous les travaux dans la fosse durant la période de dégel du printemps.
- Prévoir des repères et indicateurs de mouvement à installer de part et d'autre des structures géologiques et des fissures de relâchement au sommet des parois rocheuses.

### RÉFÉRENCES

1. Nouveau Monde Graphite Inc., « NI 43-101 Technical Feasibility Study Report for the Matawinie Graphite Project 2018 »
2. Journeaux Assoc. “Open pit slope design, Prefeasibility study”, 2017.
3. Université de Sherbrooke, Laboratoire de mécanique des roches, Département de génie civil, « Mesure de la résistance à la compression uniaxiale, module d'élasticité et coefficient de Poisson de carottes de roc », G-19-11-2, Novembre 2019.
4. Barton, N., R. Lien, et al. (1974). "Engineering classification of rock masses for the design of rock support." *Rock Mechanics*.
5. Bieniawski, Z.T. 1976. Rock mass classification in rock engineering. In *Exploration for Rock Engineering, Proceedings of Symposium, Cape Town* (ed., Z.T. Bieniawski), Vol. 1, 97–106.
6. Hoek E., “Practical Rock Engineering”, Chapter 3 & 4, 2007.
7. Barton, N.R. and Choubey, V. 1977. The shear strength of rock joints in theory and practice. *Rock Mechanics*, 12(1), 1–54.

Forage TO-19-168



Forage TO-19-169



Forage TO-19-170



Forage TO-19-174



Forage TO-19-176



Tranchée TA-2019



Tranchée TB-2019



Tranchée TC-2019



Tranchée TD-2019



Tranchée TE-2019

