

EN004390

RAPPORT D'ENQUÊTE

**Accident mortel survenu le 1^{er} novembre 2018 à un travailleur
dans une sablière appartenant à l'entreprise
Ronald O'Connor Construction Inc.
située au [...], route 105 à La Pêche**

Direction régionale de l'Outaouais

Version dépersonnalisée

Inspecteurs :

Nancy Lemoine

Michel Croteau

Date du rapport : 30 mai 2019

Rapport distribué à :

- Monsieur [A], Entreprise Ronald O'Connor Construction Inc.
- Monsieur Paul-G Dionne, coroner
- Monsieur Horacio Arruda, directeur de la santé publique

TABLE DES MATIÈRES

<u>1</u>	<u>RÉSUMÉ DU RAPPORT</u>	<u>1</u>
<u>2</u>	<u>ORGANISATION DU TRAVAIL</u>	<u>3</u>
2.1	STRUCTURE GÉNÉRALE DE L'ÉTABLISSEMENT	3
2.2	ORGANISATION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ DU TRAVAIL	4
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	4
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	4
<u>3</u>	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	<u>5</u>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	5
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	7
<u>4</u>	<u>ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE</u>	<u>8</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	8
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	10
4.2.1	INFORMATIONS RELATIVES À L'ACCIDENTÉ	10
4.2.2	INFORMATIONS RELATIVES À L'ÉQUIPEMENT LOURD IMPLIQUÉ DANS L'ACCIDENT	10
4.2.2.1	Spécifications	10
4.2.2.2	Inspection mécanique	13
4.2.2.3	Entretien préventif	13
4.2.3	INFORMATIONS RELATIVES À LA SABLIERE	13
4.2.3.1	Description de la composition géologique du site	14
4.2.3.2	Évolution des dimensions de la zone d'exploitation	14
4.2.3.3	Description de la zone d'exploitation active	16
4.2.3.4	Description de l'effondrement	19
4.2.4	INFORMATIONS RELATIVES À LA MÉTHODE D'EXPLOITATION	28
4.2.5	INFORMATIONS RELATIVES AU COMPORTEMENT EN RÉSISTANCE DES SABLES ET DES GRAVIERS	30
4.2.6	INFORMATIONS RELATIVES AUX CONDITIONS MÉTÉOROLOGIQUES	32
4.2.7	INFORMATIONS RELATIVES À LA RÉGLEMENTATION ET LES RÈGLES DE L'ART APPLICABLES À L'EXPLOITATION D'UNE SABLIERE	33
4.2.7.1	Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines	33
4.2.7.2	Autres références concernant les règles de l'art applicables	38
4.2.8	Informations relatives aux interventions antérieures de la CNESST	39
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	41

- 4.3.1 L'OPÉRATION D'UNE PELLE MÉCANIQUE SUR UNE PAROI AYANT UN PROFIL D'EXPLOITATION INADAPTÉ À SES CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES, ENTRAÎNE L'EFFONDREMENT DE LA PAROI ET L'ENSEVELISSEMENT DE LA PELLE. 41
- 4.3.2 LA MÉTHODE D'EXPLOITATION REPOSANT SUR L'EXPÉRIENCE DE L'EMPLOYEUR, NOTAMMENT EN CE QUI A TRAIT À LA DÉTECTION DES SIGNES PRÉCURSEURS DE L'EFFONDREMENT, EST DANGEREUSE. 42

5 CONCLUSION 44

- 5.1 CAUSES DE L'ACCIDENT 44
- 5.2 AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE 44
- 5.3 SUIVIS À L'ENQUÊTE 44

ANNEXES

- ANNEXE A : Accidenté 45
- ANNEXE B : Liste des personnes rencontrées et contactées 46
- ANNEXE C : Expertise 47
- ANNEXE D : Références bibliographiques 83

SECTION 1

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

Description de l'accident

Le 1^{er} novembre 2018, le travailleur est affecté à l'extraction du sable à l'aide d'une pelle mécanique. Vers 9 h 54, il termine le remplissage d'un camion à benne basculante qui quitte le lieu d'extraction pour aller se décharger près du tamiseur installé à courte distance dans la sablière. Le travailleur manœuvre sa pelle pour se hisser sur l'amoncellement de sable situé devant la paroi sud-est. Il poursuit l'extraction du sable. Au moment où le travailleur effectue une rotation du côté ouest pour vider le godet de la pelle, une section de la paroi devant laquelle il se trouve s'effondre soudainement.

Conséquences

L'effondrement pulvérise la vitre de la cabine qui se remplit instantanément de sable. Le travailleur demeure coincé à l'intérieur. Un collègue arrive sur les lieux quelques instants plus tard. Il casse la vitre arrière de la cabine et tente de le dégager, en vain. Il prend son pouls, mais sans résultat. Le décès du travailleur est déclaré au cours de la journée par le coroner présent sur les lieux. Compte tenu de l'instabilité du site, l'accès y est interdit par la CNESST. Des travaux sont entrepris les jours suivants afin de créer un chemin d'accès sécuritaire jusqu'à la pelle mécanique. Le corps du travailleur est extirpé le 8 novembre 2018.



Photo 1 : Lieu de l'accident
Source : CNESST

Abrégé des causes

Au terme de cette enquête, deux causes sont retenues pour expliquer cet accident :

- L'opération d'une pelle mécanique sur une paroi ayant un profil d'exploitation inadapté à ses caractéristiques géotechniques entraîne l'effondrement de la paroi et l'ensevelissement de la pelle.
- La méthode d'exploitation reposant sur l'expérience de l'employeur, notamment en ce qui a trait à la détection des signes précurseurs à un effondrement, est dangereuse.

Mesures correctives

Une interdiction d'accès et d'exploitation de la section de la sablière où a eu lieu l'accident est émise le 1^{er} novembre 2018 (réf. : RAP1242883). Une levée partielle de cette interdiction est faite le 6 novembre 2018 afin de procéder à la construction d'un chemin d'accès temporaire permettant de récupérer le corps du travailleur décédé (réf. : RAP1242937). Une seconde levée partielle de l'interdiction est émise le 22 novembre 2018 afin de permettre la construction d'un chemin d'accès pour retirer la pelle mécanique (réf. : RAP1245183). Un scellé portant le numéro E53003 est apposé sur la pelle mécanique impliquée dans l'accident le 23 novembre 2018 aux fins d'inspection mécanique (réf. : RAP1245183). La décision permettant de nouveau l'accès aux travailleurs et la reprise de l'exploitation de la sablière a été rendue le 8 mars 2019 (RAP1255906).

Le présent résumé n'a pas de valeur légale et ne tient lieu ni de rapport d'enquête, ni d'avis de correction ou de toute autre décision de l'inspecteur. Il constitue un aide-mémoire identifiant les éléments d'une situation dangereuse et les mesures correctives à apporter pour éviter la répétition de l'accident. Il peut également servir d'outil de diffusion dans votre milieu de travail.

SECTION 2

2 ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1 Structure générale de l'établissement

Ronald O'Connor Construction Inc. est une entreprise qui se spécialise dans les travaux d'excavation et de nivellement ainsi que l'entretien des routes. Elle exploite également deux sablières, l'une située au [...] route 105 à La Pêche et l'autre au [...], Chemin de la Rivière à La Pêche. Des activités d'excavation sont effectuées depuis les années 1970, mais l'entreprise a été constituée en 1986 et immatriculée au Registraire des entreprises du Québec en 1995.

Il s'agit d'une société par actions détenue par [...]. Ils en sont également les administrateurs. Elle emploie [...] travailleurs.

[...]

Pour réaliser ses activités, l'employeur possède les équipements roulants suivants : trois camions à benne basculante, quatre pelles mécaniques, trois chargeuses sur roues, un tracteur de fardier, un boteur, une rétrocaveuse et dix déneigeuses. Les travaux de tamisage sont confiés en sous-traitance. Le tamiseur et le convoyeur présents dans la sablière située au [...], route 105 à La Pêche appartiennent au sous-traitant. Un autre tamiseur, appartenant à l'employeur, est présent dans la sablière située au [...], Chemin de la Rivière à La Pêche.

2.3 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.3.1 Mécanismes de participation

Aucun mécanisme de participation des travailleurs à la santé et à la sécurité du travail n'est en place au sein de l'entreprise. Il n'y a pas de comité de santé et sécurité ni de représentant à la prévention.

2.3.2 Gestion de la santé et de la sécurité

C'est [B] qui est responsable de l'organisation du travail et de la santé et sécurité du travail. Il se déplace chaque jour entre les sablières et les divers lieux de travail où il a assigné ses travailleurs afin d'assurer une supervision. L'organisation est centrée sur la production quotidienne.

Outre les casques de sécurité et les vestes réfléchissantes, aucun autre équipement de protection individuelle n'est fourni aux travailleurs. L'embauche se fait sur la base de l'expérience de travail avec les équipements lourds. Aucune formation en cours d'emploi n'est donnée aux travailleurs. Des conseils généraux sont énoncés aux travailleurs affectés à l'extraction du sable sur les fronts d'exploitation. Une réunion matinale a lieu tous les jours pour répartir le travail. Des points de santé et sécurité du travail peuvent y être discutés.

SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

Le lieu de travail est situé au [...], route 105 à La Pêche. Il s'agit d'un terrain privé se trouvant du côté ouest de la route, à environ 13 km au nord de la municipalité de Wakefield. La propriété est située dans un environnement rural. Le terrain est délimité à l'est par la route 105 et les bâtiments de l'entreprise sont disposés en bordure de la route. La progression vers l'ouest de la propriété nous amène dans la cour arrière de l'entreprise où sont stationnés les équipements roulants ainsi que le tamiseur et les convoyeurs. Plusieurs piles de réserve de matériaux granulaires sont également visibles. En poursuivant davantage vers l'ouest, la dénivellation du terrain augmente et c'est là que sont situés les fronts d'exploitation.



Image 1 : Vue aérienne de la propriété
Source : Google Satellite 2019

L'accident est survenu dans le coin sud-ouest de la propriété. À cet endroit, la sablière a une superficie de près de 100 mètres sur 100 mètres. L'exploitation a été faite suivant approximativement la forme d'un fer à cheval dont l'ouverture est orientée vers le nord. La rampe d'accès au plancher d'exploitation est

située du côté nord et présente une pente descendante, jusqu'à l'entrée du fer à cheval. L'extrémité de l'exploitation correspond à la paroi sud.

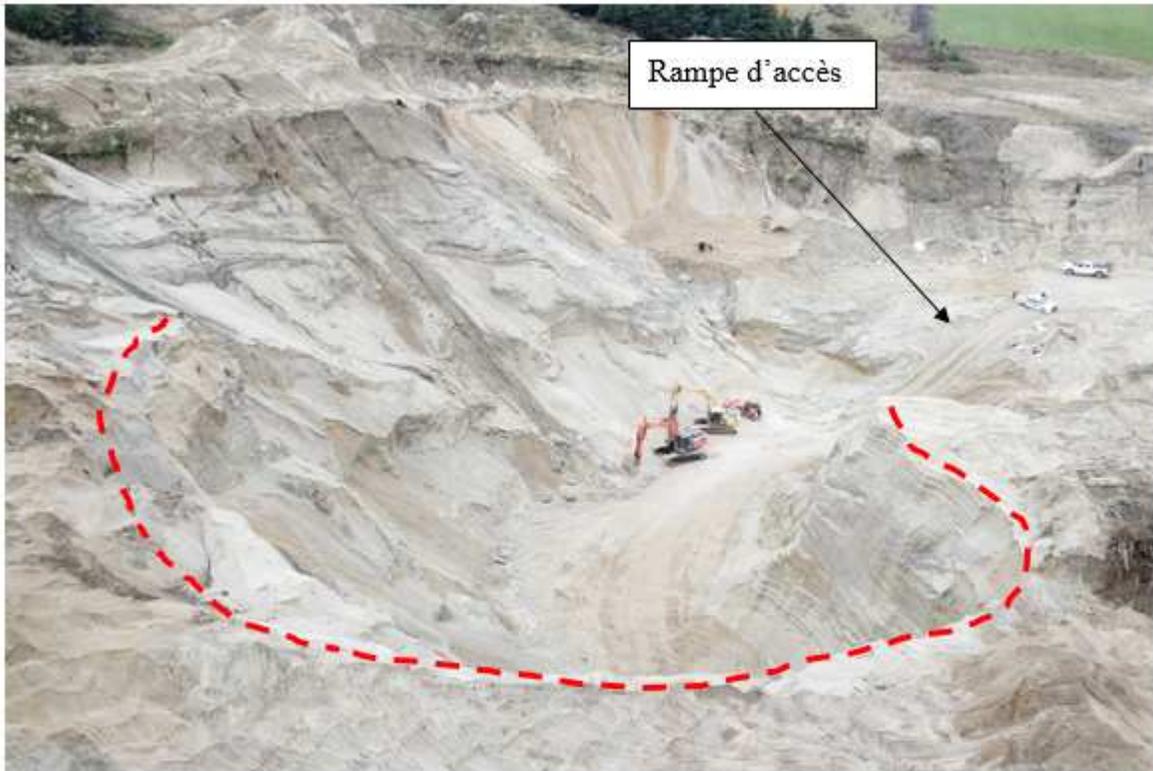


Photo 2 : Vue aérienne de la zone d'exploitation

Source : M. C



Photo 3 : Vue aérienne de la zone d'exploitation

Source : M. C

3.2 Description du travail à effectuer

Depuis le mois de septembre 2016, l'entreprise a un contrat d'approvisionnement de sable à béton avec l'entreprise CBM située à Gatineau. Le sable dont la granulométrie est inadéquate pour la fabrication du béton est, quant à lui, mis de côté dans des piles de réserve pour être vendu à d'autres clients ou encore utilisé pour les contrats de déneigement.

Selon les directives données par M. [A], la tâche du travailleur consistait à créer, à partir du plancher d'exploitation, un palier d'une hauteur d'environ 10 m en se déplaçant du sud vers l'est. Pour ce faire, il devait utiliser le sable de qualité inférieure tout en chargeant le camion à benne basculante avec le sable dont la granulométrie était adéquate pour le béton. Pour réaliser son travail, il utilisait une pelle mécanique.

L'employeur a désigné au travailleur la section où il devait extraire le sable, c'est-à-dire la paroi sud-est. Il lui a précisé de ne pas creuser dans la paroi ouest, car elle était trop haute. De plus, cette paroi était composée de davantage de sable de qualité inférieure.

SECTION 4

4 ACCIDENT : FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le 1^{er} novembre 2018, M. [D] arrive dans la sablière vers 06h45. À 07h00, M. [A], fait une réunion avec les travailleurs pour distribuer les tâches de la journée. M. [D] est affecté à l'extraction du sable dans la section de la sablière présentement en exploitation. Le travailleur se rend dans la zone d'exploitation active avec sa camionnette qu'il stationne en bas de la rampe d'accès. La pelle mécanique qu'il opérera est déjà sur place.

M. [D] entreprend l'extraction à 07h30, après que M. [A] soit venu le rejoindre [...]. Il lui a expliqué, entre autres, la façon de faire à privilégier pour créer un palier de la paroi sud vers la paroi est tout en triant le sable à béton, qui sera chargé sur le camion à benne basculante, et le sable à déglacage qui servira à construire le palier. Il lui a précisé la façon d'exploiter, c'est-à-dire en prélevant le sable à la base de la paroi. Il lui a également mentionné que, comme le travail est dangereux, il doit continuellement surveiller les parois, qu'elles parlent, en faisant référence au fait qu'il y a des signes visibles avant-coureurs d'un effondrement. M. [E], se trouve dans son camion à benne basculante à environ 18 m du lieu d'extraction. [...] Il effectue une dizaine de transports de sable entre 07h30 et 09h15.

À ce moment, M. [A] revient valider le travail effectué. La pelle mécanique est sur un amoncellement de sable d'une hauteur approximative de 3 m par rapport au plancher d'exploitation. Une cuvette d'une profondeur d'environ 2 à 3 m est présente entre la paroi et l'engin. Il discute avec M. [D] à bord de la pelle mécanique. [A] lui rappelle de bien examiner les parois sur tous les côtés, et ce, peu importe l'inclinaison, afin de voir les signes d'instabilité. Il lui dit de continuer son travail de la même façon.

Vers 09h30, M. [D] recommence à charger le camion. Son chargement est complété à 09h54. M. [E] quitte le lieu d'extraction en empruntant le chemin d'accès en direction nord. M. [D] se déplace sur une distance d'environ 18 m et positionne sa pelle sur l'amoncellement de sable situé devant la paroi sud-est afin de poursuivre son travail. Il prélève du sable dans la paroi sud-est puis manœuvre vers l'ouest pour vider son godet. Soudain, une section de la paroi sud-est se décroche. La masse de sable ensevelit la pelle et provoque l'éclatement de la vitre de la cabine qui se remplit instantanément. Le travailleur demeure coincé à l'intérieur.

M. [E] revient dans la zone d'exploitation à 09h59 et il aperçoit la pelle mécanique ensevelie. Il descend immédiatement de son camion en prenant sa pelle ronde et se dirige en courant vers l'engin tout en appelant M. [A] sur son cellulaire afin d'obtenir de l'aide. M. [E] tente d'accéder à la porte de la cabine, mais elle est bloquée par le sable et celui-ci continue de s'écrouler. [...] travailleurs arrivent sur les lieux pour lui porter assistance avec, entre autres, une chargeuse sur roues. Cette dernière est utilisée pour enlever du sable sur le dessus de la cabine et pour dégager la porte de la cabine du côté est. Les collègues de travail tentent d'ouvrir l'issue de secours, mais sans succès. M. [E] fracasse la vitre arrière de la cabine et il constate que le travailleur ne respire plus. L'appel au 911 est effectué à 10h08.

Deux policiers arrivent sur les lieux à 10h15. Ils aident les travailleurs qui tentent de dégager M. [D], mais des éboulis se produisent sur la paroi sud-est pendant leur tentative. Compte tenu de la situation précaire à laquelle ils sont exposés, toutes les personnes présentes décident de se retirer de la zone. Un cordon de sécurité est placé à une cinquantaine de mètres par les policiers. Le Service des incendies de La Pêche est présent sur le site à 10h24 et les ambulanciers paramédicaux à 10h44. Tous les intervenants présents respectent le cordon de sécurité.

La CNESST arrive sur les lieux vers 11h30. Devant l'état général des parois d'exploitation, elle ordonne l'agrandissement du périmètre de sécurité à une centaine de mètres du lieu de l'accident. Elle interdit également l'accès à ce périmètre à tout travailleur jusqu'à ce qu'une méthode de travail sécuritaire lui soit présentée pour la récupération du travailleur accidenté. À la suite d'une demande d'assistance faite par le Service de police de la MRC-des-Collines, un conseiller en sécurité civile de la Direction régionale de la sécurité civile et de sécurité incendie de l'Outaouais arrive sur place à 11h45. Vers 12h30, un second effondrement d'importance se produit, cette fois sur la paroi est. Sur la base des informations obtenues, le Dr Paul G. Dionne, coroner présent sur les lieux, déclare le décès de M. [D] à 16h30.

Le 7 novembre 2018, des travaux de construction d'un chemin d'accès sécuritaire sont entrepris, sous la supervision d'un ingénieur, pour récupérer la dépouille. Le 8 novembre 2018, le travailleur décédé est retiré de la pelle mécanique par les services d'urgence.

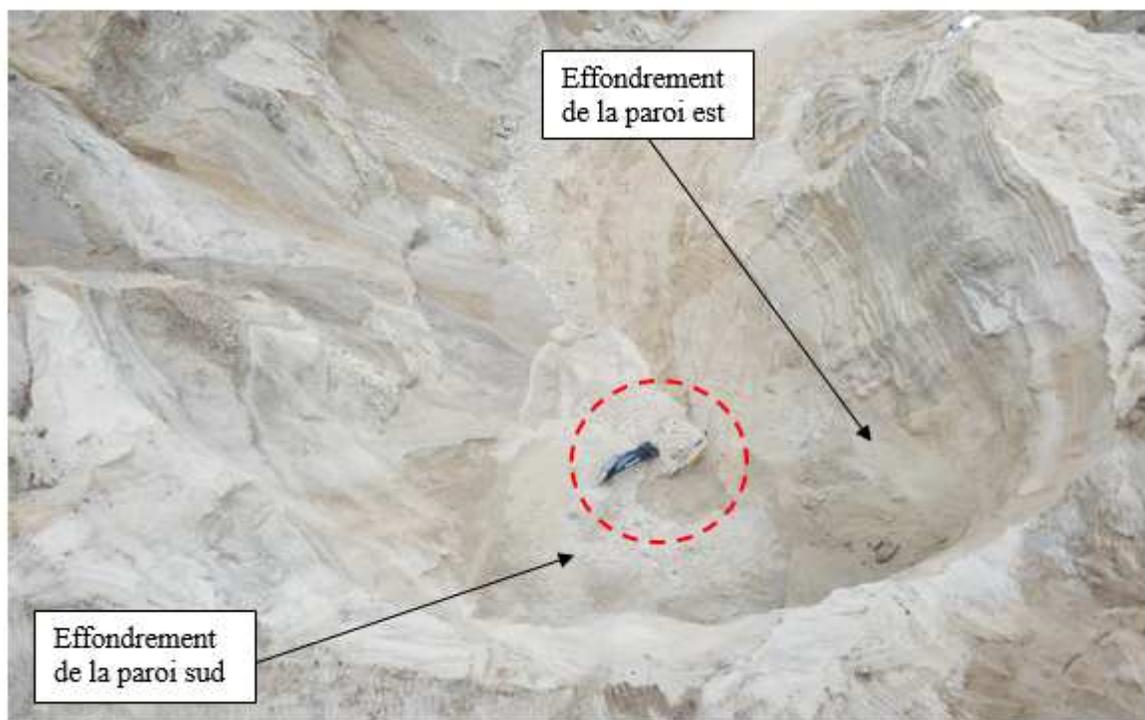


Photo 4: Vue aérienne du lieu de l'accident

Source : M. [C]

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Informations relatives à l'accidenté

[...]

[...]

[...]

Le jour de l'accident, la tâche du travailleur consistait à extraire le sable directement de la paroi à l'aide de la pelle mécanique.

4.2.2 Informations relatives à l'équipement lourd impliqué dans l'accident

4.2.2.1 Spécifications

Il s'agit d'une pelle mécanique hydraulique de marque John Deere, modèle 350G LC, manufacturée en 2014. Elle a été acquise par l'entreprise Ronald O'Connor Construction Inc. à l'été 2018. Elle porte le numéro de série [...]. L'engin a été immatriculé au Québec le 30 novembre 2018 sous le numéro [...]. Il cumule 7 090 heures au compteur.



Photo 5: Pelle mécanique impliquée dans l'accident
Source : CNESST

Selon le manuel du fabricant John Deere, la pelle a une longueur totale 11,29 m. La hauteur de la cabine est de 3,14 m. Le point de rotation est positionné à 8,26 m de l'avant de la pelle.

Dimensions de la machine		350G LC
A Longueur hors tout	2,66 m (8 pi 9 po)	11,33 m (37 pi 2 po)
	3,2 m (10 pi 6 po)	11,20 m (36 pi 9 po)
	4,0 m (13 pi 1 po)	11,29 m (37 pi 1 po)
B Hauteur hors tout	2,66 m (8 pi 9 po)	3,47 m (11 pi 5 po)
	3,2 m (10 pi 6 po)	3,27 m (10 pi 9 po)
	4,0 m (13 pi 1 po)	3,60 m (11 pi 10 po)
C Train arrière/point de rotation		3,60 m (11 pi 10 po)
D Distance de c. à c., galet/pignon		4,05 m (13 pi 3 po)
E Longueur du train de roulement		4,94 m (16 pi 2 po)
F Distance du contrepoids au sol		1,18 m (3 pi 10 po)
G Largeur de la structure supérieure		2,99 m (9 pi 10 po)
H Hauteur de la cabine		3,14 m (10 pi 4 po)
I Largeur de chenille avec patins à triple demi-crampon		600 mm (24 po) / 700 mm (28 po) / 800 mm (32 po)
J Largeur de voie		2,59 m (8 pi 6 po)
K Garde au sol		0,50 m (20 po)
L Largeur hors tout avec patins à triple demi-crampon de	600 mm (24 po)	3,19 m (10 pi 6 po)
	700 mm (28 po)	3,29 m (10 pi 10 po)
	800 mm (32 po)	3,39 m (11 pi 2 po)



Image 2 : Dimensions de la pelle mécanique
Source : Manuel du fabricant John Deere

Elle est équipée d'un balancier d'une longueur de 4 m dont la portée maximale est de 11,86 m et la hauteur maximale de coupe de 10,75 m.

Dimensions en opération			
Longueur de balancier	2,66 m (8 pi 9 po)	3,2 m (10 pi 6 po)	4,0 m (13 pi 1 po)
Force de creusage du balancier			
SAE	204,2 kN (45 914 lb)	177,6 kN (39 930 lb)	152,6 kN (34 314 lb)
ISO	222,0 kN (49 908 lb)	185,0 kN (41 590 lb)	159,0 kN (35 745 lb)
Force de creusage du godet			
SAE	225,2 kN (50 628 lb)	225,2 kN (50 628 lb)	225,2 kN (50 628 lb)
ISO	246,0 kN (55 303 lb)	246,0 kN (55 303 lb)	246,0 kN (55 303 lb)
A Portée maximum	10,57 m (34 pi 8 po)	11,10 m (36 pi 5 po)	11,86 m (38 pi 11 po)
A' Portée maximum au niveau du sol	10,36 m (34 pi 0 po)	10,89 m (35 pi 9 po)	11,67 m (38 pi 3 po)
B Profondeur maximum de creusage	6,84 m (22 pi 5 po)	7,38 m (24 pi 3 po)	8,18 m (26 pi 10 po)
B' Profondeur maximum de creusage à fond plat 2,44 m (8 pi)	6,64 m (21 pi 9 po)	7,21 m (23 pi 8 po)	8,04 m (26 pi 5 po)
C Hauteur maximum de coupe	9,99 m (32 pi 9 po)	10,36 m (34 pi 0 po)	10,75 m (35 pi 3 po)
D Hauteur maximum de déversement	6,94 m (22 pi 9 po)	7,24 m (23 pi 9 po)	7,63 m (25 pi 0 po)
E Rayon minimum de rotation	4,61 m (15 pi 1 po)	4,46 m (14 pi 8 po)	4,47 m (14 pi 8 po)
F Paroi verticale maximum	5,51 m (18 pi 1 po)	6,42 m (21 pi 1 po)	7,27 m (23 pi 10 po)
G Rayon de rotation arrière	3,60 m (11 pi 10 po)	3,60 m (11 pi 10 po)	3,60 m (11 pi 10 po)

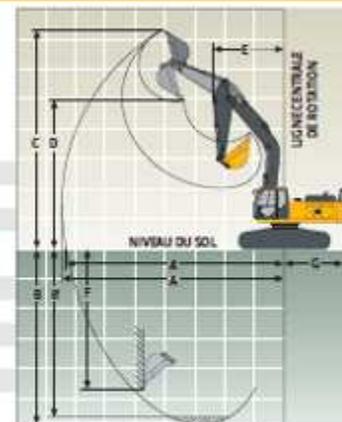


Image 3: Dimensions en opération
Source : Manuel du fabricant John Deere

Sa vitesse de déplacement maximale se situe entre 3,2 km/h et 5 km/h.

4.2.2.2 Inspection mécanique

À la demande de la CNESST, deux représentants de l'entreprise Nortrax Inc., mandataire de John Deere, ont inspecté la pelle mécanique le 27 novembre 2018. Les résultats de leur inspection mécanique nous ont été acheminés le 29 novembre 2018.

Plusieurs bris consécutifs à l'effondrement ont été notés par les deux mécaniciens. Les mains courantes avant et arrière gauche, trois miroirs, deux panneaux du côté gauche, un panneau du côté droit de même que le châssis, les vitres avant et arrière ainsi que le bas de la porte de la cabine, le dossier du siège de l'opérateur ont tous subi des dommages sous la force de l'impact. Neuf codes de vérification sont apparus lors de l'inspection. Les mécaniciens indiquent qu'il s'agit de codes d'erreurs résultants de l'ensevelissement de l'équipement puisque les systèmes de la pelle ont surchauffé par manque d'air.

Lors de leur inspection, les mécaniciens ont pu manœuvrer la pelle et ils considèrent que son fonctionnement général était conforme préalablement à l'effondrement.

4.2.2.3 Entretien préventif

Selon les données relevées par les mécaniciens mandataires de John Deere lors de leur inspection mécanique, la dernière maintenance indiquée au moniteur a été réalisée à 5 724 heures. Le moniteur indique également que les filtres à air du moteur devront être changés à 5 918 heures, les filtres du moteur et à carburant à 6 720 heures et le filtre d'huile mécanique à 7 220 heures. Selon le registre d'entretien du fabricant, les intervalles de maintenance pour les vidanges d'huile à moteur et d'huile mécanique sont respectivement 500 heures et 5 000 heures.

L'employeur ne tient pas de registre d'entretien écrit. Il n'utilise pas le moniteur présent dans la pelle. Depuis l'acquisition de la pelle mécanique à l'été 2018, il indique avoir changé tous les filtres et vidangé l'huile à moteur. Il a également installé un système de graissage automatique pour tous les points de graissage de l'équipement.

4.2.3 Informations relatives à la sablière

Dans le but de faire la lumière sur la dynamique de l'effondrement, en plus des constatations faites sur le terrain et des témoignages recueillis au cours de l'enquête, la CNESST a mandaté la section mouvement de terrain du Service de la géotechnique et de la géologie du ministère des Transports du Québec (MTQ), pour la production d'un avis géotechnique concernant les conditions de stabilité et l'analyse des causes du glissement de terrain s'étant produit le 1^{er} novembre 2018. Plusieurs informations contenues dans les sections suivantes proviennent de cette expertise.

La CNESST a également retenu les services de la firme Mozaïc 3D afin de produire des relevés topographiques en 3D ainsi que diverses images en coupe de la sablière avant et à la suite de l'accident. Ces images ont pu être réalisées à partir du relevé Lidar produit par Mozaïc 3D et daté du 16 octobre 2018 et du relevé topographique par arpentage réalisé le 5 novembre 2018 par l'entreprise HKR Consultation.

4.2.3.1 Description de la composition géologique du site

Selon les informations contenues dans l'avis géotechnique du MTQ, la sablière est localisée dans la vallée de la rivière Gatineau qui est bordée, de part et d'autre, par de petites collines rocheuses. La vallée est comblée de larges couches de sédiments d'origine glaciaire et marine dont la superposition est complexe en raison des différentes phases survenues durant la période de déglaciation. Plus précisément, les experts décrivent la stratigraphie générale, du haut vers le bas, en une première couche de sédiments juxtaglaciaires constitués principalement de cailloux, laquelle repose sur une unité de sédiments deltaïques et prodeltaïques composés de sable moyen à grossier. La dernière couche, la plus profonde, est formée de sédiments d'eaux profondes composés de sable fin et d'argile.

Dans les faces d'exploitation de la sablière, les matériaux sont majoritairement sableux. Ils se présentent sous la forme de grandes strates de sable légèrement inclinées contenant des horizons lenticulaires et discontinus de matériaux plus graveleux et un peu caillouteux. Les couches de sol peuvent présenter, sur de courtes distances, des variations latérales, dans leur composition granulométrique et leur épaisseur. Dans la partie nord de la sablière, des dépôts plus silteux et argileux ont aussi été observés.

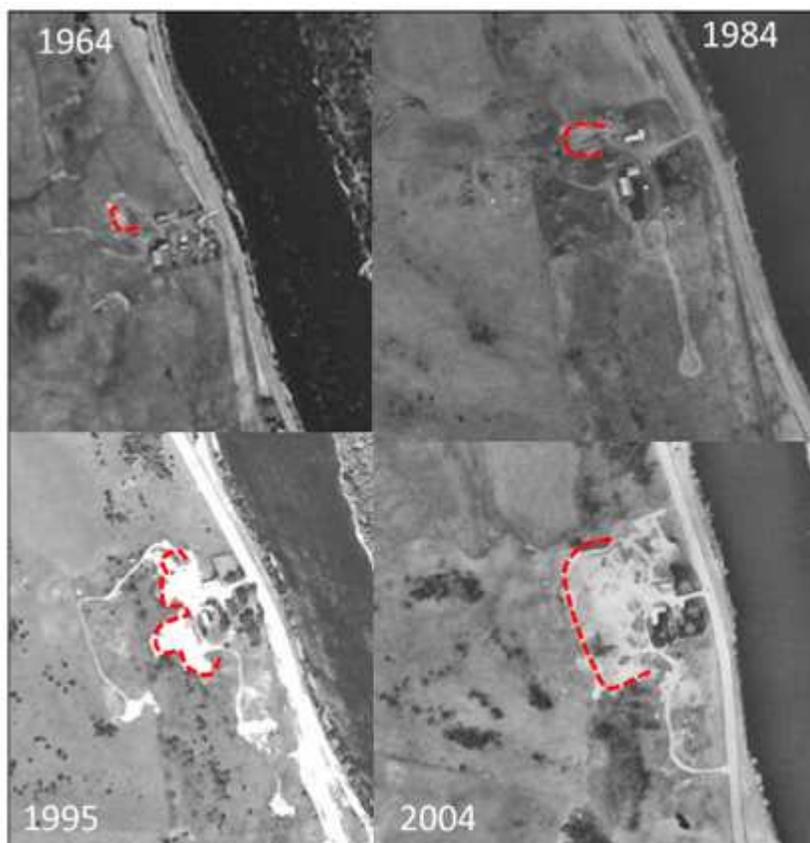


Photo 6: Vues des parois d'exploitation illustrant les couches de sédiments
Source : Ministère de la sécurité publique

4.2.3.2 Évolution des dimensions de la zone d'exploitation

À l'aide de photos aériennes prises entre 1964 et 2009, d'images satellitaires ainsi que de relevés Lidar couvrant les années 2010 à 2018, les spécialistes du MTQ ont pu reconstituer l'évolution de la sablière.

Le terrain sur lequel se trouve la sablière est la propriété de la famille depuis les années 30. La sablière apparaît peu exploitée au cours des années 60, 70 et 80. En 1995, l'exploitation avait une largeur de 150 m et elle atteignait une largeur d'environ 170 m en 2004.



**Image 4: Montage de photographies aériennes entre 1964 et 2004 permettant de situer les limites approximatives de la sablière
Source : Avis géotechnique, Ministère des transports du Québec**

L'élargissement graduel de la zone d'exploitation s'est poursuivi jusqu'en 2009 alors que les photos aériennes et les données Lidar permettent d'établir à près de 200 m la largeur de celle-ci. Entre 2009 et 2015, les documents consultés n'ont montré qu'une légère expansion des secteurs exploités. Il est toutefois possible de noter la présence, à compter de 2013, d'un chemin d'accès vers le sommet de la sablière, direction sud-ouest.

Les images satellitaires étudiées ont permis aux experts d'établir qu'en 2016, la zone d'exploitation semblait avoir la même dimension qu'en 2015. Sur l'image satellitaire de novembre 2017, les experts ont constaté que l'exploitation avait presque doublé en superficie par rapport aux images de 2016. En comparant les images de 2016 et de 2018, ils ont noté que la sablière a agrandi son exploitation vers le sud. L'image suivante montre un aperçu de l'état de l'exploitation le 16 octobre 2018.

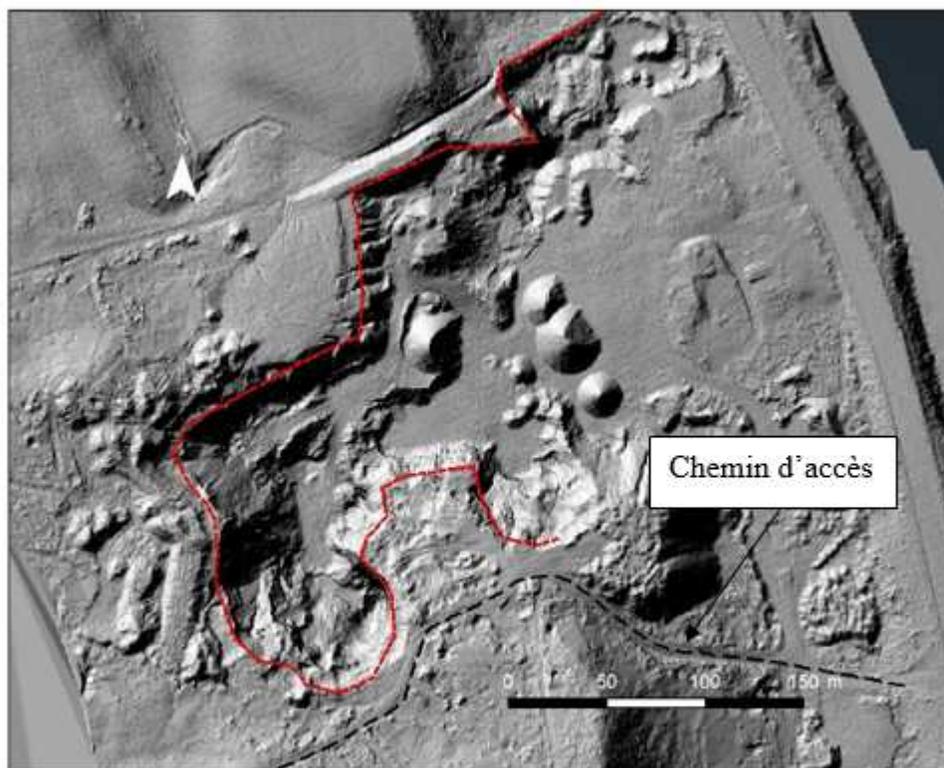


Image 5: Limites de la sablière tirées du relevé Lidar du 16 octobre 2018
Source : Avis géotechnique, Ministère des transports du Québec

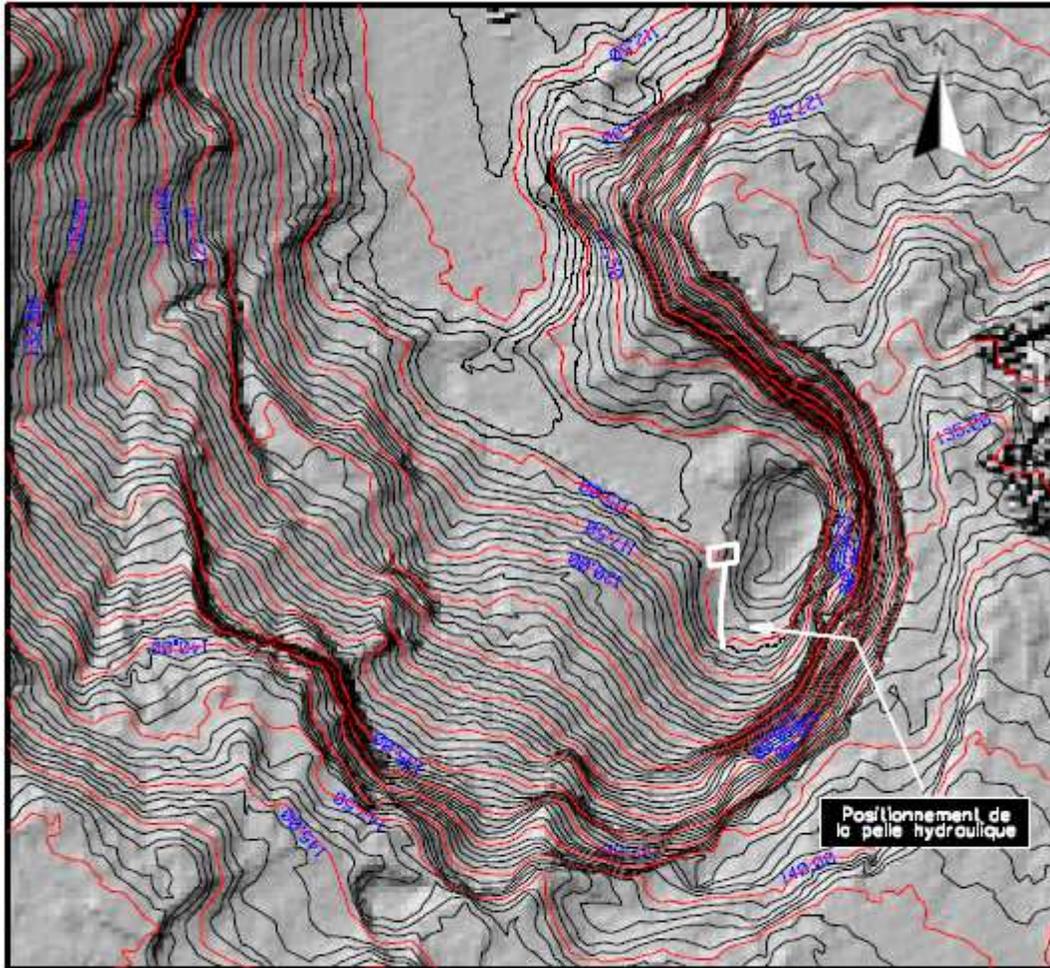
Un des témoins rencontrés nous a mentionné que l'exploitation intensive vers le sud, en descendant le plancher d'exploitation, avait débuté à l'hiver 2018. L'imposant agrandissement noté par les experts s'explique par le témoignage recueilli auprès de l'employeur. En effet, il indique avoir obtenu, à l'automne 2016, un contrat d'approvisionnement pour une entreprise de fabrication de béton. La granulométrie du matériau qu'il retrouvait dans la section de la sablière qu'il exploitait au moment de l'accident répondait davantage aux exigences de ce contrat. Depuis les débuts d'exploitation de la sablière, le sable prélevé dans la sablière servait à répondre aux besoins liés à ses activités de déneigement et d'excavation. C'était la première fois que l'employeur obtenait ce type de contrat d'approvisionnement.

4.2.3.3 Description de la zone d'exploitation active

Les spécialistes relèvent que la sablière exploite les flancs d'un versant de la vallée de la Gatineau, formés de différentes couches sédimentaires, qui se superposent jusqu'à une élévation de 172 m. Le sommet de la zone d'exploitation de la sablière atteint actuellement une élévation de 140 m alors que sa partie inférieure se situe autour de 106 m.

Les données provenant du relevé Lidar réalisé le 16 octobre 2018, soit seize jours avant l'accident, ont permis d'obtenir un aperçu des conditions d'exploitation prévalant dans le secteur où est survenu l'accident. La zone d'exploitation active ressemblait à un petit canyon en forme de fer à cheval avec un plancher d'exploitation relativement étroit, bordé de parois abruptes. Effectivement, les parois

d'exploitation avaient des hauteurs d'environ 23 m telles qu'illustrées par les courbes de niveau de la propriété sur l'image suivante.

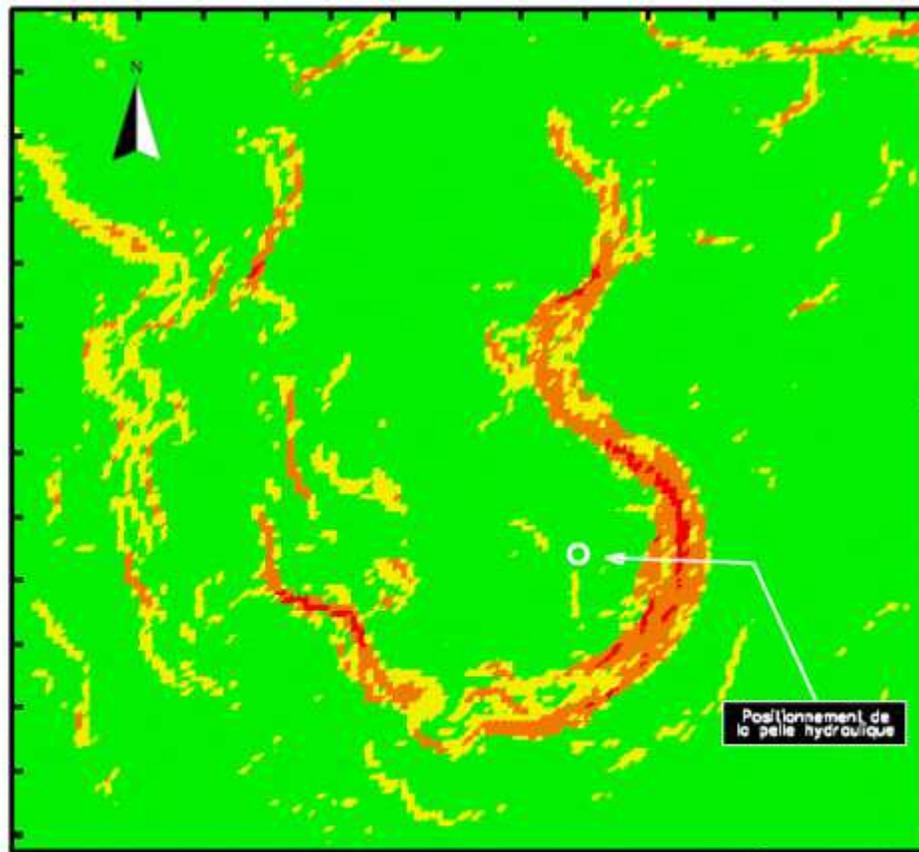


Courbes de niveau à intervalle de 0.5 mètres

Image 6 : Courbes de niveau

Source : Mozaik 3 D

De plus, des inclinaisons supérieures à 45° pour tous les fronts d'exploitation étaient présentes. Les inclinaisons des parois sud et est oscillaient même entre 60° et 90° tels que le représente l'image 7.



*L'intervalle de gradation est de 10 m.

Légende:

- 75 à 90 degrés d'inclinaison
- 60 à 75 degrés d'inclinaison
- 45 à 60 degrés d'inclinaison
- 0 à 45 degrés d'inclinaison

Image 7: Calculs des inclinaisons réalisés à partir du relevé Lidar du 16 octobre 2018
Source : Mozaic 3D

Les 29 et 30 octobre 2018, les arbres et la couverture végétale ont été retirés sur le dessus des fronts d'exploitation sud et est sur une profondeur d'environ 1 m. Ce décapage végétal a atteint le chemin d'accès menant au sommet de la sablière. Un fossé naturel, qui longeait le chemin d'accès du côté nord et qui recueillait les eaux de pluie et de fonte, a été détruit lors des manœuvres. Le fossé n'a pas été réaménagé à la suite du décapage effectué.



Photo 7 : Zone décapée, chemin d'accès et fin du fossé dans la zone décapée
Source : Avis géotechnique, Ministère des transports du Québec

4.2.3.4 Description de l'effondrement

Les coupes du modèle terrain réalisé par le MTQ, à partir du relevé Lidar du 16 octobre 2018, ont permis d'établir que la paroi sud-est était inclinée à 72° sur une hauteur de 18,7 m. Le pied de cette paroi se terminait par une pente inclinée à 45° , sur une hauteur de 4,1 m, donnant une hauteur totale d'exploitation de 22,8 m. En se dirigeant vers l'est, l'inclinaison était d'environ 67° sur une hauteur de 22,6 m.

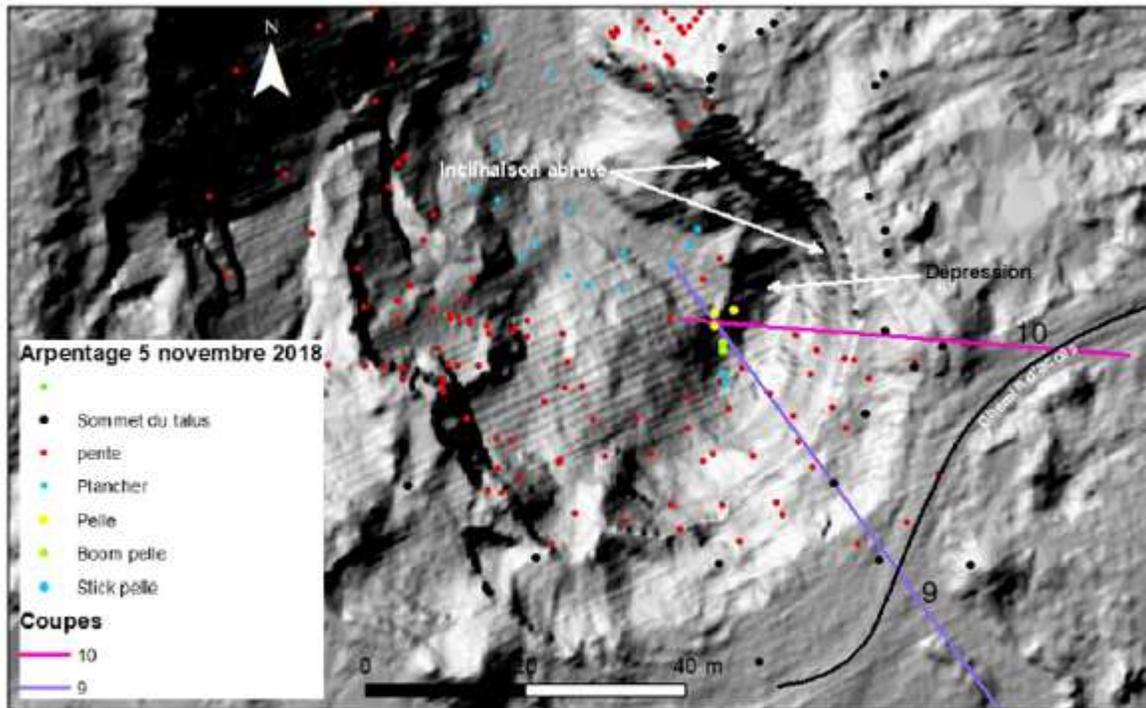


Image 8: Localisation des coupes sur le modèle ombragé du relevé Lidar du 16 octobre 2018

Source : Avis géotechnique, Ministère des transports du Québec

La pelle mécanique se trouvait devant la paroi sud-est, sur un amoncellement de sable d'une hauteur d'environ 3 m par rapport au plancher d'exploitation. Elle était à une distance maximale de 11,86 m de la paroi. Devant la pelle mécanique se trouvait une zone en dépression, plus profonde que le plancher d'exploitation environnant, et située au pied du talus. Au moment du relevé Lidar du 16 octobre 2018, cette cuvette faisait 5 m de profondeur par 12 m de largeur. Le jour de l'accident, elle avait une profondeur approximative de 2 à 3 m selon les propos de l'employeur.

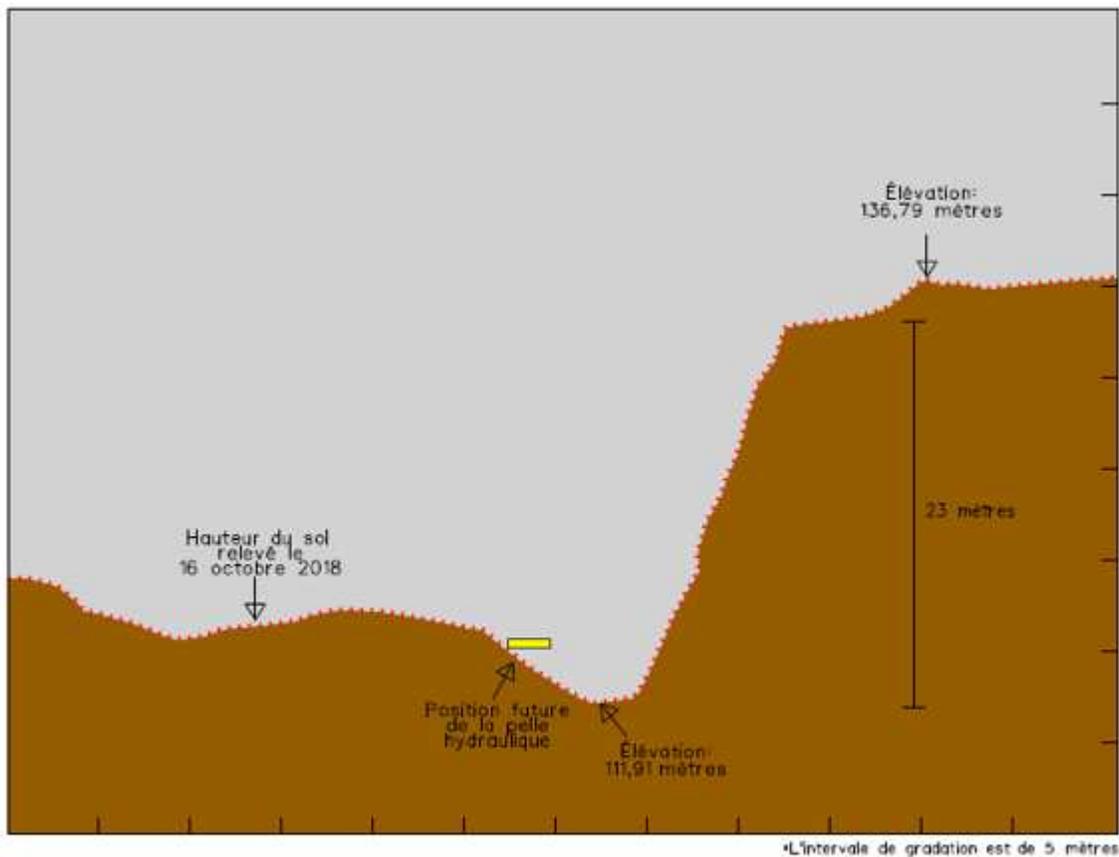


Image 9 : Coupe de profil réalisée à partir du relevé Lidar du 16 octobre 2018
Source : Mozaik 3D

Le travailleur a prélevé du sable à une hauteur d'au plus 10,92 m. Le haut de la paroi atteignait 23 m, soit 12 à 13 m de plus que la position la plus haute du godet de la pelle mécanique. Alors que le travailleur a manœuvré vers l'ouest pour vider son godet, une section de la paroi sud-est s'est décrochée et a enseveli la pelle jusqu'au train arrière.

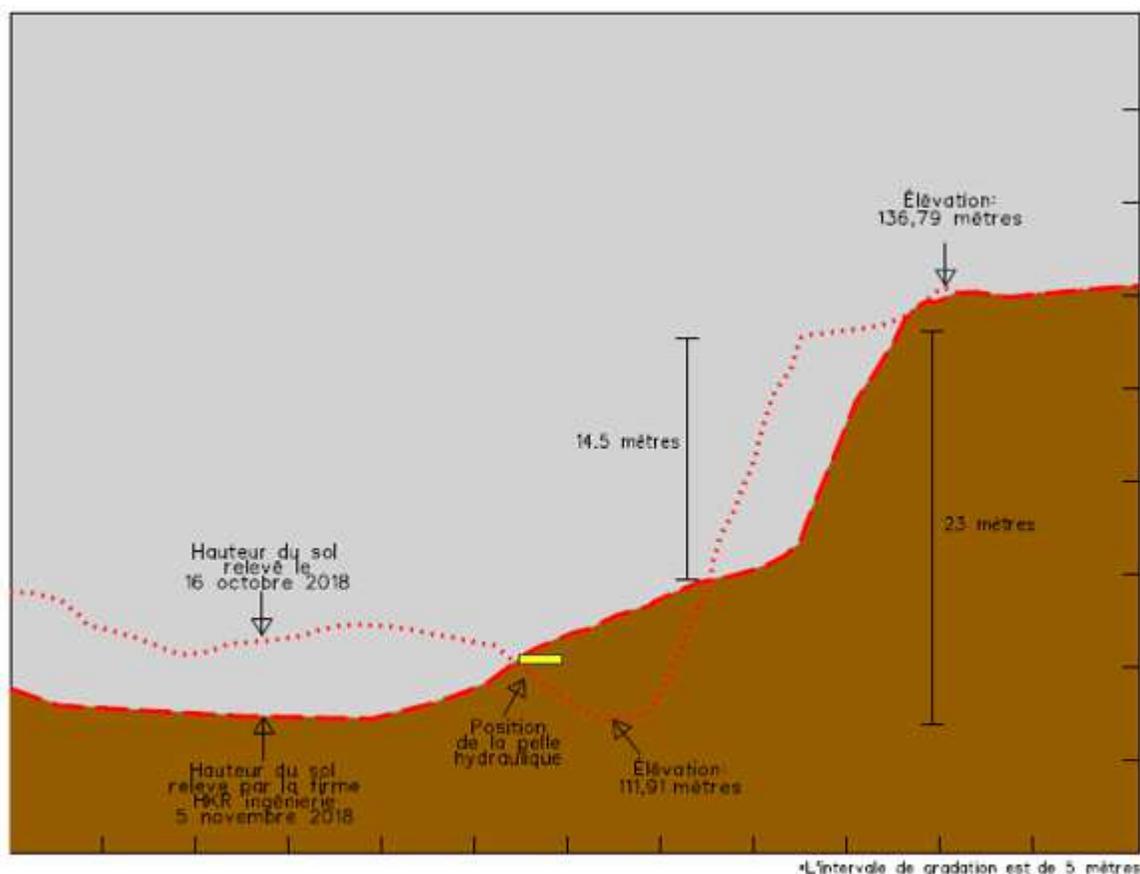


Image 10: Différence entre le relevé Lidar du 16 octobre 2018 et le relevé par arpentage du 5 novembre 2018
Source : Mozaïk 3D

La visite des experts du MTQ a eu lieu le lendemain de l'événement, soit le 2 novembre 2018. À ce moment, ils ont noté que la paroi sud présentait une pente sub-verticale ayant une hauteur continue de 23 mètres. La paroi à l'est mesurait 17 mètres en continu et comportait une pente sub-verticale avec une zone de sous-cavage entre le centre et le bas de la paroi, cette dernière résultant d'un second effondrement s'étant également produit le 1^{er} novembre. Quant à la paroi ouest, elle avait une hauteur de 33 mètres et elle présentait une pente de 70°.

Au niveau de la pelle mécanique, l'élévation de sa partie arrière a été relevée par arpentage à 115,6 m. La partie supérieure de la paroi d'exploitation se situait à une élévation d'au moins 132 m. Après l'effondrement, la différence entre la partie arrière de la pelle et le sommet de la face d'exploitation a été évaluée à 16,4 m. Les sols effondrés se sont accumulés sur une épaisseur équivalente à la moitié de la hauteur de la paroi, et se sont stabilisés selon des inclinaisons de 19° à 25° sur près de 15 m de longueur.



Photo 8 : Différentes élévations prises lors du relevé par arpentage du 5 novembre 2018
Source : Avis géotechnique, Ministère des transports du Québec

En comparant les données par arpentage du 5 novembre 2018 et celles provenant du relevé Lidar du 16 octobre 2018, un volume de sols glissés a pu être calculé à partir de quatre coupes situées dans la zone de travail. Les coupes utilisées sont numérotées de 4 à 7 sur l'image 10. L'aire de la masse mobilisée le long de ces coupes a été multipliée par la longueur de la zone pour obtenir un volume d'environ 422 m³ de sable qui s'est détaché de la face d'exploitation pour ensevelir la pelle mécanique.

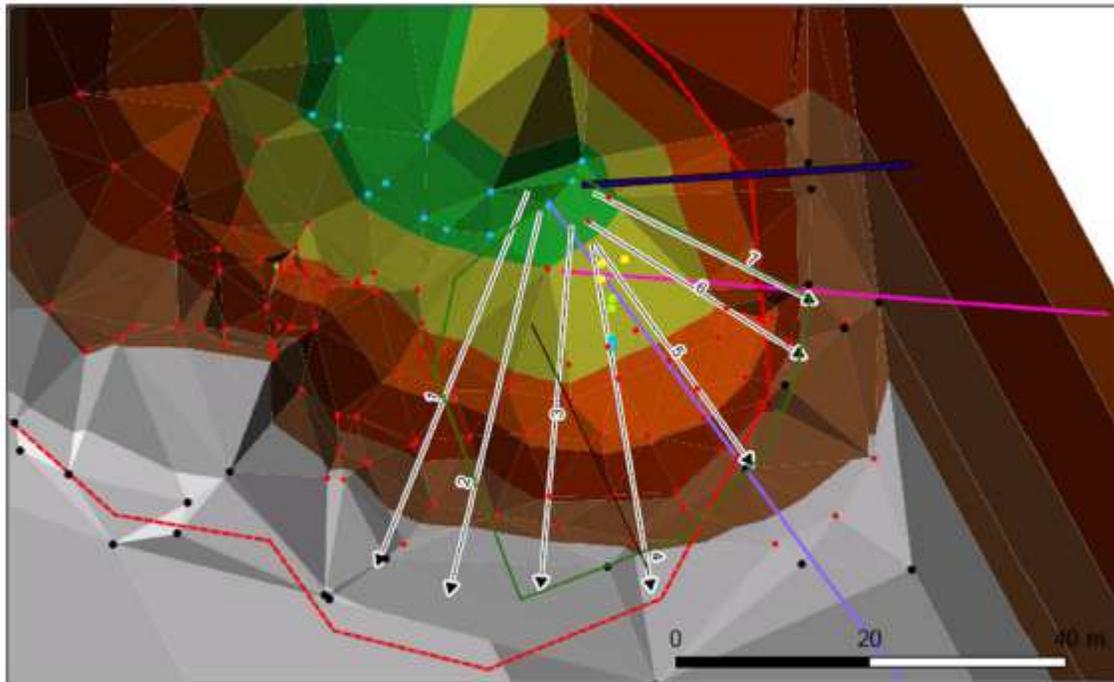


Image 11 : Vue des coupes utilisées pour le calcul du volume de sable tombé
Source : Avis géotechnique, Ministère des transports du Québec

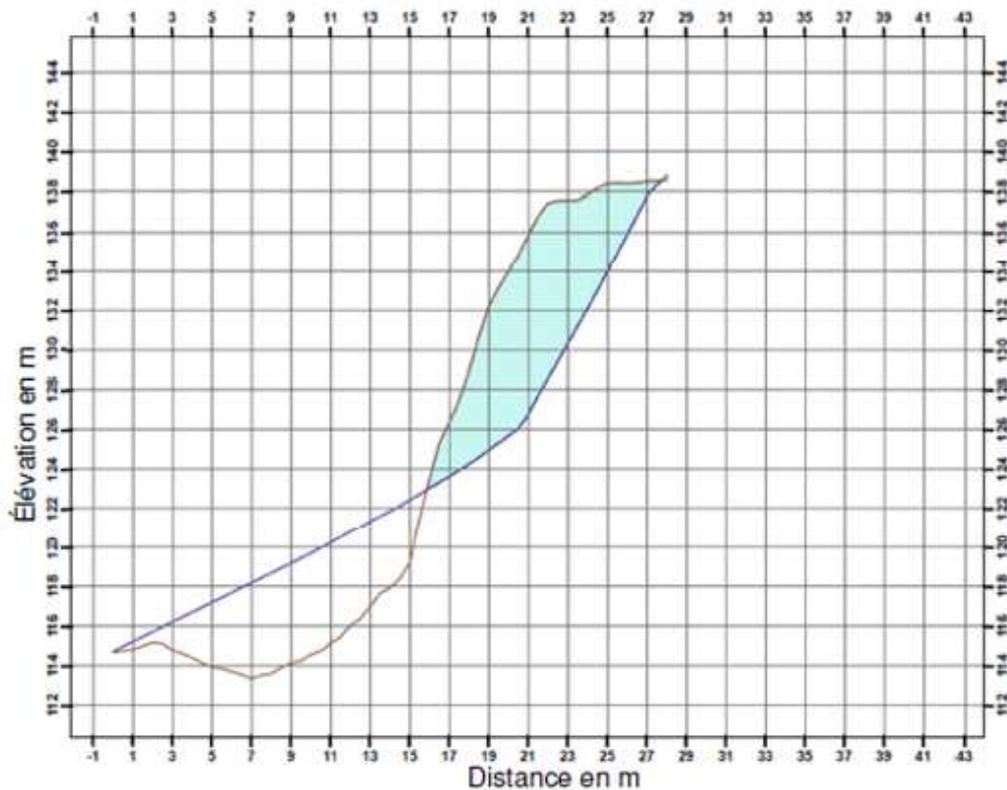


Image 12 : Coupe 5 de l'image précédente qui montre la zone utilisée pour le calcul du volume de sable tombé
Source : Avis géotechnique, Ministère des transports du Québec



Photos 9 et 10 : Vues du volume de sable s'étant décroché de la paroi sud-est

Source : M. C

En ce qui a trait aux caractéristiques géologiques présentes dans la section effondrée, les spécialistes ont noté que la partie supérieure de la paroi, d'où provenaient les matériaux éboulés, était constituée presque exclusivement de sédiments sableux, avec quelques petites poches très localisées de gravier. Les couches sableuses présentaient des inclinaisons variables, en raison de leur entrecroisement, mais l'inclinaison (pendage) de certaines d'entre elles était orientée en direction de la face d'exploitation.



Photo 11: Inclinaisons des couches sableuses dans la partie supérieure de la face d'exploitation où a eu lieu l'accident

Source : Avis géotechnique, Ministère des transports du Québec

De plus, ils ont pu observer une zone humide dans la paroi située juste au-dessus de l'engin enseveli, à l'endroit où la face d'exploitation avait subi le glissement. Leurs déplacements sur le terrain leur ont aussi permis de visualiser une quantité importante d'eau qui s'écoulait de la fin du fossé naturel vers la zone décapée. De l'eau ruisselait sur le chemin d'accès et s'écoulait aussi vers la zone décapée. Des photos prises le jour de l'événement montraient des marques d'humidité visibles directement au sommet où l'effondrement s'est produit et, le lendemain, elles couvraient une partie de la paroi.



Photo 12 : Zones humides observées le 1er novembre 2018 le long du chemin d'accès et au sommet de la pelle
Source : Ministère de la sécurité publique

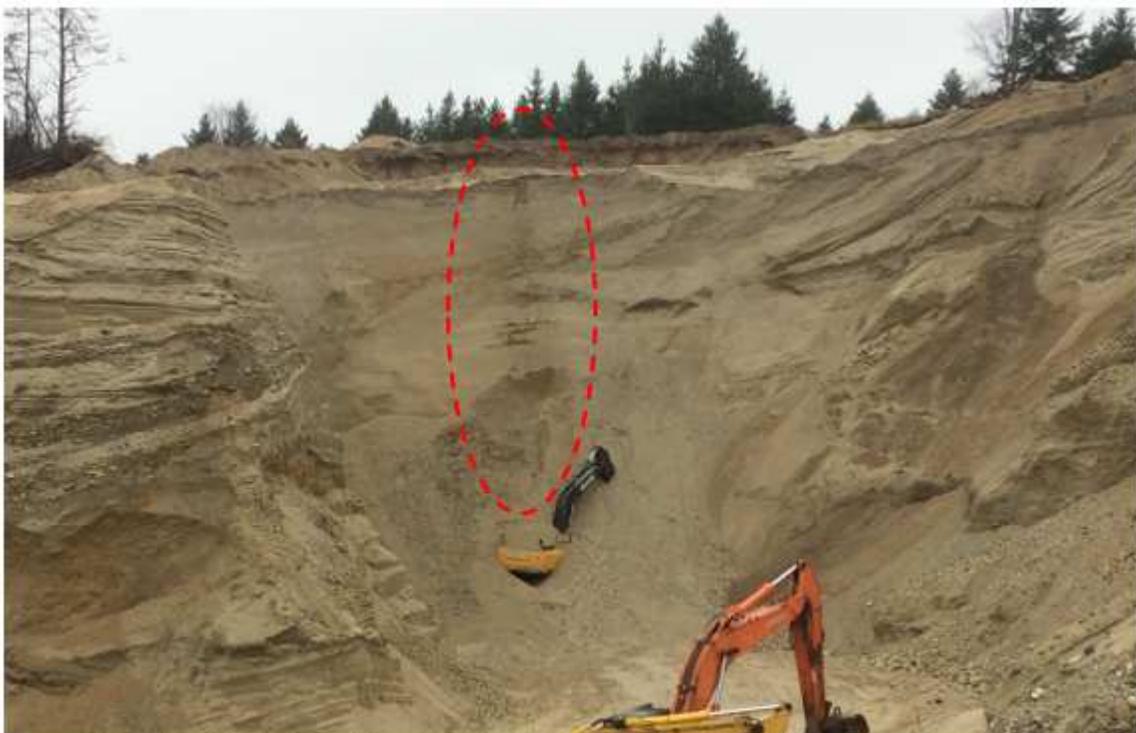


Photo 13 : Zone humide observée le 2 novembre 2018 dans la paroi effondrée
Source : CNESST

4.2.4 Informations relatives à la méthode d'exploitation

Des témoignages ont été recueillis auprès de l'employeur et de quelques travailleurs. Ces informations nous ont permis de comprendre la méthode d'exploitation privilégiée par l'entreprise pour exploiter la sablière.

M. [A] nous a expliqué que sa méthode de travail consistait à excaver dans le bas de la pente afin que le sable positionné plus haut dans la paroi glisse vers le plancher d'exploitation. La masse de sable décrochée tombait alors dans une cuvette qui avait d'abord été creusée au pied de la paroi excavée. La pelle mécanique utilisée se positionnait à l'extérieur de la cuvette, ce qui l'éloignait de la base de la paroi. Lors d'une visite dans la seconde sablière de l'entreprise, nous avons effectivement pu visualiser la méthode d'exploitation expliquée par l'employeur.

L'employeur nous a également mentionné qu'il fallait être attentif aux signes précurseurs d'un effondrement lors de l'excavation d'une paroi. Ainsi, il expliquait à ses travailleurs de constamment surveiller la paroi exploitée, car elle montrait toujours des signes avant-coureurs d'un glissement.

[A] a admis que c'est cette façon de faire qu'il a expliquée à M. [D] avant qu'il ne commence à excaver dans la zone d'exploitation. La consigne donnée était d'amorcer l'excavation par le bas de la paroi en remontant tout en surveillant bien partout parce que l'environnement était dangereux. C'est également cette méthode de travail qui a été enseignée à un autre travailleur [...]. Ce dernier nous a expliqué la méthode de travail à appliquer en ces mots : « On mange la paroi pis, à un moment donné, la paroi tombe ». L'image suivante illustre, en partie, la méthode expliquée par les personnes rencontrées, car il n'y avait pas de cuvette pour recueillir les matériaux qui se décrochaient de la paroi.



Photo 14 : Vue de l'exploitation tirée d'une vidéo prise le 12 juin 2018

Source : M. F

Un autre témoin, [...], nous a raconté qu'en [...], il avait donné des conseils à un travailleur sur la façon d'exploiter les parois, car il trouvait la situation observée dangereuse. Selon lui, la zone de travail de la pelle mécanique était trop étroite pour permettre son retrait en cas d'effondrement, le canyon ayant la largeur d'environ trois pelles mécaniques (12 m). La photo suivante illustre les conditions d'exploitation des parois est et sud en septembre 2018.



Photo 15 : Vue de l'exploitation le 12 septembre 2018

Source : M. F

En somme, nous retenons de l'ensemble des témoignages que la méthode de travail utilisée par l'employeur consistait à excaver les matériaux sableux au pied des parois en s'approchant au maximum de l'angle limite de stabilité de la pente jusqu'à ce qu'une section de la paroi se détache tout en surveillant continuellement les parois afin de s'assurer de ne pas être enseveli lors des manœuvres.

4.2.5 Informations relatives au comportement en résistance des sables et des graviers

Les conditions de stabilité des parois d'exploitation d'une sablière dépendent du comportement en résistance des sables et des graviers qui les composent. Il est donc utile de clarifier certaines notions fondamentales en rapport avec ce type de sol afin de comprendre ce qui permet aux pentes de maintenir ou non leur stabilité.

L'avis géotechnique du MTQ explique, dans un premier temps, que les sols sableux et graveleux ne présentent pas de cohésion entre les grains qui les constituent, contrairement à des sols argileux par exemple. Leur résistance dépend alors essentiellement du frottement entre chaque particule. Ainsi, pour que des grains de sable constituant une pente puissent glisser vers le bas, ils doivent vaincre uniquement la force de friction avec les grains sous-jacents qui les supportent. Le frottement entre les grains variera selon différents facteurs dont, notamment, la forme, la grosseur et l'angulosité des particules ainsi que la

densité du sol. En conséquence, une pente constituée de très petits grains arrondis de sable lâche commencera à montrer des signes d'instabilité selon une pente beaucoup plus faible que si elle est composée de sables et graviers anguleux et denses.

Par ailleurs, les experts nous apprennent également que la présence d'eau dans un sol granulaire a une influence majeure sur la stabilité des pentes. Ils relèvent trois situations pouvant être rencontrées. Dans un premier cas, il y a absence d'eau et le sol est sec, faisant en sorte que seules les forces de friction entre les particules interviennent. Le sol aura alors tendance à se stabiliser à une pente correspondant à ce que l'on appelle « l'angle de repos », entre 28° et 34° pour les sols sableux quand ils sont dans un état lâche. C'est cet angle au repos qu'il est possible d'observer au pied de la paroi ouest sur la photo 16. Ces talus sont considérés comme très stables.

La deuxième situation est celle où les sols sableux sont complètement saturés d'eau. Leur résistance diminue alors de presque la moitié et l'inclinaison à laquelle ils sont stables est considérablement réduite, de l'ordre de 20° et moins. Ces conditions ne se présentent quasiment jamais dans une sablière en exploitation, car la fluidité du matériau rend difficile les opérations de manipulation et d'excavation avec les équipements lourds.

Une paroi de sable « partiellement » saturée d'eau est la troisième situation pouvant être observée. Dans ce cas où l'eau, les grains de sable et l'air sont tous en contact, il se produit un phénomène de « tension capillaire » qui engendre, par succion, une forme de cohésion apparente entre les particules de sol. Ces sols présentent ainsi une résistance à l'effondrement plus élevée qui permet alors aux parois de supporter des inclinaisons supérieures à l'angle au repos sans s'effondrer. Mais lorsque la paroi est exposée à l'air libre et qu'elle s'assèche progressivement, le phénomène de succion capillaire a tendance à s'estomper. Des tranches de sol peuvent alors s'écrouler subitement et s'accumuler aux pieds des pentes en formant des talus dont l'inclinaison respectera alors l'angle de repos naturel du sable. Comme l'illustre la photo 16, c'est cet « effet de succion capillaire » qui permet aux pentes visibles au-dessus des talus d'éboulis de demeurer stables pour un certain temps. Ce phénomène explique également, comme c'est le cas ici, l'existence de parois dont les hauteurs se situent entre 12 et 23 m et ayant des inclinaisons supérieures à 45° dans tous les fronts d'exploitation de la sablière alors que des activités régulières s'y déroulaient.

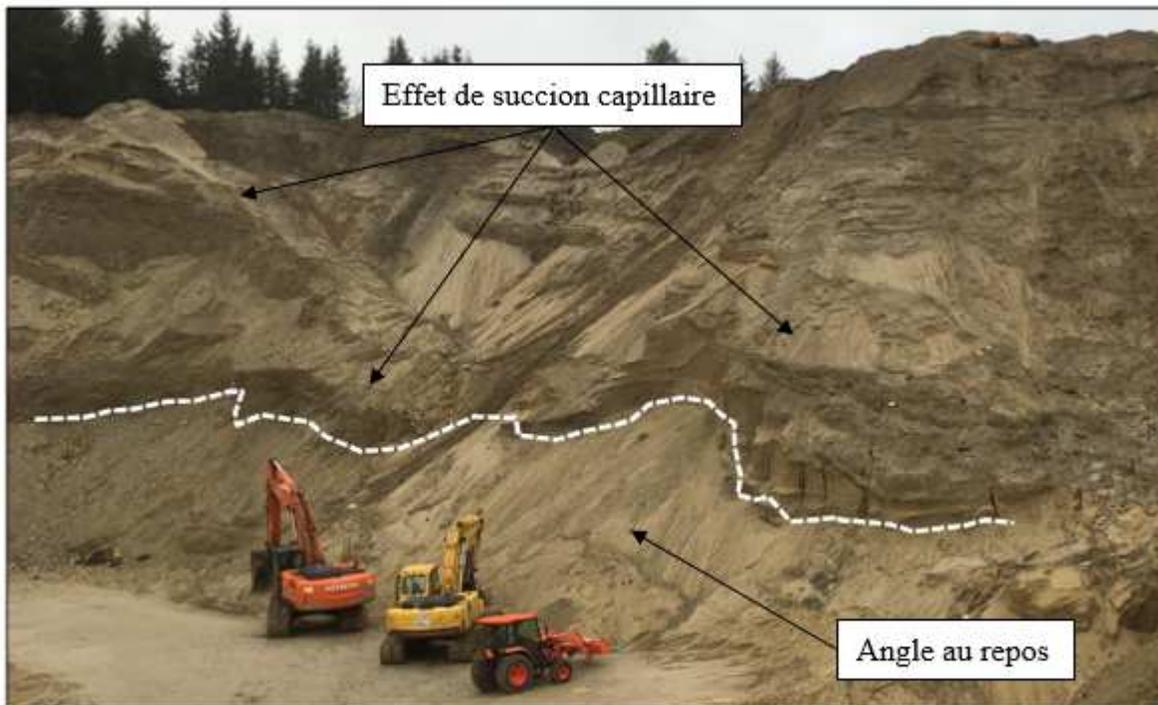


Photo 16 : Angle au repos du sable et effet de succion capillaire présents sur la paroi Ouest
Source : Avis géotechnique, Ministère des transports du Québec

En outre, même lorsque la succion capillaire est active dans une paroi d'exploitation, il peut arriver que celle-ci s'effondre si on la raidit trop en excavant sa base. Il y a, en effet, une limite d'inclinaison qu'il ne faut pas dépasser lorsque l'on excave au pied d'une pente de sable partiellement saturée, car on peut engendrer des contraintes dans le sol qui vont dépasser cette « cohésion apparente » et qui vont provoquer des éboulis soudains. De même, si le sol commence à trop s'humidifier à la suite d'une période présentant un taux plus élevé d'humidité ou encore à la suite de précipitations, cette cohésion apparente, résultant de la succion capillaire, peut diminuer ou même complètement se perdre.

4.2.6 Informations relatives aux conditions météorologiques

Des données de précipitations de pluie ont été obtenues de la station « Parc de la Gatineau – La-Pêche » auprès du ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques (MELCC). Du 16 au 26 octobre 2018, les quantités de pluie reçue sont presque négligeables. Il y a eu des précipitations à compter du 27 octobre jusqu'au 31 octobre pour un total de 21,4 mm, dont 9,8 mm pour la journée du 31 octobre, soit la veille de l'accident. Le jour de l'événement, des précipitations supplémentaires de 14,6 mm sont tombées.

4.2.7 Informations relatives à la réglementation et les règles de l'art applicables à l'exploitation d'une sablière

4.2.7.1 Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines

L'exploitation d'une sablière est assujettie au *Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines*. L'article 1 définit une mine comme étant :

- « *Tout établissement, avec ou sans usine de traitement ou de transformation, où s'effectuent des travaux d'exploration autres que le forage d'un puits artésien, ou des travaux d'extraction du sol ou du sous-sol, pour y retirer une substance minérale afin d'obtenir un produit commercial ou industriel.*
- *Les bâtiments, entrepôts, garages et ateliers situés en surface où s'effectuent des travaux reliés à l'exploration ou à l'extraction d'une substance minérale font partie d'une mine.*
- *De même, les ateliers, usines de traitement, usines de bouletage ainsi que les ouvrages terrestres, tels que les convoyeurs, pipelines, routes, chemins de fer appartenant à une entreprise minière et utilisés aux fins de son exploitation, qui sont situés hors du site d'exploration ou d'extraction, font partie d'une mine.*
- *Ce mot comprend une carrière et une sablière; il exclut une tourbière. »*

L'article 40 de ce règlement traite spécifiquement de l'exploitation d'une sablière. Les trois figures des pages suivantes illustrent les prescriptions énoncées. L'article 40 mentionne que « *dans toute exploitation d'argile, de sable, de gravier ou d'autres substances minérales de faible cohésion et lors de l'enlèvement des terres de recouvrement :*

1° la méthode d'exploitation par sous-cavage est interdite;

2° les arbres et la couverture végétale situés à moins de 10 m (32,8 pi) du bord supérieur des fronts d'attaque doivent être enlevés;

3° l'exploitation doit se faire en gradins dont la hauteur ne doit pas dépasser:

a) 3 m (9,8 pi), si le chargement s'effectue sans équipement mécanique;

b) de plus de 3 m (9,8 pi), le sommet de la flèche ou du godet d'un équipement lorsque ce sommet se trouve dans sa plus haute position de travail, à l'exception d'une exploitation de sable où la pente du front d'attaque est en tout point inférieure à 45 ° par rapport à l'horizontale;

4° les paramètres des couches du sol nécessaires au calcul de la hauteur critique des gradins doivent être déterminées et la géométrie des fronts d'attaque et des parois doit être fixée de façon à assurer leur stabilité, dans les cas suivants:

a) des signes d'instabilité apparaissent dans le terrain;

b) de l'équipement lourd ou d'autres surcharges agissent sur le bord supérieur d'un front d'attaque ou d'une paroi;

c) le terrain contient de l'eau ou des couches d'argiles;

d) la largeur de la berme entre deux gradins successifs est inférieure à 8 m (26,2 pi) ou à la hauteur de l'un de ces gradins;

5° du déblai sur une berme ne doit pas être accumulé si des personnes peuvent se trouver à un niveau inférieur près de cette berme. »

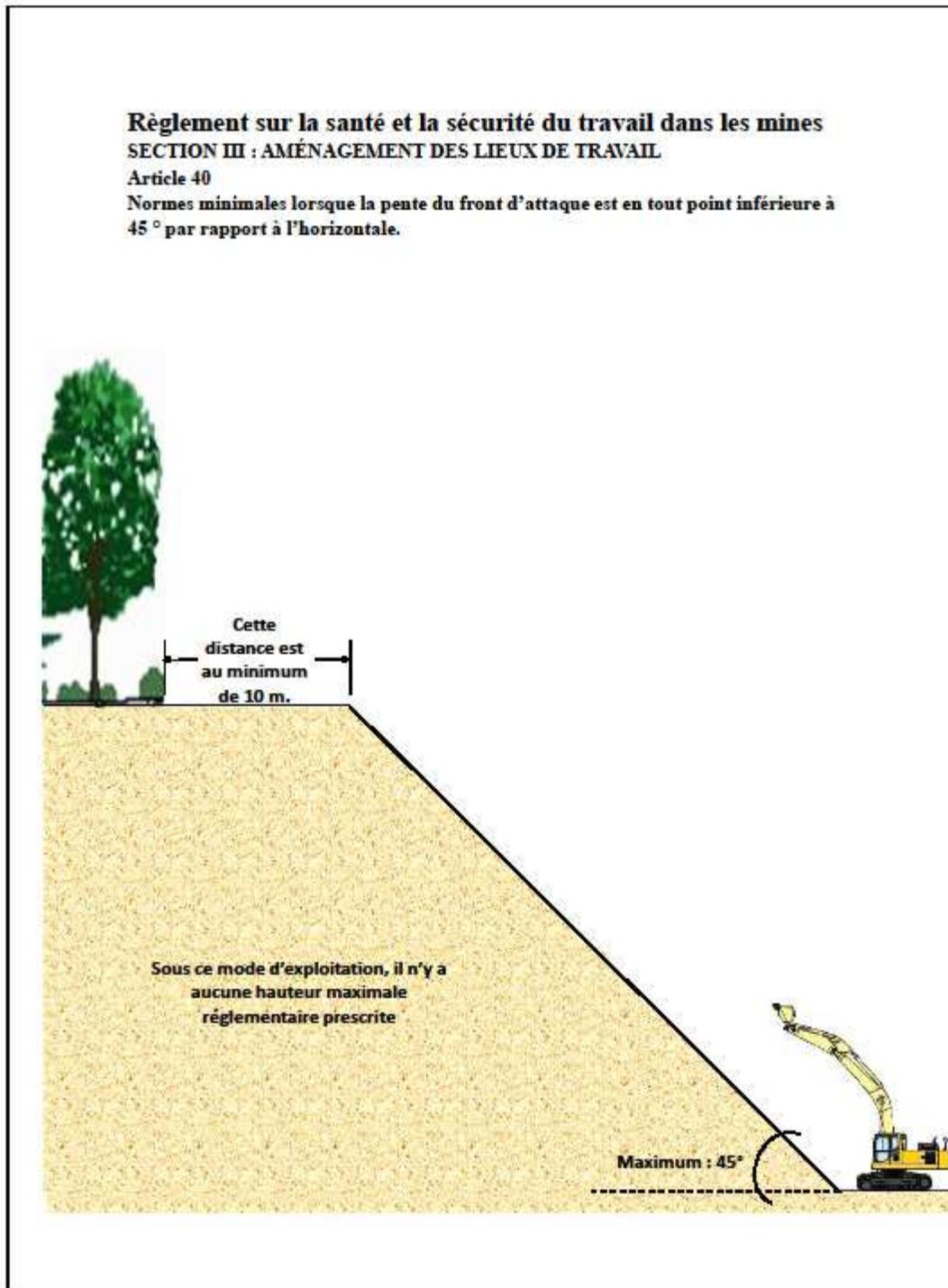


Illustration 1 : Prescriptions réglementaires
Source : CNESST

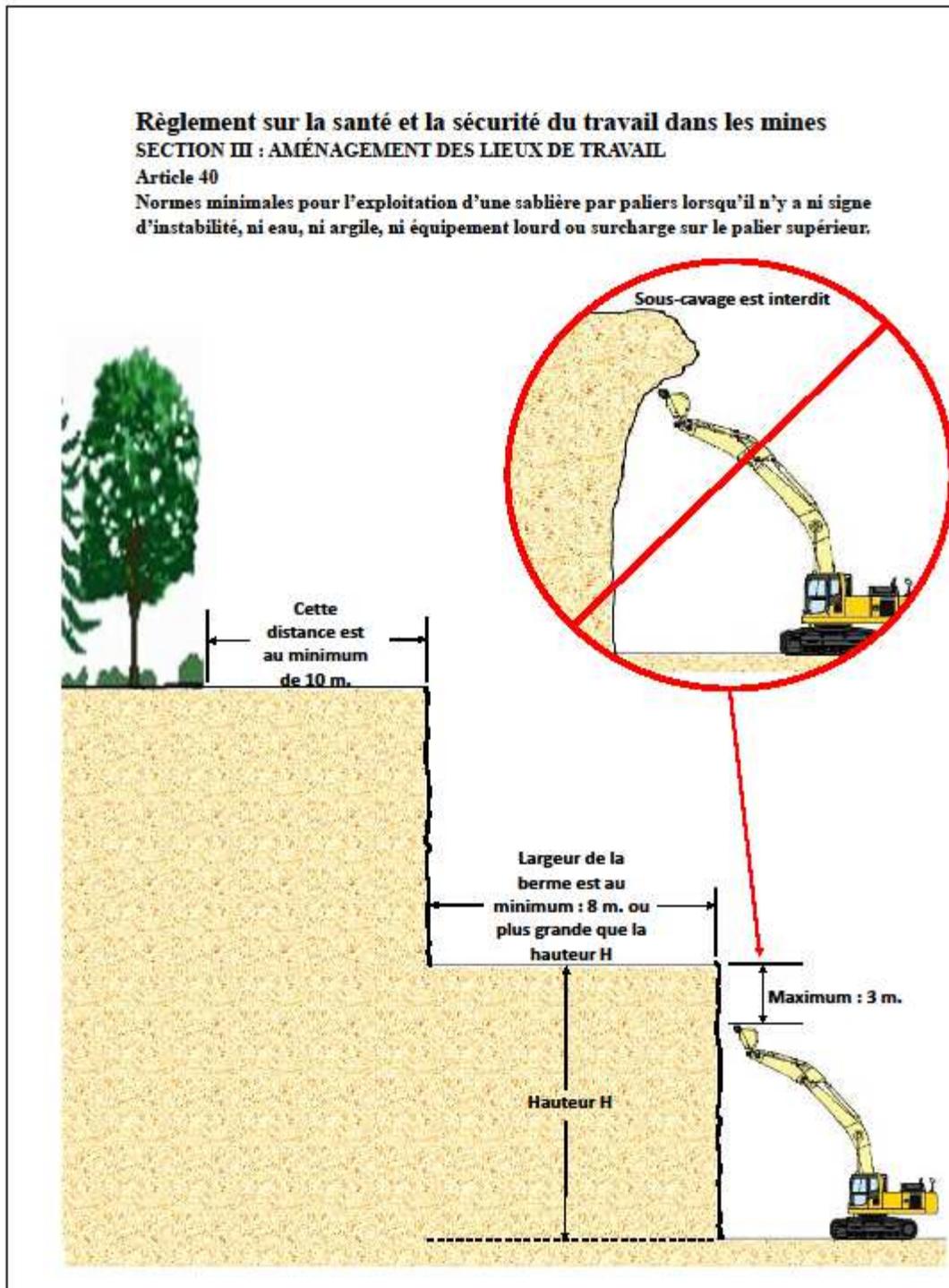


Illustration 2 : Prescriptions réglementaires
Source : CNESST

Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines
SECTION III : AMÉNAGEMENT DES LIEUX DE TRAVAIL

Article 40

Calcul obligatoire de la hauteur critique des gradins et détermination de la géométrie des fronts d'attaque et des parois lorsqu'une ou l'autre de ces conditions ou signe d'instabilité est présent.

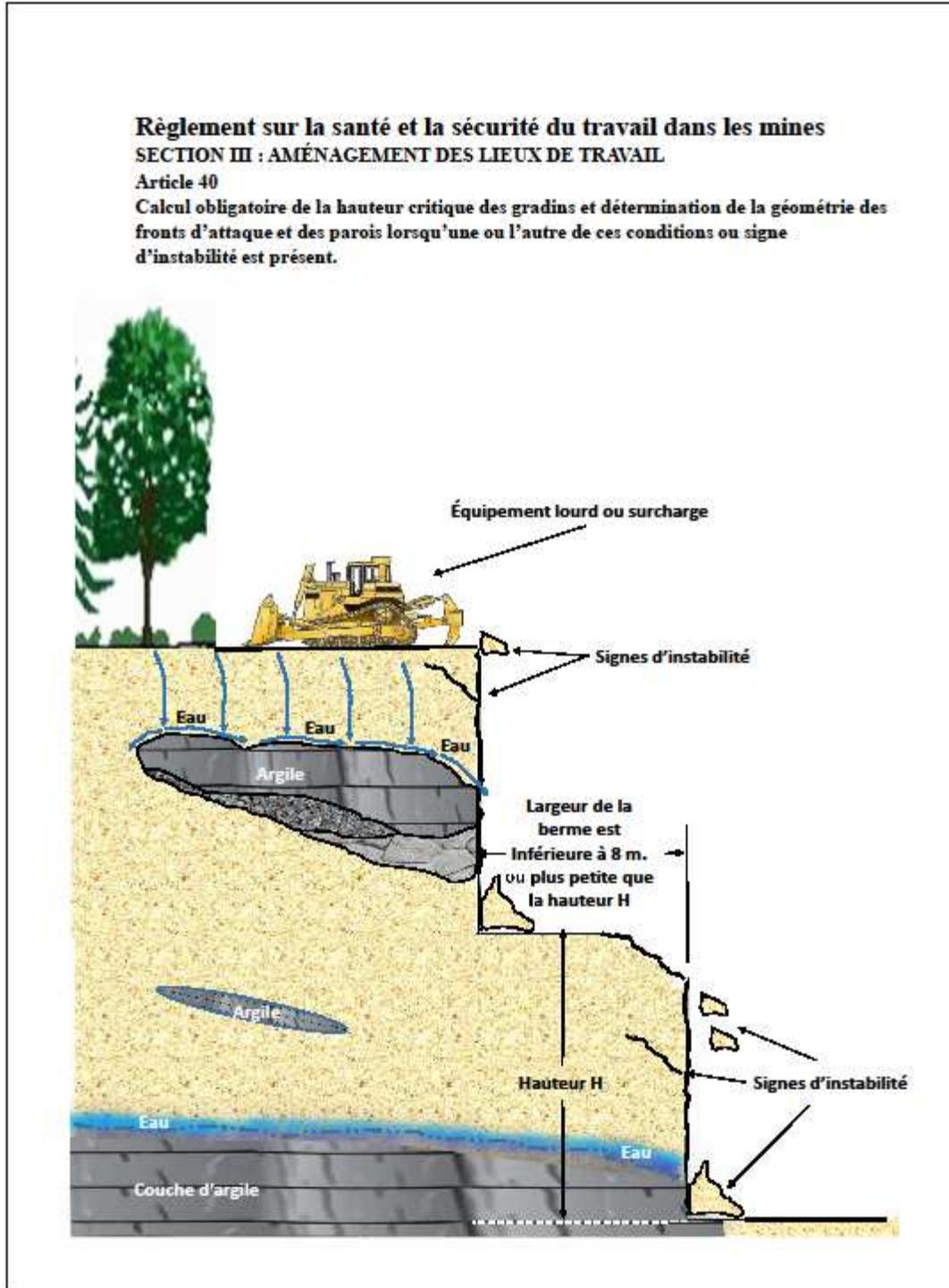


Illustration 3 : Prescriptions réglementaires
Source : CNESST

4.2.7.2 Autres références concernant les règles de l'art applicables

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) a produit un document à l'attention des travailleurs œuvrant dans les carrières. Le document intitulé « *La sécurité dans les carrières* » présente les principaux risques auxquels font face les salariés et les mesures de prévention les plus importantes devant être prises. Il indique, notamment, que le sous-cavage est interdit et que l'équipement d'excavation utilisé pour exploiter doit pouvoir balayer toute la hauteur du front d'exploitation. Il mentionne aussi que la cabine de l'engin d'exploitation doit être suffisamment éloignée de la paroi pour éviter qu'elle ne soit atteinte par la chute de matériaux.

Le Bureau international du Travail (BIT) a élaboré un recueil de directives pratiques nommé « *La sécurité et la santé dans les mines à ciel ouvert* » qui présente des recommandations visant à éliminer les risques observés dans ce secteur d'activité. Il indique que des gradins devraient être aménagés lorsque la profondeur totale prévue d'une sablière dépasse la portée verticale des engins d'excavation utilisés. Il précise que la hauteur et la largeur des gradins devraient être fixées en fonction du type d'équipement utilisé pour l'exploitation. Selon le BIT, les méthodes d'extraction devraient permettre de maintenir la stabilité des gradins, des talus et des pentes aux endroits où des travailleurs sont à l'œuvre. Par conséquent, tout élément de terrain qui présenterait des risques pour le personnel devrait être abattu ou étayé avant que d'autres travaux soient autorisés. Il recommande, enfin, d'exploiter les fronts d'exploitation sur une largeur aussi grande que possible et de former des talus chaque fois que l'exploitation est interrompue pendant une durée supérieure au quart de travail afin de prévenir tout éboulement de sable.

Divers ouvrages de référence géotechnique dans le domaine des mines, carrières et sablières ont également été consultés.

Le manuel « *Introductory Mining Engineering* » donne des prescriptions concernant les pentes à respecter lors d'excavation dans le roc et les dépôts meubles. La table 7.1, intitulée « *Recommended Pit Slopes* » établit que les pentes recommandées oscillent entre 16 et 45 degrés pour les dépôts meubles. Plus précisément, neuf types de dépôts meubles sont identifiés. Le type « *sand and clay* » correspondrait au descriptif géologique de la sablière qui fait l'objet de la présente enquête, à savoir des sols sableux interlités de lentilles de matériaux plus cohésifs. L'angle recommandé est de 37°. L'ouvrage précise également que les pentes recommandées peuvent varier d'une mine à l'autre et que les décrochements de parois peuvent être évités par des analyses géotechniques.

Le manuel « *Surface and Underground Excavations* » traite des méthodes de travail à adopter pour assurer la stabilité des pentes des parois de matériaux meubles lors de l'exploitation. Il énonce, notamment, des critères qui affectent la stabilité des pentes. Il y est question des caractéristiques des matériaux, à savoir leur type, leur granulométrie, leur teneur en eau, leur compacité, leur porosité, etc. ainsi que de la présence d'eaux de ruissellement. Il mentionne, aussi, la règle voulant que la hauteur maximum des bancs devrait être déterminée en fonction de la plus haute position de travail de la flèche ou du godet de l'équipement utilisé. Il précise même que la hauteur maximale des bancs ne devrait pas dépasser la portée maximale de la flèche de plus 3 mètres et qu'il devient non sécuritaire d'exploiter en dépassant cette hauteur.

L'ouvrage de référence général en santé et sécurité du travail intitulé « *Encyclopédie de la sécurité et de la santé au travail* », édité par le Bureau international du travail, traite, notamment, de l'exploitation des

mines et carrières. Il y est mentionné que les caractéristiques géologiques d'un gisement sont prépondérantes dans le choix des méthodes et du matériel d'exploitation. Il y est cité, entre autres, que le pendage, défini comme l'angle que forme la veine par rapport à l'horizontale, a une incidence sur la stabilité des parois. Également, il y est relevé qu'en quantité importante, l'eau présente dans la paroi diminue la stabilité des terrains et doit être évacuée.

4.2.8 Informations relatives aux interventions antérieures de la CNESST

Plusieurs inspecteurs sont intervenus sur les deux sites d'exploitation appartenant à cet employeur depuis vingt ans.

Le 10 août 2000, un inspecteur de la CNESST s'est rendu à l'établissement situé au [...], route 105 à La Pêche dans le cadre de l'opération annuelle visant les mutuelles de prévention. L'objet de l'intervention était la vérification du respect des différentes obligations prévues au contrat signé entre la CNESST et l'employeur dont celle consistant à élaborer et mettre en œuvre un programme de prévention. L'inspecteur a constaté que l'employeur avait effectivement un programme de prévention dans lequel il avait identifié les risques présents dans l'entreprise. L'un d'eux était le danger de glissement de terrain avec la machinerie. Comme moyen prévu pour éliminer ou diminuer ce danger, l'employeur indiquait à son programme de prévention qu'il comptait respecter les prescriptions prévues à l'article 3.15.3 du Code de sécurité pour les travaux de construction (CSTC). Cet article établit que l'étalement n'est pas nécessaire lorsque les parois d'une tranchée ou une excavation ne présentent pas de danger de glissement de terrain et que leur pente est inférieure à 45°.

Le 9 novembre 2007, un inspecteur a visité l'établissement situé au [...], route 105 à La Pêche afin de vérifier la conformité des épanduses d'abrasifs appartenant à l'employeur conformément au Plan d'action sur la sécurité des machines de la CNESST. Au terme de l'intervention, l'inspecteur a discuté avec M. [A] de l'exploitation sécuritaire de la sablière. Plus précisément, l'inspecteur témoigne qu'il lui a recommandé verbalement, lors de cette intervention, de s'assurer de garder une pente sécuritaire afin d'éviter un glissement de terrain qui pourrait ensevelir un travailleur.

Le 9 novembre 2012, des inspecteurs de la CNESST ont visité la sablière située au [...], Chemin de la Rivière à La Pêche dans le but de vérifier le mode d'exploitation de la sablière et la sécurité des machines conformément au Plan d'action sur la sécurité des machines de la CNESST. Ils ont constaté la présence d'un front d'exploitation d'une hauteur d'environ 20 m divisé en trois paliers. Afin d'informer adéquatement M. [A] sur la réglementation applicable à l'exploitation d'une sablière, le rapport d'intervention des inspecteurs contenait les prescriptions de l'article 40 du *Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines* (RSSTM). Les principaux éléments de cet article avaient été discutés avec l'employeur au cours de l'intervention.

Le 5 mai 2017, des inspectrices de la CNESST se sont rendus dans la sablière située au [...], route 105 à La Pêche, à la suite d'un appel anonyme mentionnant un danger d'effondrement. Elles ont constaté que l'entreprise exploitait la sablière vers l'ouest. L'unique front d'exploitation avait une hauteur approximative de 25 m. Un palier était présent et un second était en cours de fabrication, du nord vers le sud. Une pelle mécanique se trouvait en haut du front d'exploitation afin de retirer les arbres et la couverture végétale. Les inspectrices ont discuté avec M. [A] et [G], des règles relatives à la hauteur des

paliers. M. [A] a confirmé connaître la règle voulant que chaque palier ne puisse dépasser de plus de 3 m la portée de l'équipement lourd utilisé pour l'exploitation.

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 L'opération d'une pelle mécanique sur une paroi ayant un profil d'exploitation inadapté à ses caractéristiques géotechniques, entraîne l'effondrement de la paroi et l'ensevelissement de la pelle.

La stabilité des fronts d'exploitation d'une sablière repose sur de nombreux éléments géotechniques et environnementaux. Une modification à l'un ou l'autre de ces paramètres peut affecter considérablement la résistance des sables et graviers qui composent une paroi d'exploitation. Le jour de l'accident, plusieurs paramètres géotechniques du front d'exploitation sud-est étaient affectés par la méthode d'exploitation, rendant ainsi la paroi sud-est instable.

Rappelons, dans un premier temps, les informations recueillies concernant la sablière. En ce qui a trait à sa composition géologique, l'avis géotechnique produit par le MTQ relève la complexité des couches géologiques en place dont la stratigraphie est très variable, les couches de sol présentant, sur de courtes distances, des variations latérales dans leur composition granulométrique et leur épaisseur. Quant aux profils des parois d'exploitation, il a été possible de déterminer que la paroi sud avait une hauteur continue de près de 23 m et que son inclinaison était à 72° sur 18 m. L'inclinaison à sa base, sur une hauteur d'environ 5 m, était de 45° . Pour sa part, la paroi Est était également d'une hauteur de près de 23 m et son inclinaison se situait à 67° . En fait, tous les fronts d'exploitation présentaient des inclinaisons supérieures à 45° .

La complexité géologique observée par les experts nous amène à revenir sur les phénomènes géotechniques qui font en sorte qu'une paroi d'exploitation est stable. Cette stabilité est largement fonction du comportement en résistance des sables et des graviers qui la composent. En plus de facteurs intrinsèques aux couches de sol, la présence d'eau dans un sol granulaire a une influence majeure sur la stabilité des pentes d'une exploitation. Dans une paroi de sable qui est « partiellement saturée » d'eau, il se produit un phénomène de « tension capillaire » où, par succion, une forme de cohésion apparente se crée entre les particules de sol. La résistance des sols s'en voit augmentée, permettant aux parois de supporter des inclinaisons supérieures sans s'effondrer. C'est ce phénomène qui a pu être observé à plusieurs endroits dans les fronts d'exploitation de la sablière. Il permet même d'expliquer la hauteur des parois observées, autour de 23 m, et leur apparente stabilité même si les inclinaisons sont supérieures à 45° un peu partout dans la sablière.

Toutefois, lorsque les conditions d'humidité sont modifiées dans de telles parois, la cohésion résultant de la succion capillaire peut diminuer ou même complètement se perdre. C'est ce qui s'est produit ici alors que, dans les cinq jours précédents l'accident, des précipitations totalisant 21,4 mm sont tombées dans le secteur de la sablière dont 9,1 mm le 31 octobre. De plus, au cours de cette même période, l'employeur a retiré la couverture végétale et les arbres sur le dessus des parois est et sud. La zone décapée atteignait le chemin d'accès situé au sud de l'exploitation et le fossé naturel qui le longeait. Ce fossé servait à recueillir les eaux de pluie et de fonte. L'enlèvement des sols de surface jusqu'au fossé a modifié les conditions d'humidité dans la paroi puisque le fossé n'a pas été réaménagé pour éviter que l'eau de ruissellement ne percole dans la paroi. Combiné au pendage des couches sédimentaires qui inclinait vers la zone d'excavation, ces éléments favorisaient l'écoulement de l'eau de ruissellement vers la paroi sud-est. Les zones humides observées au-dessus de la paroi sud-est le 1^{er} novembre 2018 et qui recouvraient cette dernière le 2 novembre viennent confirmer qu'une concentration d'eau de surface et

souterraine s'est dirigée vers la face d'exploitation. Ce fait a contribué à une perte de la cohésion apparente à cet endroit.

Quant aux inclinaisons déterminées avec le relevé Lidar du 16 octobre 2018, les données indiquent que l'exploitation des parois se faisait alors qu'elles avaient toutes une pente supérieure à 45° sur près de 23 m de hauteur en continu. Or, le *Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines* (RSSTM) établit que des gradins, dont la hauteur ne doit pas dépasser de plus de 3 m la portée maximale du godet de l'équipement utilisé, doivent être aménagés dans une paroi lorsque l'inclinaison de celle-ci est supérieure à 45°. Cette prescription est reprise dans plusieurs ouvrages de référence traitant de l'exploitation d'une mine à ciel ouvert, car elle permet, entre autres, d'assurer la stabilité des parois et de limiter la quantité de matériaux pouvant se décrocher en cas d'effondrement. Lors des manœuvres de la pelle mécanique sur la paroi sud-est le jour de l'accident, 12 m séparait la portée maximale de la pelle mécanique du haut de la paroi. Cela excédait donc de 9 m les prescriptions réglementaires ainsi que les règles de l'art en exploitation d'une sablière.

Des parois d'exploitation soutenues par cohésion capillaire sont considérées comme hautement instables d'un point de vue géotechnique puisqu'il est impossible de déterminer d'avance l'angle maximum à ne pas dépasser pour ne pas engendrer des conditions subites d'instabilité. Une perte de cohésion capillaire est survenue dans la paroi sud-est, car les conditions de saturation des sols le jour de l'accident ont été modifiées par la pluie et le décapage végétal. Combinés à la variabilité dans les propriétés des diverses couches de sol du front d'exploitation et au maintien d'une paroi inclinée à 67° sur 23 m de hauteur en continu pendant l'excavation, ces éléments ont généré l'effondrement d'un volume de 422 m³ de sable de la paroi sud-est et provoqué l'ensevelissement de la pelle.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La méthode d'exploitation reposant sur l'expérience de l'employeur, notamment en ce qui a trait à la détection des signes précurseurs de l'effondrement, est dangereuse.

La méthode d'exploitation retenue par l'employeur consiste à excaver la base de la paroi pour provoquer des effondrements contrôlés de matériaux granulaires. L'employeur considère qu'il est possible d'exploiter la sablière tout en étant à l'affût des signes avant-coureurs d'un effondrement et sa méthode d'exploitation repose sur cette prémisse. Mais comme les conditions d'exploitation peuvent être variables dans le temps et dans l'espace au fur et à mesure de la progression dans les fronts d'exploitation, force est de constater que cette approche n'offrait aucune garantie de sécurité.

L'utilisation de l'effet de la gravité dans la technique d'excavation de l'employeur permettait en effet d'avoir accès aux portions supérieures des parois d'exploitation qui étaient inaccessibles autrement à la pelle mécanique en raison de leur hauteur. Ce procédé de travail ne poserait, en principe, aucun problème s'il était utilisé dans un contexte où la hauteur maximale de chaque gradin était respectée. La quantité de matériaux qui s'effondrerait alors ne serait pas suffisante pour ensevelir complètement un équipement lourd. Or, l'analyse des fronts d'exploitation a permis d'établir qu'il n'y avait aucun gradin tel que le requiert le RSSTM alors que la hauteur de la paroi dépassait de plus de 12 m la portée maximale de la pelle mécanique, augmentant de fait le volume de matériaux qui s'est décroché au moment de l'accident. Et comme le sable effondré s'est positionné selon son angle au repos entre 19° et 25° sur près de 15 m de longueur, la pelle mécanique qui se trouvait à 12 m de la paroi s'est retrouvée ensevelie.

Des images de la sablière prises au cours de l'année 2018 ont également montré que la méthode d'exploitation choisie par l'employeur entraînait des opérations de sous-cavage alors que ce type d'opération est interdit par la réglementation et proscrit dans toutes les normes et ouvrages de référence en exploitation de mine consultés à cause des risques importants associés à la proximité de la cabine de l'équipement lourd qui pourrait être atteinte par des chutes de matériaux.

La configuration de la zone d'exploitation active apparaît avoir été largement influencée par la recherche d'un sol sableux dont la granulométrie permettait de répondre au contrat d'approvisionnement de l'entreprise tout en ne requérant qu'un nombre minimal de manipulations. Au moment de la visite de la CNESST en mai 2017, la sablière était exploitée vers l'ouest et l'employeur construisait un palier en se dirigeant vers sud. La découverte d'une couche de sable convenable à son contrat a fait bifurquer son exploitation vers le sud tout en descendant son plancher d'exploitation. L'impératif de production associé à ce choix d'abaisser le niveau d'exploitation a fait en sorte de créer des fronts d'exploitation dont les hauteurs et les profils ne respectaient plus les prescriptions réglementaires pourtant connues de l'employeur.

Quant à la gestion des effondrements imminents, la consigne donnée par l'employeur à l'opérateur de l'équipement lourd consistait à bien observer la paroi jusqu'à la détection de signes avant-coureurs du décrochement. À ce moment, il devait s'en éloigner pour laisser cette dernière s'effondrer, le sable tombé étant récupéré dans une cuvette préalablement creusée à la base de la paroi. La connaissance des comportements du sable était une prérogative de l'employeur [...] Bien qu'il ait expliqué à ses travailleurs ce qu'il considérait comme des signes annonciateurs d'un décrochement, comme le soulignent les experts du MTQ, les caractéristiques géologiques et les profils d'exploitation maintenus dans la sablière rendaient difficile, voire impossible, la détermination du moment où l'effondrement aurait lieu ainsi que son ampleur.

Malgré les multiples visites de la CNESST au cours desquelles ont été abordées les dispositions réglementaires applicables à l'exploitation d'une sablière, les choix d'exploitation de l'employeur semblent avoir essentiellement reposé sur la possibilité de trouver du sable dont la granulométrie convenait à son contrat d'approvisionnement tout en limitant le volume de sable et le nombre de manipulations de sable nécessaire à l'efficacité de sa production. L'approche d'exploitation appliquée était périlleuse, car elle reposait sur le principe que des éboulis surviendraient inévitablement dans les faces d'exploitation, que les signes avant-coureurs d'un effondrement seraient visibles pour tous les travailleurs affectés à excaver les fronts d'exploitation et qu'ils auraient le temps de se retirer de la zone à risque avant que le décrochement ne se produise.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

Au terme de cette enquête, deux causes sont retenues pour expliquer cet accident :

- L'opération d'une pelle mécanique sur une paroi ayant un profil d'exploitation inadapté à ses caractéristiques géotechniques, entraîne l'effondrement de la paroi et l'ensevelissement de la pelle.
- La méthode d'exploitation reposant sur l'expérience de l'employeur, notamment en ce qui a trait à la détection des signes précurseurs à l'effondrement, est dangereuse.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Une interdiction d'accès et d'exploitation de la section de la sablière où a eu lieu l'accident a été émise le 1er novembre 2018 (réf. : RAP1242883). Une levée partielle de cette interdiction a été faite le 6 novembre 2018 afin de procéder à la construction d'un chemin d'accès temporaire permettant de récupérer le corps du travailleur décédé (réf. : RAP1242937). Une seconde levée partielle de l'interdiction a été émise le 22 novembre 2018 dans le but de procéder à la construction d'un chemin d'accès pour retirer la pelle mécanique (réf. : RAP1245183). Un scellé portant le numéro E53003 a été apposé sur la pelle mécanique impliquée dans l'accident le 23 novembre 2018 aux fins de lui faire subir une inspection mécanique (réf. : RAP1245183). La décision permettant de nouveau l'accès aux travailleurs et la reprise de l'exploitation de la sablière a été rendue le 8 mars 2019 (RAP1255906).

5.3 Suivis à l'enquête

Pour éviter qu'un tel accident ne se reproduise, la CNESST transmettra son enquête à l'Association des constructeurs de routes et grands travaux du Québec et à l'Association des directeurs généraux des MRC du Québec afin qu'elles informent leurs membres.

Également, dans le cadre de son partenariat avec la CNESST, le Ministère de l'Éducation et de l'Enseignement supérieur diffusera le rapport d'enquête dans ses établissements de formation qui offrent le programme d'études Conduite d'engins de chantier.

ANNEXE A

Accidenté

Nom, prénom : [D]
Sexe : [...]
Âge : [...]
Fonction habituelle : [...]
Fonction lors de l'accident : Opérateur de pelle mécanique
Expérience dans cette fonction : [...]
Ancienneté chez l'employeur : [...]

ANNEXE B

Liste des personnes rencontrées

Personnes rencontrées

M. [H]

M. [F]

Mme Julie Bouthillier, sergente-détective, MRC des Collines-de-l'Outaouais

M. Gabriel Ladouceur, sergent-détective, MRC des Collines-de-l'Outaouais

M. Éric Leduc, géomorphologue, Direction régionale de la sécurité civile et de la sécurité incendie de l'Outaouais, Ministère de la sécurité publique

M. [I] Tamiseur de la Gatineau

M. [A]

M. [J]

Mme [K]

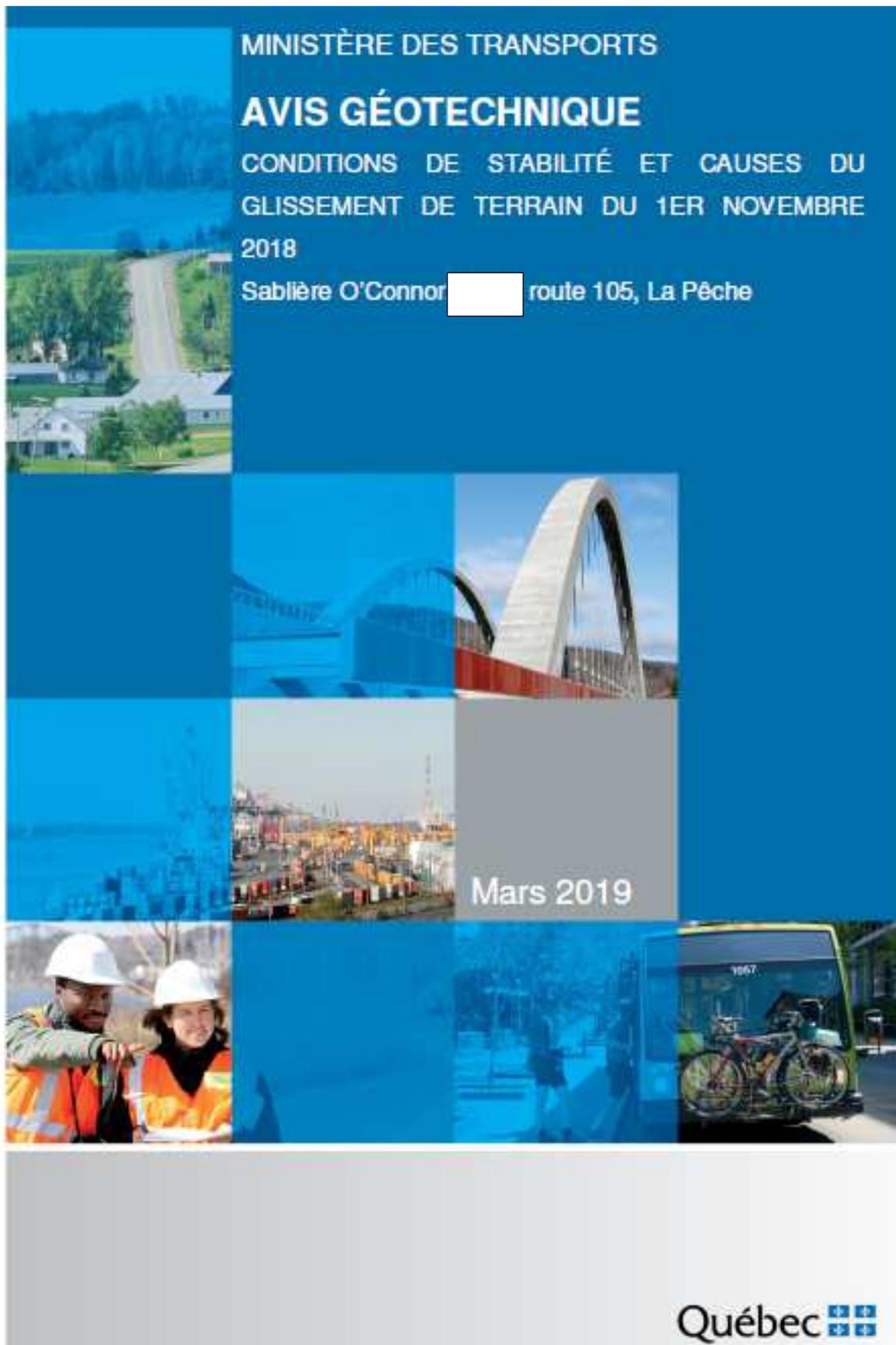
M. [E]

M. Denis Robitaille, ingénieur, Direction de la géotechnique et de la géologie, Ministère des Transports

Mme Julie Therrien, ingénieure, Direction de la géotechnique et de la géologie, Ministère des Transports

ANNEXE C

Expertise





AVIS GÉOTECHNIQUE

CONDITIONS DE STABILITÉ ET CAUSES DU GLISSEMENT DE
TERRAIN DU 1^{ER} NOVEMBRE 2018
SABLIÈRE O'CONNOR ROUTE 105, LA PÊCHE

Destinataire : Nadia Tremblay
Directrice régionale par intérim
Direction de la Prévention et de la planification
CNESST
15, rue Gamelin, 3^e étage
Gatineau (Québec) J8Y 6N5

Préparée par : Julie Therrien
Direction de la géotechnique et de la géologie
2700, rue Einstein, 2^e étage
Québec (Québec) G1P 3W8

N°Dossier : MT.03.82035.18.01 de 105, La Pêche

Québec, le 22 mars 2019

Registre des émissions et révisions

No de révision	Date	Description de l'émission ou de la modification
00	2019-03-22	Rapport final

Distribution : M^{me} Janelle Potvin, directrice par intérim
Direction de la géotechnique et de la géologie
M. Denis Demers, chef d'équipe
Section des mouvements de terrain



MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, route 105, La Pêche

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION	1
2. DESCRIPTION GÉNÉRALE ET HISTORIQUE DU SITE	4
3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE	10
4. OBSERVATIONS DE TERRAIN	11
5. ANALYSE DES DONNÉES TOPOGRAPHIQUES ET MÉTÉOROLOGIQUES	15
6. ÉVALUATION DES CONDITIONS DE STABILITÉ	23
7. CONCLUSION	26



MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Pêche

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1: Liste des photographies aériennes consultées.....6

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Localisation du site.....3

Figure 1.2: Vue d'ensemble du site de l'accident de travail. Le cercle rouge localise la pelle mécanique ensevelie au pied d'une paroi d'exploitation. Source : photo MTQ, 2 novembre 2018.4

Figure 2.1: Topographie du site tirée du lidar de 2009 (MTQ). La ligne rouge donne les limites approximatives de la sablière à ce moment. Les courbes de niveau sont aux 2 mètres.6

Figure 2.2: Montage de photographies aériennes de la sablière entre 1964 et 2004. Les lignes rouges indiquent les limites approximatives de la sablière à chaque époque.7

Figure 2.3: Vue de la sablière en 2009. Source : Google Earth Pro ©. La ligne rouge indique les limites approximatives de la sablière à ce moment.8

Figure 2.4: Topographie du site tirée du lidar du 16 octobre 2018 (Source : MRC des Collines-de-l'Outaouais). Le chemin d'accès au sud de la sablière est indiqué par un trait tireté noir.9

Figure 3.1: Vue des parois d'exploitation montant des lits de sédiments sableux, recoupés par des strates lenticulaires de sédiments graveleux contenant des cailloux. Source : MSP, 1^{er} novembre 2018.11

Figure 4.1 : Photo prise par drone montrant le petit canyon et la forme de fer à cheval, identifiée par la ligne en tireté rouge, correspond à la zone d'exploitation. Source : M. []12

Figure 4.2 : Vue d'une paroi inclinée à près de 65°, mesurée avec un clinomètre de poche. Le cercle noir représente la zone humide observée par la DGG le 2 novembre. 13

Figure 4.3 : Vue rapprochée de la partie supérieure de la face d'exploitation où s'est produit l'accident de travail.13

Figure 4.4 : Vue par drone du chemin d'accès et du fossé qui se termine dans la zone décapée (Source : []14

Figure 4.5: Vue du site le 1^{er} novembre 2018. Le cercle rouge indique la zone d'humidité au sommet de la pelle hydraulique ensevelie. Les flèches noires montrent des zones



MT.03.82085.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Pêche

humides le long du chemin vers l'endroit où les sols de surface ont été décapés.
Source : MSP14

Figure 5.1 : Image lidar du 16 octobre 2018 (source : Mosaic 3D). Les flèches noires indiquent des parois très inclinées. La flèche verte montre une dépression au pied d'une paroi.17

Figure 5.2 : Localisation des coupes sur le modèle ombragé du lidar d'octobre 2018. Les points du relevé de la topographie du 5 novembre 2018 sont aussi présentés. La position du chemin d'accès est aussi illustrée.18

Figure 5.3 : Illustration de la topographie du site de l'événement selon la coupe n° 9 montrée à la Figure 5.2.19

Figure 5.4 : Illustration de la topographie du site de l'événement selon la coupe n° 10 montrée à la Figure 5.2.20

Figure 5.5 : Modèle de terrain réalisé avec les points d'arpentage du 5 novembre 2018.21

Figure 5.6 : Vue des plusieurs coupes réalisées le long des parois de la sablière. Les coupes 4 à 7 ont été utilisées pour le calcul du volume.21

Figure 5.7 : Coupe 5 de la Figure 5.6 qui montre la zone en bleu clair utilisée pour le calcul du volume22

Figure 5.8 : Différentes élévations obtenues du levé topographique par arpentage du 5 novembre 2018.23

Figure 6.1 : Photo illustrant diverses conditions de stabilité des faces d'exploitation de la sablière. Les talus d'ébouïs situés sous la ligne blanche reposent pour la plupart selon l'angle au repos du sable. Les pentes plus raides au-dessus bénéficient d'un effet de succion capillaire.26



MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor [redacted] route 105, La Pêche

1. INTRODUCTION

Un glissement de terrain est survenu dans l'avant-midi du 1^{er} novembre 2018 à la sablière O'Connor, située au [redacted] route 105 à La Pêche dans l'Outaouais (Figure 1.1). Le travailleur opérait une pelle hydraulique au pied d'une face d'exploitation lorsque l'éboulement s'est produit subitement. La pelle et l'opérateur ont été ensevelis presque au complet par une importante masse de sols provenant de la partie supérieure de la paroi d'exploitation (Figure 1.2). L'opérateur a perdu la vie à la suite de l'événement.

Dans le courant de la même journée, l'assistance des spécialistes en glissement de terrain du ministère des Transports (MTQ) a été demandée par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (CNESST), par l'entremise du bureau régional du ministère de la Sécurité publique (MSP). Deux ingénieurs de la Direction de la géotechnique et de la géologie (DGG) du MTQ se sont donc rendus sur les lieux de l'événement le lendemain même, où une inspection sommaire du site a pu être réalisée. Le but de cette visite était de soutenir la CNESST dans la démarche visant à assurer la sécurité des travailleurs pour la récupération de la dépouille de l'opérateur de pelle et de son engin.

Le 11 janvier 2019, la CNESST a demandé une nouvelle fois la collaboration des spécialistes du MTQ pour essayer d'identifier les causes de l'événement et pour évaluer les conditions de stabilité qui prévalaient au moment de l'exploitation, en utilisant les informations déjà disponibles. Ainsi, aucune autre visite ou investigation de terrain n'a été réalisée dans le cadre de la préparation du présent rapport, outre la recherche d'informations supplémentaires déjà existantes.

Un conseiller en sécurité civile de la Direction régionale de la sécurité civile de l'Outaouais du MSP, M. Éric Leduc, s'est rendu sur les lieux le jour même du drame et a pris quelques photos du site. Au moment de sa visite, [redacted] M.

[redacted]
C

Les outils disponibles pour réaliser la présente étude proviennent de données internes ou ont été obtenus de la part de la CNESST et du MSP. Les informations utilisées et leurs provenances sont les suivantes :

- Données disponibles à l'interno du MTQ :
 - Certaines photographies aériennes datant entre 1964 et 2004;
 - Des relevés topographiques par levé lidar datant de 2009;
 - Photos de terrain prises lors de la visite du 2 novembre 2018;
 - Des données sur la cartographie des dépôts de surface;
- Données fournies par la CNESST
 - Les photographies prises par drone le 1^{er} novembre 2018, M. [redacted] C
 - Les photographies de terrain du 1^{er}, 2, 5 et 8 novembre 2018;
 - Une vidéo du site en date du 8 novembre 2018;
 - Des relevés topographiques par arpentage datant du 5 novembre 2018;

MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, route 105, La Pêche

- Données fournies par la MRC, via la CNESST :
 - Topographie du site par lidar entre 2010 et 2018, excluant 2017 (données produites par la compagnie Mosaic 3D);
 - Les données du levé lidar du 16 octobre 2018 (soit deux semaines avant l'accident);
- Le rapport de visite de la Sécurité civile du Québec;
- Données ouvertes sur l'Internet :
 - Des images satellitaires de 2016, 2017 et 2018, provenant du site Planet.com;
 - Des images de Google Earth Pro © de 2009, 2013 et 2015.

Le présent avis géotechnique présente une description générale du site de la sablière et du contexte géologique, les principales observations recueillies lors la visite de terrain du 2 novembre 2018 effectuée par les ingénieurs du MTQ, l'analyse et l'interprétation des informations et des données topographiques disponibles, l'évaluation des conditions de stabilité du site et une conclusion concernant les causes du glissement.

MT.03.B2035.18.01 – Sabléais O'Connor route 105, La Pêche



Figure 1.1 : Localisation du site.

MT 03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, route 105, La Pêche



Figure 1.2: Vue d'ensemble du site de l'accident de travail. Le cercle rouge localise la pelle mécanique ensevelie au pied d'une paroi d'exploitation. Source : photo MTQ, 2 novembre 2018.

2. DESCRIPTION GÉNÉRALE ET HISTORIQUE DU SITE

Le site à l'étude est localisé dans la vallée de la rivière Gatineau, qui est bordée de part et d'autre par de petites collines rocheuses. La vallée est comblée de très fortes épaisseurs de sédiments d'origine glaciaire et marine. La sablière O'Connor est située à proximité de la rivière Gatineau, juste un peu à l'ouest de la route 105. Cette dernière est située sur un plateau situé à l'élévation d'environ 106 m (Figure 2.1). La sablière exploite les flancs d'un versant de la vallée, formé de différents gradins qui se superposent jusqu'à une élévation de 172 m. Le sommet de l'exploitation atteint actuellement l'élévation d'environ 140 m, alors que sa partie inférieure se trouve à peu près au même niveau que la route 105, autour de l'élévation 106 m. Afin d'avoir un aperçu de l'histoire de l'exploitation de la sablière O'Connor, les photographies aériennes de 1964, 1984, 1995 et 2004 ont été examinées (Tableau 2.1). La Figure 2.2 est un montage d'une portion de ces photos illustrant l'évolution du site. Les photos de 1964 montrent le terrain avant le début de l'exploitation. Plusieurs bâtiments sont installés près de la route et des traces d'exploitation sont visibles. Sur les photos de 1984, des bâtiments sont présents au pied du versant, en bordure de la route 105, et déjà à ce moment, une petite partie du flanc du versant est en exploitation. En 1995, la zone d'exploitation, qui englobe tout le talus du premier gradin jusqu'à l'élévation 106 m, couvre une largeur de 150 m et en 2004, elle atteint une largeur d'environ 170 m.

Sur les photographies aériennes de 2009, disponibles avec Google Earth Pro © (Figure 2.3), et selon nos données lidar du secteur datant de la même année (Figure 2.1), la zone d'exploitation atteint une distance d'environ 80 m sur le sommet du premier gradin (vers l'ouest). Elle est formée de deux lobes et sa largeur totale est d'environ 200 m, soit une trentaine de mètres de plus qu'en 2004. Entre 2009 et 2015, la zone d'exploitation s'est peu agrandie. Toutefois, un chemin donnant accès au sommet de la sablière vers le sud-

MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor,  route 105, La Pêche

ouest est visible sur l'image de 2013 et il est plus apparent en 2015. D'ailleurs, des buttons sont en exploitation à ce moment.

Diverses images satellites du site ont été obtenues à partir du site internet Planet.com pour les mois de mai, août et octobre 2016, les mois d'avril, de juin, d'août et de novembre 2017, ainsi que pour les mois d'août à novembre 2018. En 2016, la zone d'exploitation semble avoir la même dimension qu'en 2015. Au mois d'avril 2017, l'image satellite montre que la zone d'exploitation a pris de l'expansion et en novembre 2017, elle avait presque doublé de superficie par rapport aux images de 2015. La dimension de la sablière sur les différentes images prises durant l'année 2018 montre que ses limites sont demeurées les mêmes, mais qu'elle s'est agrandie en profondeur (verticalement). De façon générale, en comparant les images de 2015 et de 2018, la sablière a agrandi son exploitation vers le sud. La Figure 2.4, tirée du levé lidar d'octobre 2018, donne un aperçu de l'état de l'exploitation au moment du glissement.



MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Roche

Tableau 2.1: Liste des photographies aériennes consultées.

Ligne de vol	Numéros de photo	Année	Échelle
Q65123	146-148	1965	1 :15 840
MTQ84076	132-133	1984	1 :8 000
HMQ95133	91-92	1995	1 :15 000
Q04504	56-57	2004	1 :15 000



Figure 2.1: Topographie du site tirée du lidar de 2009 (MTQ). La ligne rouge donne les limites approximatives de la sablière à ce moment. Les courbes de niveau sont aux 2 mètres.

MT.03.82085.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Pêche



Figure 2.2: Montage de photographies aériennes de la sablière entre 1964 et 2004. Les lignes rouges indiquent les limites approximatives de la sablière à chaque époque.

MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Pêche



Figure 2.3: Vue de la sablière en 2009. Source : Google Earth Pro ©. La ligne rouge indique les limites approximatives de la sablière à ce moment.

MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Pêche



Figure 2.4: Topographie du site tirée du lidar du 16 octobre 2018 (Source : MRC des Collines-de-l'Outaouais). Le chemin d'accès au sud de la sablière est indiqué par un trait tireté noir.

MT 03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, route 105, La Pêche

3. CONTEXTE GÉOLOGIQUE

Les dépôts de sol d'une partie de la vallée de la rivière Gatineau ont été cartographiés dans le cadre d'un projet réalisé en partenariat entre le ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles du Québec et l'Université de Québec à Montréal (UQAM). Les résultats sont présentés dans un rapport qui expose les différentes unités lithologiques et l'histoire de leur déposition¹. Ce rapport fait mention de la complexité de la superposition des dépôts due aux différentes phases survenues durant la période de déglaciation. Les auteurs de ce rapport ont décrit plusieurs coupes stratigraphiques sur le territoire, dont une qui a été réalisée à la sablière, en date du 4 août 2011. À ce moment, la superficie de la sablière représentait la moitié de celle lors du sinistre. La stratigraphie générale qui y avait été observée consistait, du haut vers le bas, en une première couche de sédiments juxtaglaciaires constitués principalement de cailloux, laquelle reposait sur une unité de sédiments deltaïques et prodeltaïques composés de sable moyen à grossier. La dernière couche la plus profonde était formée de sédiments d'eau profonde composé de sable fin et d'argile.

Dans les faces d'exploitation de la sablière, aux alentours du site de l'accident de travail, les matériaux sont majoritairement sableux et font probablement partie de l'unité d'origine deltaïque décrite par les auteurs cités précédemment. Ils pourraient aussi correspondre à des sédiments d'épandage pro-glaciaire subaquatique. Ils se présentent sous la forme de grandes strates de sable légèrement inclinées, contenant des horizons lenticulaires et discontinus de matériaux plus graveleux et un peu caillouteux (Figure 3.1). Les couches de sol peuvent présenter sur de courtes distances des variations latérales, dans leur composition granulométrique et leur épaisseur.

Dans la partie nord dans la sablière, des dépôts plus silteux et argileux ont aussi été observés.

¹ Daigneault, Roy, Lamothe, Godbout, Millette, Leduc, Horth, Dubois-Vernst, Hurtubise et Lamarche (2012) Rapport sur les travaux de cartographie des formations superficielles réalisés dans la portion est du territoire municipalisé de l'Outaouais en 2011-2012. UQAM, Énergie et Ressources naturelles MB 2015-02.

MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Pêche



Figure 3.1: Vue des parois d'exploitation montrant des lits de sédiments sableux, recoupés par des strates lenticulaires de sédiments graveleux contenant des cailloux. Source : MSP, 1^{er} novembre 2018.

4. OBSERVATIONS DE TERRAIN

Lors de la visite des deux ingénieurs du MTQ le 2 novembre 2018, quelques photographies de terrain ont été prises, ainsi que quelques mesures à l'aide d'un télémètre et d'un clinomètre de poche.

Lors de cette visite du site, la zone d'exploitation de la sablière dans sa partie sud-ouest ressemblait à un petit canyon en forme de fer à cheval (Figure 4.1), avec un plancher d'exploitation relativement étroit, bordé de parois très raides et très hautes (environ 23 m selon les données lidar du 16 octobre 2018). Une des parois, située près de l'entrée de ce qui formait le canyon, était inclinée à 65°. Cette paroi est identifiée sur la Figure 4.2 par une flèche. Au pied de ces parois se trouvaient des accumulations de sable formant des talus d'éboulis dont l'inclinaison, mesurée sur place avec un clinomètre de poche, se situait autour de 33°. À noter que cette dernière inclinaison est typique de celle des sables « au repos », tel que discuté au point 6 du présent rapport.

Directement au niveau de la face d'exploitation où s'est produite la tragédie, la partie supérieure du talus, d'où provenaient les matériaux ayant enseveli l'engin, était

MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Pêche

constituée presque exclusivement de sédiments sableux, avec quelques petites poches très localisées de gravier (Figure 4.3). Les strates sableuses présentaient des inclinaisons variables, en raison de leur entrecroisement, mais l'inclinaison (pendage) de certaines d'entre elles était localement orientée en direction de la face d'exploitation.

Enfin, une zone humide dans la paroi située juste au-dessus de l'engin enseveli a été observée le 2 novembre, à l'endroit où la face d'exploitation avait subi un glissement la veille (le cercle noir sur la Figure 4.2). En comparant les données topographiques et les images aériennes entre le levé du 16 octobre 2018 et le moment du drame, il est possible d'observer qu'une couche qui atteint un peu plus d'un mètre d'épaisseur a été retirée au sommet de la zone d'exploitation. La visite de la DGG le 2 novembre 2018 a permis de constater que la zone décapée atteint le chemin d'accès situé au sud et le fossé qui le longe (Figure 2.4 et Figure 4.4). D'ailleurs, beaucoup d'eau s'écoulait du fossé vers la zone décapée. De l'eau ruisselait sur le chemin et s'écoulait aussi vers la zone décapée (Figure 4.2). De plus, des marques d'humidité étaient visibles directement au sommet où l'éboulis s'est produit sur les photos de drone prises le jour de l'événement (Figure 4.5) et le lendemain, elles couvraient une partie de la paroi (Figure 4.2).

Sur la Figure 4.5 est délimitée la masse qui a glissé et qui a enseveli la pelle. La Figure 4.5 montre également une autre masse de sols qui a glissé par la suite et située plus à l'est.



Figure 4.1 : Photo prise par drone montrant le petit canyon et la forme de fer à cheval identifiée par la ligne en tiretée rouge, correspond à la zone d'exploitation. Source : M.

C

MT.03.82095.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Pêche



Figure 4.2 : Vue d'une paroi inclinée à près de 65°, mesurée avec un clinomètre de poche. Le cercle noir représente la zone humide observée par la DGG le 2 novembre.



Figure 4.3 : Vue rapprochée de la partie supérieure de la face d'exploitation où s'est produit l'accident de travail.

MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Pêche



Figure 4.4 : Vue par drone du chemin d'accès et du fossé qui se termine dans la zone décapée (Source []).



Figure 4.5: Vue du site le 1^{er} novembre 2018. Le cercle rouge indique la zone d'humidité au sommet de la pelle hydraulique ensevelie. Les flèches noires montrent des zones humides le long du chemin vers l'endroit où les sols de surface ont été décapés. Source : MSP.

5. ANALYSE DES DONNÉES TOPOGRAPHIQUES ET MÉTÉOROLOGIQUES

Les données de lidar de septembre 2016 et d'octobre 2018 provenant de la MRC confirment l'agrandissement significatif de la sablière lors de cette période (Figure 5.1).

Les images du 16 octobre 2018, prises deux semaines avant le glissement, montrent que la zone où la tragédie est survenue était en exploitation active. La couche de sol de surface, incluant le mort terrain, a été enlevée au sommet de la zone en exploitation. Le modèle de terrain réalisé à partir du lidar d'octobre 2018 indique la présence de parois présentant des inclinaisons extrêmement raides et d'une zone en dépression, plus profonde que le plancher d'exploitation environnant et située au pied du talus (Figure 5.2).

Les données lidar permettent de mesurer la hauteur des parois d'exploitation en date du 16 octobre 2018, laquelle se situe entre 12 et 24 m au pourtour du site du sinistre. Les Figure 5.3 et 5.4 illustrent deux sections topographiques à deux dates différentes. Celles datant du 16 octobre 2018 ont été réalisées à partir des données lidar de la même date, alors que celles du 5 novembre ont été obtenues par arpentage. Les deux sections (numéros 9 et 10) sont localisées sur la Figure 5.2. Elles permettent notamment d'avoir un aperçu des conditions d'exploitation qui prévalaient dans le secteur où est survenu l'accident de travail dans les jours précédents l'événement.

Les parois au niveau de cette zone avaient des inclinaisons extrêmement abruptes en date du 16 octobre 2018. Celle sur la section n° 9, montrée à la Figure 5.3, est inclinée à 72° sur une hauteur de 18,7 m. Le pied de cette paroi se termine par une pente encore raide, inclinée à 45°, sur une hauteur de 4,1 m, donnant une hauteur totale d'exploitation de 22,8 m à cet endroit.

La section n° 10 (Figure 5.4) monte une hauteur de talus de 22,6 m inclinée environ à 67° en date du 16 octobre 2018. La dépression au pied du talus sur l'image lidar est visible sur ces coupes. Cette cuvette est plus profonde de 5 m que le plancher d'exploitation environnant (Figure 5.4).

Les données provenant de l'arpentage du 5 novembre 2018, soit 4 jours après l'événement, permettent de constater que la hauteur des parois d'exploitation augmente de l'est vers l'ouest en passant de 21 à 44 m au pourtour de la zone où la pelle hydraulique travaillait (Figure 5.5). Selon ces données, les pentes au-dessus de la pelle hydraulique étaient encore très raides, avec des inclinaisons se situant entre 51° et 60°. Par ailleurs, l'inclinaison des talus d'éboulis au pied des pentes, le long du petit canyon dans la sablière, se situait entre 25 et 33°, ce qui est généralement considéré comme des valeurs d'« angles au repos » pour des sols sableux. Au niveau de la pelle hydraulique, les sols déboisés se sont accumulés sur une épaisseur équivalente à près de la moitié de la hauteur du talus, selon des inclinaisons de 19 et 25° (Figure 5.3 et Figure 5.4).

MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor,  route 105, La Pêche

En comparant les données d'arpentage en date du 5 novembre 2018 avec celles du levé lidar du 16 octobre 2018, un volume de sols glissés a pu être calculé avec quatre (4) coupes situées dans la zone qui a enseveli la pelle. Les coupes utilisées sont numérotées de 4 à 7 sur la Figure 5.6. L'aire de la masse mobilisée le long de ces coupes a été multipliée par la longueur de la zone pour obtenir un volume d'environ 422 m³ (Figure 5.7). Ce volume n'inclut pas la masse glissée à l'est de la zone qui a enseveli la pelle (Figure 4.5).

Selon l'analyse des photos et des données de la topographie, la pelle hydraulique se trouvait, au moment du drame, sur une petite butte au pied de la paroi d'exploitation. Selon toute vraisemblance, cette butte était une accumulation de sable provenant d'un éboulement antérieur de la partie supérieure de la face d'exploitation. L'élévation exacte des chenilles de l'engin n'est pas connue, mais celle de la partie arrière de la pelle hydraulique a été relevée par arpentage à 115,6 m le 5 novembre 2018 (Figure 5.8). La partie la plus haute visible du bras hydraulique de la pelle était environ à l'élévation 121 m. La partie supérieure de la paroi d'exploitation se situant à une élévation d'au moins 132 m, la différence entre la partie arrière de la pelle et le sommet de la face d'exploitation a été évaluée à 16,4 m de hauteur.

Par ailleurs, des données de précipitation de pluies ont été obtenues de la station «Parc de la Gatineau - La Pêche» provenant du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELOCC). Du 16 au 26 octobre, les quantités de pluie reçue sont presque négligeables (Annexe 1). Toutefois, il y a eu des précipitations à chacun des 5 jours précédant l'événement (du 27 au 31 octobre) pour un total de 21,4 mm, dont 9,8 mm le 31 octobre. Se sont ajoutés le 1^{er} novembre, date de l'accident, 14,6 mm supplémentaires.

Tel que précédemment mentionné à la section 4, l'observation de petites rigoles laissées par le ruissellement des eaux de surfaces montre que des quantités d'eau ont néanmoins transité du chemin d'accès et du fossé en sommet de talus vers la paroi d'exploitation, probablement lors des 5 jours précédents où il y a eu des précipitations.

MT.03.82695.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Roche

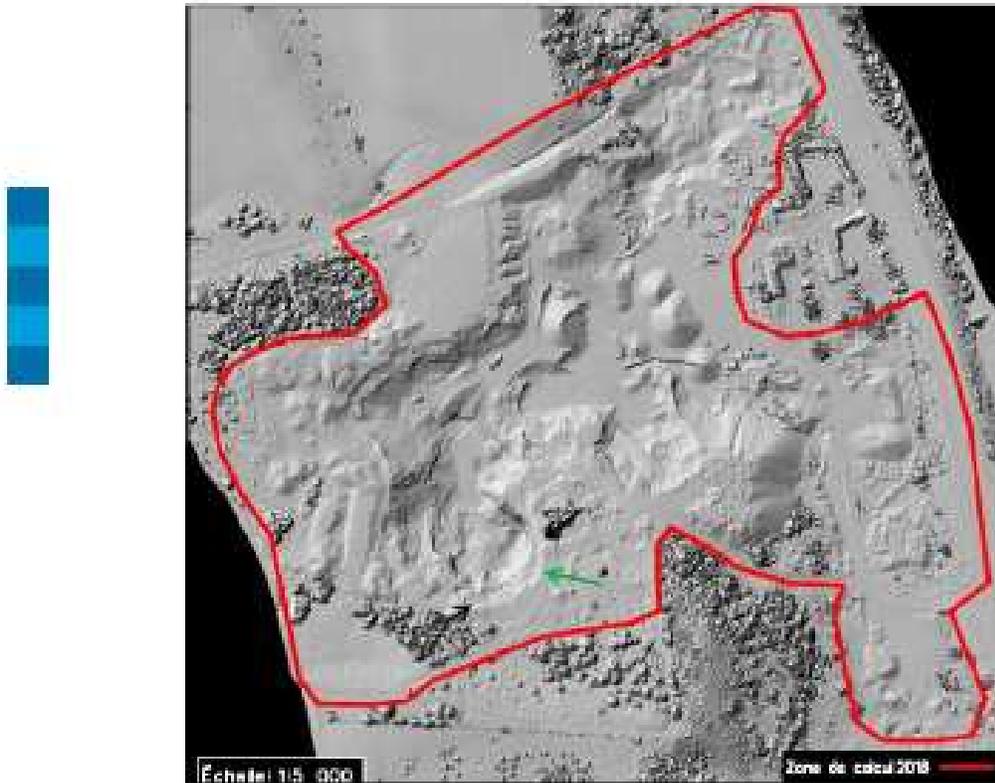


Figure 5.1 : Image lidar du 16 octobre 2018 (source : Mosaic 3D). Les flèches noires indiquent des parois très inclinées. La flèche verte montre une dépression au pied d'une paroi.

MT.03.82085.18.01 – Sablière O'Connor, route 105, La Pêche

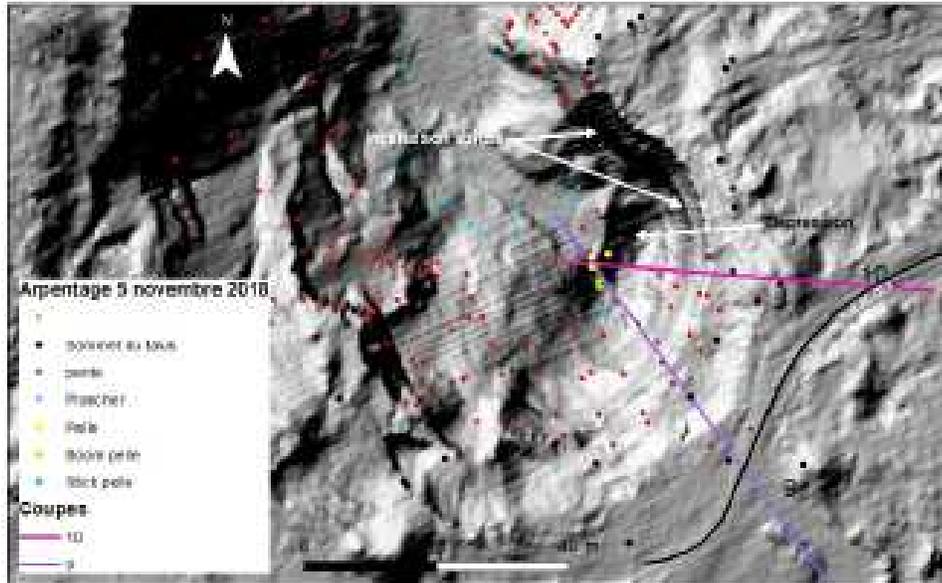


Figure 5.2 : Localisation des coupes sur le modèle ombragé du lidar d'octobre 2018. Les points du relevé de la topographie du 5 novembre 2018 sont aussi présentés. La position du chemin d'accès est aussi illustrée.

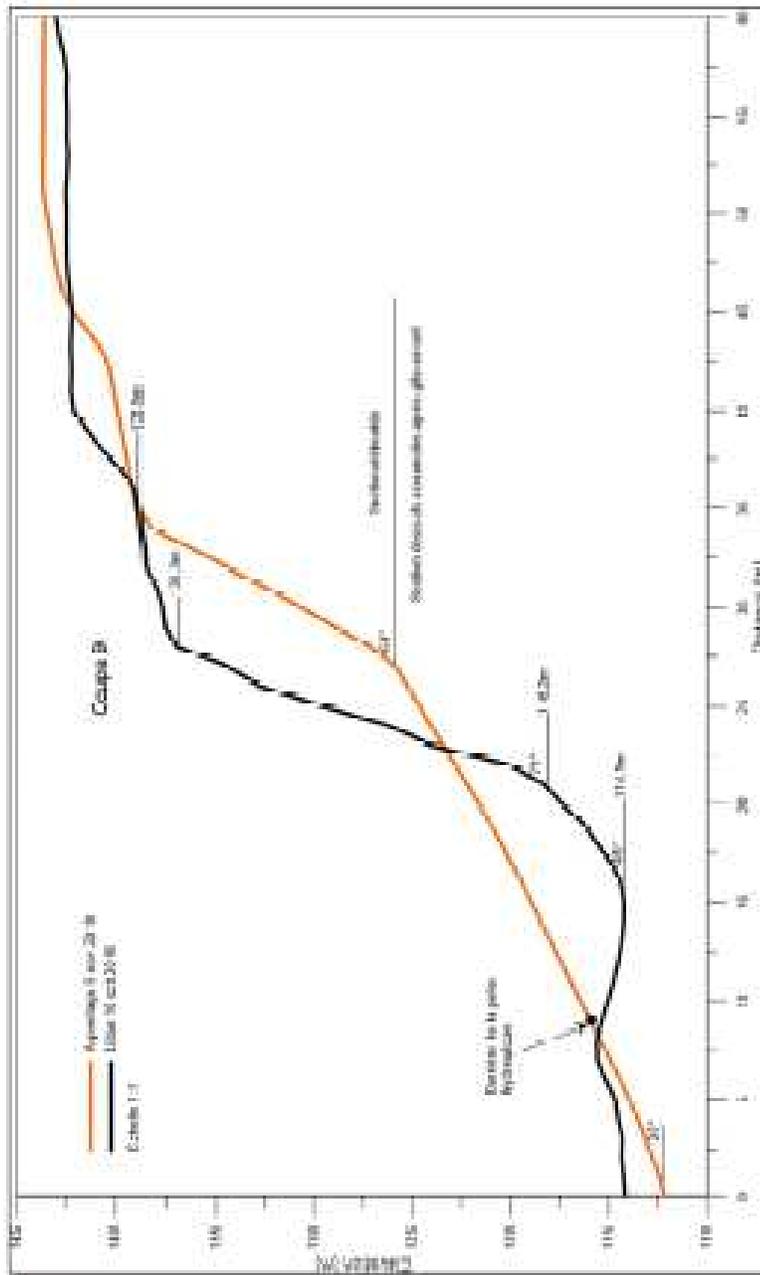


Figure 5.3 : Illustration de la topographie du site de l'événement selon la coupe n° 9 montrée à la Figure 5.2.

MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, route 105, La Pêche

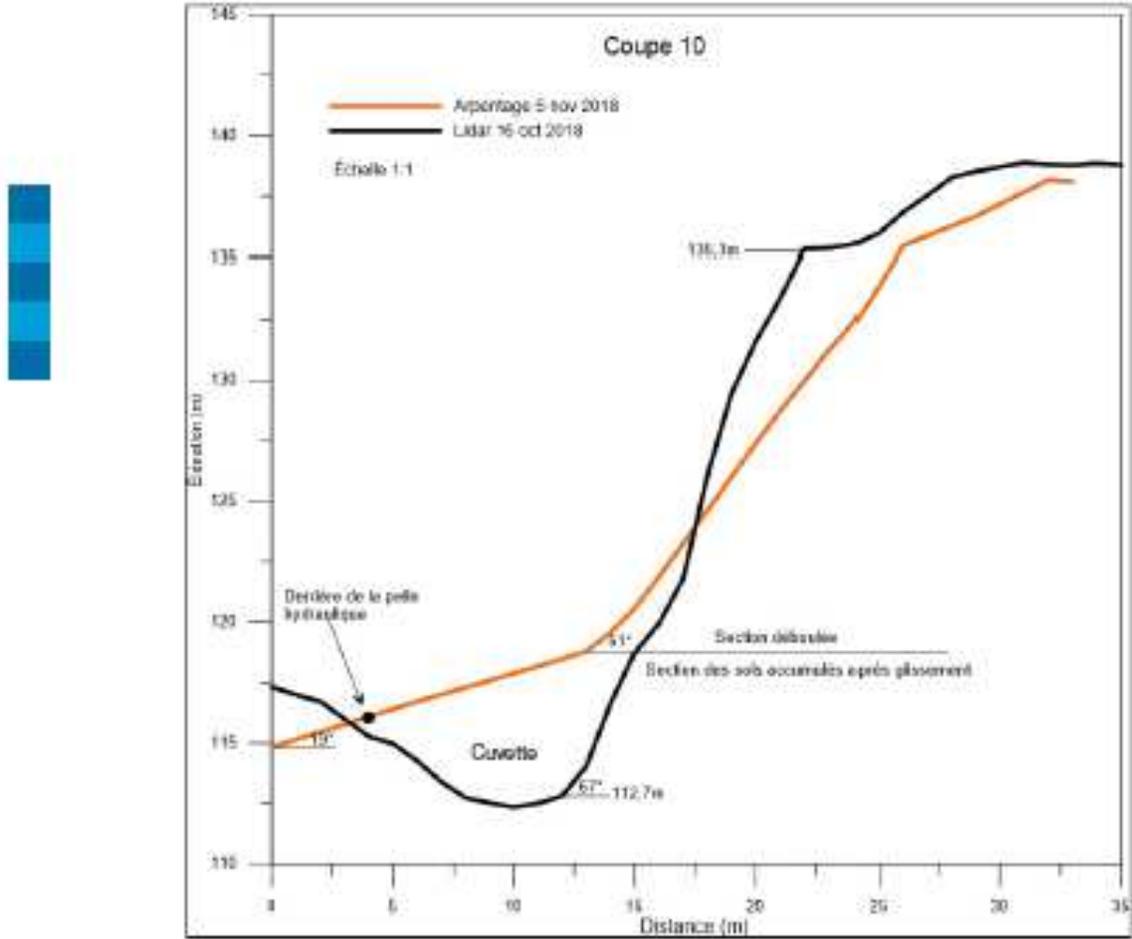


Figure 5.4 : Illustration de la topographie du site de l'événement selon la coupe n° 10 montrée à la Figure 5.2

MT.03.82085.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Pêche

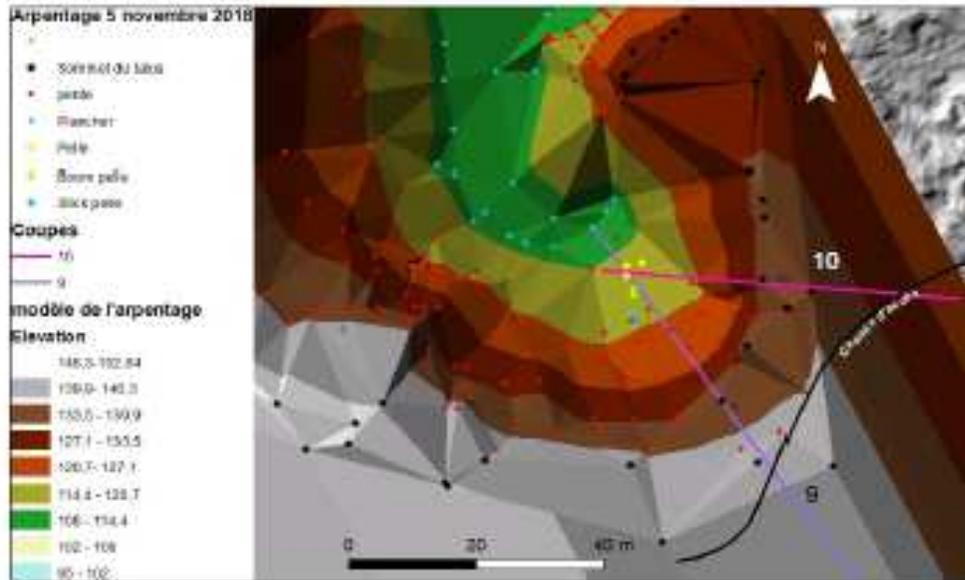


Figure 5.5 : Modèle de terrain réalisé avec les points d'arpentage du 5 novembre 2018.

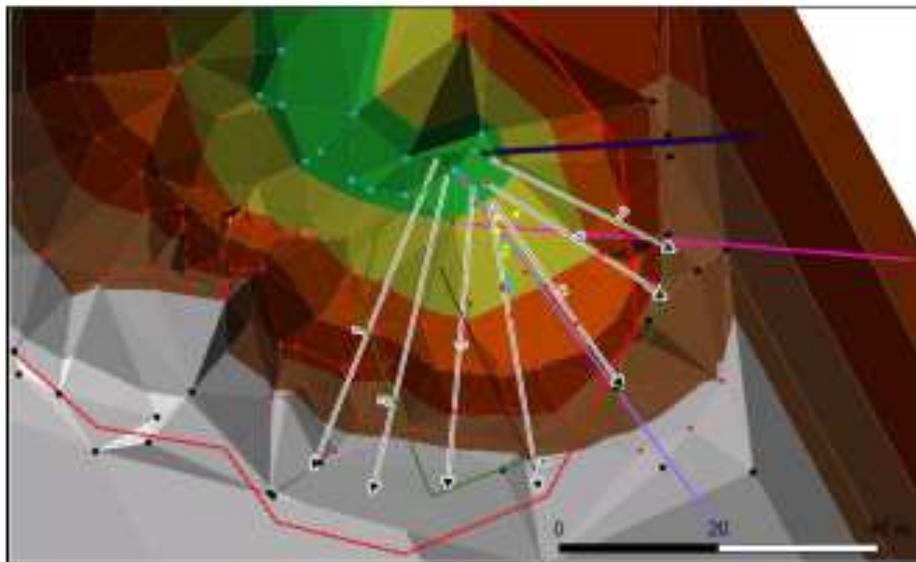


Figure 5.6 : Vue des plusieurs coupes réalisées le long des parois de la sablière. Les coupes 4 à 7 ont été utilisées pour le calcul du volume.

MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor [] route 105, La Pêche

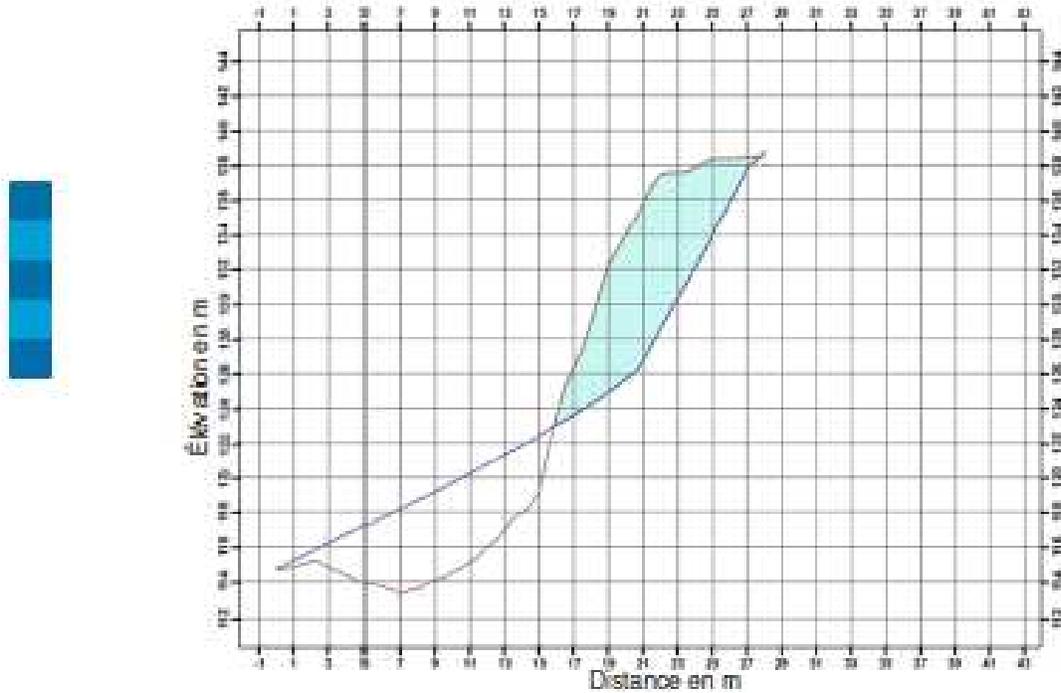


Figure 5.7 : Coupe 5 de la Figure 5.6 qui montre la zone en bleu clair utilisée pour le calcul du volume.

MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor, [] route 105, La Pêche



Figure 5.8: Différentes élévations obtenues du levé topographique par arpentage du 5 novembre 2018.

6. ÉVALUATION DES CONDITIONS DE STABILITÉ

La présente section a pour but d'évaluer sommairement les conditions de stabilité des parois d'exploitation de la sablière. À cette fin, quelques notions fondamentales du comportement en résistance des sables et graviers sont expliquées, afin de comprendre ce qui permet aux pentes dans ce type de sol d'être dans un état stable ou non.

Premièrement, il faut savoir que les sols sableux et graveleux ne présentent pas de cohésion entre les grains qui les constituent, contrairement à des sols argileux par exemple. Leur résistance dépend alors essentiellement du frottement entre chaque particule. Ainsi, pour que des grains de sable constituant une pente puissent glisser vers le bas, ils doivent vaincre uniquement la force de friction avec les grains sous-jacents qui les supportent. L'ampleur des forces de frottement entre les grains varie selon différents facteurs, dont notamment, la forme, la grosseur et l'angulosité des particules ainsi que la

MT.03.02035.18.01 – Sablière O'Connor, [redacted] route 105, La Pêche

densité du sol². En conséquence, une pente constituée de très petits grains arrondis de sable lâche commencera à montrer des signes d'instabilité selon une pente beaucoup plus faible que si elle est composée de sables et graviers anguleux et denses.

Deuxièmement, la présence d'eau dans un sol granulaire a une influence majeure sur la stabilité des pentes. Trois situations peuvent alors se rencontrer sur le terrain. Dans le premier cas, il y a absence d'eau et le sol est sec. Dans cette situation, seules les forces de friction entre les particules interviennent, tel que mentionné au paragraphe précédent. Dans ces cas, le sol aura tendance à se stabiliser à une pente correspondant à ce qu'on appelle son « angle de repos », qui dépend des paramètres précédemment expliqués. De façon générale, cet angle varie entre 28 et 34 degrés pour les sols sableux quand ils sont dans un état lâche³. Toutefois, si on procédait à une excavation dans un dépôt de sable sec très dense, les talus pourraient demeurer stables à des pentes un peu plus raides.

C'est cet « angle de repos » qui contrôle généralement les talus formés des sables éboulés au pied des parois d'exploitation, comme on peut le voir sur la Figure 6.1. Ces talus sont alors considérés comme très stables tant que leur inclinaison n'est pas raide.

Dans le deuxième cas, celui où les sols sableux sont complètement saturés d'eau, leur résistance diminue alors presque de moitié et l'inclinaison à laquelle les talus sont stables est considérablement réduite (de l'ordre de 20 degrés et moins). Par exemple, si l'on fait une excavation sous le niveau de la nappe d'eau souterraine, les parois sableuses vont s'effondrer à partir d'angles beaucoup plus faibles que celles de l'angle de repos d'un sable sec. Toutefois, les conditions de sols complètement saturés ne se présentent presque jamais dans une sablière en exploitation pour des raisons pratiques.

La dernière situation qu'on peut rencontrer dans un dépôt de sable est celle de conditions « partiellement » saturées. Dans ces cas où l'eau, les grains de sable et l'air sont tous en contact, il se produit alors un phénomène de « tension capillaire » qui engendre par succion une forme de cohésion apparente entre les particules de sol.⁴ Ces sols présentent ainsi une résistance beaucoup plus élevée qui permet alors aux parois de supporter des pentes beaucoup plus inclinées sans s'effondrer. C'est cet effet de succion capillaire qui permet aux pentes très raides que l'on voit au-dessus des talus d'éboulis de la Figure 6.1 de demeurer stable pour un certain temps. Il explique également l'existence de pentes très hautes et très raides dans les parois d'exploitation de la sablière, comme celles du 16 octobre 2018 sur les Figure 5.3 et Figure 5.4, où les activités d'exploitation étaient régulières.

À titre d'exemple, c'est aussi ce phénomène de tension capillaire qui permet aux sculpteurs sur sable de donner toutes sortes de formes à leurs œuvres, sans que celles-ci ne s'effondrent.

² De Blasio, F.V. 2011. Introduction to the physics of landslides, lecture notes on the dynamics of mass wasting. Springer, 408 p.

³ Chandler, R.J. 1973. The inclination of talus, Arête talus terraces, and other slope composed of granular materials. Journal of geology, 81 (1), pp.1-14

⁴ CSST. 2013. Aide-mémoire pour l'employeur : Pour mieux exécuter les travaux de creusement, d'excavation et de tranchée. Bibliothèque et Archives nationales du Québec.

⁵ Holtz R.D. et Kovacs W.D., 1991. Introduction à la géotechnique. Traduit par J. Lafleur, Éditions de l'École Polytechnique de Montréal.

MT.03.82085.18.01 – Sablière O'Connor,  route 105, La Pêche

Cependant, ce phénomène de succion capillaire s'estompe avec le temps, lorsque la paroi est exposée à l'air libre et qu'elle s'assèche progressivement. Des tranches de sol s'écroulent alors subitement et vont s'accumuler aux pieds des pentes, en formant des talus dont l'inclinaison respectera alors l'angle de repos naturel du sable.

Toutefois, même lorsque la succion capillaire est active dans une paroi d'exploitation, il peut arriver que celle-ci s'effondre si on la raidit trop en excavant sa base. Il y a donc une limite d'inclinaison qu'il ne faut pas dépasser lorsqu'on excave au pied d'une pente de sable partiellement saturée, car on peut engendrer alors des contraintes dans le sol qui vont dépasser cette « cohésion apparente » et qui vont provoquer des éboulements qui surviennent très rapidement.

De plus, cette cohésion apparente, résultant de la succion capillaire, peut diminuer, ou même complètement se perdre, si le sol commence à trop s'humidifier. Holz et Kovacs (1991)⁸ mentionnent que des affaissements se sont produits subitement dans des parois d'excavation, dans des sols partiellement saturés, en raison d'une période présentant un plus haut taux d'humidité élevé ou de la pluie. Comme mentionné à la section 4, les pluies des jours précédents l'événement ont pu contribuer à augmenter le taux d'humidité de l'air. De même, les venues d'eau provenant du sommet de la face d'exploitation ont engendré une zone humide au niveau de la paroi qui s'est effondrée, telle que montrée à la figure 4.2. Il est donc possible que cette humidité ait contribué à diminuer la cohésion apparente prévalant dans les parois d'exploitation.

Ces concepts de base du comportement des sols sableux et l'analyse des documents à notre disposition ont permis de mieux comprendre l'approche utilisée pour l'exploitation de la sablière O'Connor (et possiblement pour plusieurs des exploitations comparables). Il semblerait donc que la méthode de travail consiste à excaver les matériaux sableux au pied des talus en s'approchant au maximum de l'angle limite de stabilité de la pente de sable partiellement saturée. On laisse ensuite la pente s'ébouler au gré de la perte de cohésion apparente du sable constituant la paroi (par assèchement ou par réhumidification), et on peut alors reprendre l'exploitation du talus d'éboulement par la suite.

Cette approche présente évidemment deux inconvénients majeurs pour la sécurité des travailleurs. D'une part, il n'est pratiquement pas possible de déterminer d'avance l'angle maximum à ne pas dépasser pour ne pas engendrer des conditions subites d'instabilité dans une paroi de sable partiellement saturé présentant une cohésion apparente. Celle-ci dépend de facteurs qui peuvent évoluer continuellement, dont notamment la variabilité dans les propriétés des diverses couches de sol rencontrées (granulométrie, angulosité des grains, densité des sols, etc.), mais aussi des conditions variables de saturation des sols dans la paroi d'exploitation. Un exploitant pourrait estimer grossièrement ces conditions selon son expérience basée sur ses manœuvres antérieures dans la sablière, mais comme ces conditions peuvent être variables dans le temps et dans l'espace, au fur et à mesure de la progression de l'exploitation, cette approche n'offre aucune garantie suffisante de sécurité.

D'autre part, même lorsque l'opérateur d'une pelle hydraulique vient travailler dans un talus d'éboulement où la pente est près de l'angle de repos naturel, il ne peut opérer de façon

⁸ op. cit. Holz et Kovacs (1991).

sécuritaire seulement que pour une courte période de temps. En effet, plus il excave dans le talus d'éboulis, plus la stabilité de ces pentes devient précaire, et de nouveaux petits éboulis peuvent alors s'y former. De plus, bien que le talus d'éboulis ait une pente relativement stable, il reste la plupart du temps une portion supérieure de la paroi d'exploitation qui est encore très raide, car encore sous l'effet de la succion capillaire. Mais comme cet effet est « temporaire », cette portion de pente très raide peut s'effondrer à tout moment. C'est d'ailleurs ce dernier phénomène qui semble s'être produit lors de l'accident de travail du 1^{er} novembre 2018.



Figure 6.1: Photo illustrant diverses conditions de stabilité des faces d'exploitation de la sablière. Les talus d'éboulis situés sous la ligne blanche reposent pour la plupart selon l'angle au repos du sable. Les pentes plus raides au-dessus bénéficient d'un effet de succion capillaire.

7. CONCLUSION

L'analyse des conditions menant au glissement de terrain du 1^{er} novembre 2018, qui a enseveli une pelle hydraulique et son opérateur à la sablière O'Connor, a été réalisée avec les données disponibles mentionnées dans l'introduction. Aucune étude géotechnique détaillée et aucun calcul de stabilité n'ont été réalisés pour la préparation du présent rapport. Les conclusions présentées ci-dessous sont donc d'ordre qualitatif et ont seulement pour but de comprendre le phénomène à l'origine de l'accident de travail.

Les observations de terrain et les photos disponibles montrant les faces d'exploitation révèlent que ces dernières sont composées d'une superposition complexe de différentes

MT.03.02035.12.01 – Sablière O'Connor,  route 105, La Pêche

unités de sol, ce qui indique une variabilité naturelle des matériaux exploités dans la sablière. Ainsi, les sols granulaires (sable et gravier) sont distribués de façon non homogène dans la sablière et au pourtour, et l'inclinaison des strates peut être très variable. Par conséquent, les conditions de sol qui contrôlent la stabilité des pentes, comme la granulométrie et la compacité par exemple, peuvent différer grandement dans les différentes faces d'exploitation. Par conséquent, l'expérience de l'exploitant de la sablière ne peut donc pas être considérée comme étant suffisante pour juger des conditions de stabilité des parois.

Par ailleurs, selon les données et les informations obtenues, la méthode de travail que l'opérateur de pelle semblait utiliser consistait à excaver la partie inférieure de la face d'exploitation pour amener cette dernière au maximum de l'angle limite de stabilité de la pente et d'attendre ensuite qu'elle se rompe. Dans les faits, cette méthode d'opération utilise l'effet de la gravité afin d'avoir accès aux portions supérieures des parois d'exploitation, lesquelles sont inaccessibles à la pelle hydraulique située à la base en raison de leur hauteur.

Cette approche est très simple, mais très périlleuse, car elle repose sur le principe que des éboulis surviendront inévitablement dans les faces d'exploitation et entraîneront ainsi les matériaux du haut vers le pied des talus. Cette approche se résume donc à déstabiliser volontairement la pente pour exploiter par la suite les talus d'éboulis qui en résultent.

De plus, les sols pulvérulents dans les faces d'exploitation peuvent supporter temporairement des pentes très abruptes grâce au phénomène de succion capillaire, ce dernier créant un effet de cohésion apparente. Bien que cette succion joue un rôle très important sur la stabilité des faces d'exploitation, son effet est temporaire et peut être perturbé par des changements dans le degré de saturation des sols sous l'effet de périodes plus humides ou pluvieuses, ou de venues d'eau en direction de la pente, ou de l'assèchement des surfaces. Les pentes d'excavation soutenues par une simple cohésion apparente sont donc considérées comme hautement instables d'un point de vue géotechnique.

D'autre part, l'enlèvement des sols de surface jusqu'au fossé et au chemin d'accès situé au sud-est a pu changer les conditions d'eau au site, puisque le fossé, qui longeait le chemin, n'a pas été réaménagé pour éviter que l'eau de ruissellement se dirige vers la zone d'excavation. Les zones humides visibles au-dessus de la paroi le 1^{er} novembre (Figure 4.5), et qui recouvraient encore cette dernière le lendemain (Figure 4.2), indiquent effectivement une concentration de l'eau de surface et souterraine vers la face en exploitation, ce qui a pu contribuer à une perte de la cohésion apparente à cet endroit.

Mais quoi qu'il en soit des conditions de saturation de la paroi d'exploitation vis-à-vis l'éboulis mortel, les données lidar du 16 octobre 2018 démontrent clairement que la pelle hydraulique travaillait depuis au moins plusieurs jours directement au pied de parois très hautes et très raides, correspondant à des conditions de stabilité de pente très précaires. Une rupture de la paroi pouvait donc survenir à tout moment. De plus, la probabilité qu'une masse de sols pouvant glisser du haut de la paroi soit suffisamment volumineuse pour ensevelir la pelle hydraulique située à ses pieds était aussi très élevée considérant la très forte hauteur de la face d'exploitation.

MT.03.82035.18.01 – Sablière O'Connor [redacted] route 105, La Pêche

En conclusion, la méthode de travail utilisée constitue la source directe de l'accident et les conditions dans lesquelles le travailleur opérait, en étant situé au pied d'une pente très raide et très haute, rendaient le site extrêmement dangereux et la situation hautement périlleuse.



Julia Thérien, ing. – No. OIQ : 144292

Identité du signataire inconnue

MT.03.82095.18.01 – Sablière O'Connor, route 105, La Pêche

ANNEXE 1



MT.03.82085.18.01 – Sablière O'Connor, route 105, La Pêche

Station : Parc de la Gatineau - La Pêche
 No. station : 704465
 période : octobre 2018

Latitude : 45° 27' 20"
 Longitude : 76° 2' 2"
 altitude : 201 m

Date	Température			Précipitation			Bésoin en eau (mm)	Humidité relative (%)							
	Max	Min	Moy.	Moins	Plus	Total		00	01	02	03	04	05	06	
01	12.2	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
02	14.2	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
03	16.0	0.0	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
04	17.8	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
05	19.6	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
06	21.4	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
07	23.2	0.0	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
08	25.0	0.0	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
09	26.8	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
10	28.6	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
11	30.4	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
12	32.2	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
13	34.0	0.0	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
14	35.8	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
15	37.6	0.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
16	39.4	0.0	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
17	41.2	0.0	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
18	43.0	0.0	8.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
19	44.8	0.0	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
20	46.6	0.0	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
21	48.4	0.0	9.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
22	50.2	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
23	52.0	0.0	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
24	53.8	0.0	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
25	55.6	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
26	57.4	0.0	10.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
27	59.2	0.0	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
28	61.0	0.0	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
29	62.8	0.0	10.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
30	64.6	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Total	1000.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

La source d'information principale est le site Web de la station météorologique de la Gatineau (Station de L'Est) (1000-1000-1000)

* Informations de base : 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
 ** Informations de base : 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
 *** Informations de base : 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
 **** Informations de base : 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
 ***** Informations de base : 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00

Figure A1: Données météorologiques octobre 2018, station Parc de la Gatineau – La Pêche (Source MELCC).

ANNEXE D

Références bibliographiques

Bureau international du travail (BIT), *La sécurité et la santé dans les mines à ciel ouvert*. Recueil de directives pratiques du BIT, Genève, Bureau international du travail, 1991, 87 p.

Darling, Peter, *SME Mining engineering handbook*, 3rd ed, États-Unis, Society for mining, metallurgy and exploration Inc., 2011, 2 v., 1840 p.

Encyclopédie de la santé et de la sécurité au travail

Hartman, Howard L., et Jan M. Mutmansky. *Introductory mining engineering*, 2nd ed, États-Unis, John Wiley and Sons Inc., 2002, 570 p.

Institut national de recherche et de sécurité (INRS), *La sécurité dans les carrières : Livret à l'usage des salariés*, Éditions INRS ED 799, 2008, 48 p.

QUÉBEC. *Loi sur la santé et la sécurité du travail : RLRQ, chapitre S-2.1, à jour au 4 septembre 2018*, Québec, Éditeur officiel du Québec, 2018, vi, 65, xii p.

QUÉBEC. *Règlement sur la santé et la sécurité du travail dans les mines, RLRQ, chapitre S-2.1, r. 14, à jour au 1^{er} novembre 2018*, Québec, Éditeur officiel du Québec, 2018, vii, 90 p.

Stellman, J.M., *Encyclopédie de sécurité et de santé au travail*, 3^e éd. française, Genève, Bureau international du travail, 2000,

Tatiya, Ratan Raj. *Surface and underground excavations : Methods, techniques and equipment*, 2nd ed, United-Kingdom, Taylor and Francis Group, 2013, 866 p.