

EN004190

RAPPORT D'ENQUÊTE
Dépersonnalisé

**Accident survenu à un mineur et deux superviseurs
le 10 septembre 2017 à l'entreprise Iamgold Corporation,
Mine Westwood, 1, chemin Arthur-Doyon, route rurale 1, Preissac**

Direction régionale de l'Abitibi-Témiscamingue

Inspecteurs :

_____ **Mario St-Pierre ing.**

_____ **Steve McCann**

Date du rapport : 30 août 2018

Rapport distribué à :

- Monsieur [A], Mine Westwood
- Comité de santé et de sécurité, Mine Westwood
- Monsieur [B], Mine Westwood
- Monsieur [C], Mine Westwood
- Monsieur [D], Mine Westwood
- Monsieur [E], Mine Westwood
- Monsieur [F], Mine Westwood
- Monsieur [G], Mine Westwood
- Docteure Lyse Landry, directrice de la santé publique du Centre intégré de santé et de services sociaux de l'Abitibi-Témiscamingue

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	3
2.2.1	MÉCANISMES DE PARTICIPATION	3
2.2.2	GESTION DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ	4
<u>3</u>	<u>DESCRIPTION DU TRAVAIL</u>	<u>6</u>
3.1	DESCRIPTION DU LIEU DE TRAVAIL	6
3.2	DESCRIPTION DU TRAVAIL À EFFECTUER	8
<u>4</u>	<u>ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE</u>	<u>10</u>
4.1	CHRONOLOGIE DE L'ACCIDENT	10
4.2	CONSTATATIONS ET INFORMATIONS RECUEILLIES	12
4.2.1	CONSTATATIONS SUR LES LIEUX DE L'ACCIDENT	12
4.2.2	TÉMOIGNAGES RECUEILLIS	12
4.2.3	RAPPORT D'EXPERTISE DE LA FIRME SRK CONSULTING (EXPERT MANDATÉ PAR LA CNESST)	13
4.2.4	ENQUÊTE ICAM IAMGOLD	14
4.3	ÉNONCÉS ET ANALYSE DES CAUSES	15
4.3.1	L'EXCAVATION D'UNE GALERIE DANS UNE ZONE À RISQUE DE PAR LA NATURE DES ROCHES, LA PROFONDEUR ET LA PRÉSENCE D'UNE FAILLE ENGENDRENT UNE ACCUMULATION DE CONTRAINTES JUSQU'À UNE RUPTURE DU MASSIF ROCHEUX.	15
4.3.2	LA PLANIFICATION DES TRAVAUX POUR LE CONTRÔLE DE TERRAIN EST DÉFICIENTE EN CE QUE DES INTERACTIONS PLANIFIÉES SUR DES SURFACES À RISQUE EXPOSENT UN MINEUR ET DEUX SUPERVISEURS À UN DANGER DE PROJECTION DE ROCHES.	16
<u>5</u>	<u>CONCLUSION</u>	<u>19</u>
5.1	CAUSES DE L'ACCIDENT	19
5.2	AUTRES DOCUMENTS ÉMIS LORS DE L'ENQUÊTE	19
5.3	SUIVI DE L'ENQUÊTE	19
<u>ANNEXES</u>		
ANNEXE A :	Liste des accidentés	20
ANNEXE B :	Plan d'Intervention Action Réponse (PIAR)	22
ANNEXE C :	Liste des personnes et témoins rencontrés	24

ANNEXE D : Rapport d'expertise externe

25

SECTION 1

1 RÉSUMÉ DU RAPPORT

Description de l'accident

Le 10 septembre 2017, vers 9 h 12, un coup de terrain d'une magnitude locale de 1,21 Mw (magnitude de moment) survient dans la galerie 132-02 TB Est #2 du niveau 132 de la mine Westwood. Il y a des projections de roches en direction d'un mineur et de deux superviseurs qui se trouvent à proximité du front de taille pour des travaux de purgeage mécanique à l'aide d'une foreuse à flèche (photo 1).

Conséquences

[H] et [I et J] subissent des blessures multiples.



Source : CNESST

Photo 1 : Front de taille où est survenu le coup de terrain du 10 septembre 2017

Abrégé des causes

- 1) **L'excavation d'une galerie dans une zone à risque de par la nature des roches, la profondeur et la présence d'une faille engendrent une accumulation de contraintes jusqu'à une rupture du massif rocheux.**
- 2) **La planification des travaux pour le contrôle de terrain est déficiente en ce que des interactions planifiées sur des surfaces à risque exposent [H] et [I et J] à un danger de projection de roches.**

Mesures correctives

Dans le rapport d'intervention RAP9065086, émis le 11 septembre 2017, une décision interdit l'accès à la galerie 132-02 TB Est #2.

Dans le rapport d'intervention RAP1195222, émis le 14 septembre 2017, la CNESST demande à l'employeur d'élaborer une procédure de travail sécuritaire pour le déplacement de la foreuse à flèche, unité JU-006, impliquée dans l'accident.

Dans le rapport d'intervention RAP1207712, émis le 21 décembre 2017, la CNESST autorise le déplacement de la foreuse à flèche, unité JU-006, dans la galerie 132-02 TB Est #2, suite à la réception d'une procédure de travail sécuritaire.

Dans le rapport d'intervention RAP1216549, émis le 26 mars 2018, la CNESST autorise le lavage et le soutirage à distance de l'extrémité sud-est de la galerie 132-02 TB Est #2 conformément à la procédure et au plan et devis qui ont été transmis à la CNESST.

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

L'entreprise Iamgold Corporation (ci-après nommée employeur) est une société minière internationale qui emploie près de 4 800 travailleurs sur trois continents. Elle exploite trois mines, principalement des gisements d'or. Au Québec, l'employeur exploite le site minier de Westwood.

La mine Westwood a amorcé la production commerciale en juillet 2014.

L'employeur exploite la mine Westwood et y emploie plus de 648 travailleurs, incluant ceux de sa filiale, Iamrock. À ce nombre s'ajoutent 231 cadres et environ 213 personnes engagées par des sous-traitants.

Les travaux souterrains sont répartis sur des quarts de travail de jour et de nuit. Les quarts sont d'une durée de 10 heures pour la plupart du personnel œuvrant sous-terre. Certains ont des quarts d'une durée de 12 heures.

Les travailleurs œuvrant pour l'employeur à la mine Westwood, excluant ceux de sa filiale Iamrock, sont syndiqués avec le Syndicat des Métallos, Section locale 9291.

2.2 Organisation de la santé et de la sécurité du travail

2.2.1 Mécanismes de participation

L'entreprise fait partie du secteur d'activité « Mines, carrières et puits de pétrole ». Elle est membre de l'Association paritaire pour la santé et la sécurité du travail du secteur minier (APSM).

Un comité de santé et de sécurité (CSS) est formé. Il se réunit une fois par mois. Le comité est composé de cinq représentants des travailleurs et de cinq représentants de l'employeur. Les cinq membres travailleurs agissent également à titre de représentants à la prévention, dont un est libéré à raison de 40 heures par semaine afin d'exercer ses fonctions.

Un programme de prévention est en vigueur à la mine Westwood et il est révisé annuellement. La dernière mise à jour a été faite en mai 2016. Les procédures d'opération et le plan des mesures d'urgence sont maintenus à jour par le service de santé et de sécurité de la mine.

L'employeur est membre de l'Association Minière du Québec (AMQ). Cette dernière offre à ses membres un support en santé et en sécurité.

2.2.2 Gestion de la santé et de la sécurité

Le service de santé et de sécurité de l'établissement se compose d'un surintendant, d'un coordonnateur, de trois conseillers en prévention, de trois infirmières, d'une adjointe administrative, d'un commis et d'une conseillère en gestion. Le service de formation compte une coordonnatrice, une adjointe administrative, quatre formateurs, un spécialiste du développement de formation et une responsable de la politique de gestion des entrepreneurs.

À leur entrée en fonction, les employés sont accueillis par un représentant du service de santé et de sécurité. Chaque nouvel employé reçoit une formation d'accueil, laquelle traite notamment de la santé et de la sécurité au travail. Le nouvel employé ou l'employé affecté à un nouveau poste est initié à sa nouvelle tâche par compagnonnage avec un collègue expérimenté ou une formation.

Chaque poste de travail est visité à une ou deux reprises par quart de travail par un superviseur. Au début de chaque quart, le superviseur remet à chaque travailleur ou équipe de travailleurs une carte de production sécuritaire. Il y indique les tâches à réaliser durant le quart de travail. Ce formulaire contient notamment une liste d'éléments sur la santé et la sécurité à vérifier par le travailleur et le superviseur sur les lieux de travail. Le formulaire comprend également une section portant sur les risques propres aux travaux à effectuer. Pour les travailleurs utilisant un véhicule, une carte d'inspection mécanique lui est aussi remise.

Les procédures de travail à suivre pour la réalisation des différentes tâches liées à l'exploitation de la mine sont accessibles sur tous les ordinateurs de l'établissement.

Organigramme 1 : Direction de la Mine Westwood

Organigramme 2 : Service de l'exploitation

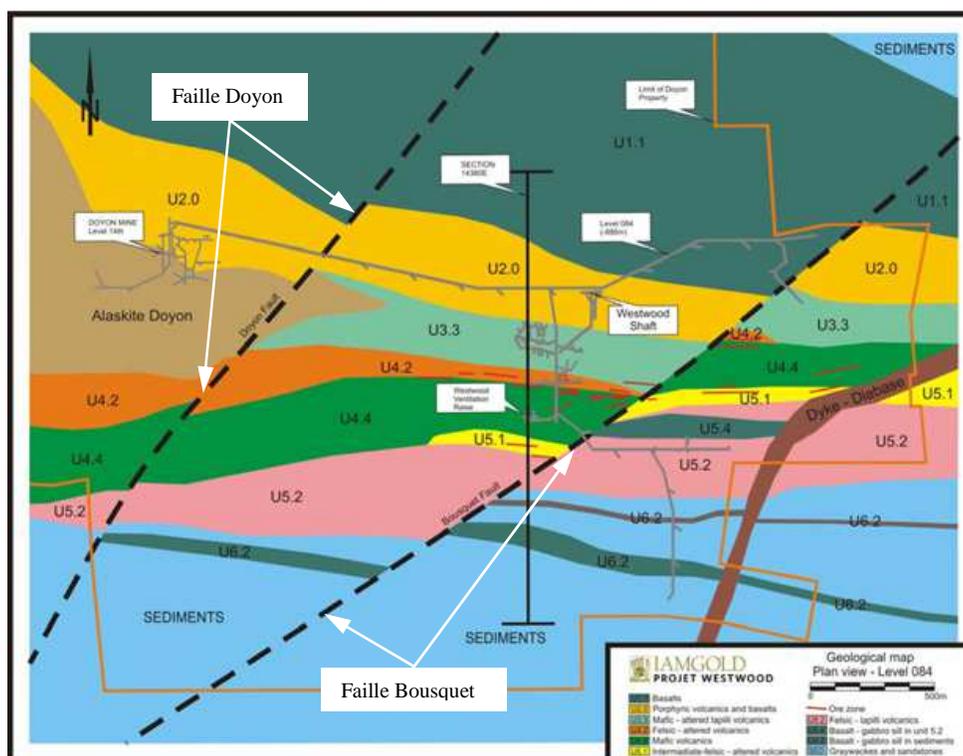
SECTION 3

3 DESCRIPTION DU TRAVAIL

3.1 Description du lieu de travail

La mine souterraine Westwood est située à environ 40 km à l'est de Rouyn-Noranda, canton Bousquet, municipalité de Preissac.

La mine Westwood fait partie du camp minier Doyon-Bousquet-Laronde. Elle est située dans le sud de la sous-province de l'Abitibi, dans les roches volcaniques et intrusives d'âge archéen de la formation Bousquet. Deux failles importantes, Bousquet et Doyon, sont présentes dans le secteur de la mine Westwood (plan 1). Des excavations de la mine Westwood sont à proximité de la faille Bousquet ou la traverse. La faille Doyon est traversée par une galerie d'exploration entre l'ancienne mine Doyon et la mine Westwood.



Source : Iamgold corporation

Plan 1 : Faille Westwood et faille Doyon dans le secteur de la mine Westwood

Sur le site de la mine Westwood, on retrouve un puits d'extraction, un chevalement, un bâtiment des machines d'extraction et une rampe (photo 2). La rampe, sous forme de galerie inclinée, permet la circulation des véhicules de la surface jusqu'au niveau 132. Le puits d'extraction d'une profondeur de 1960 mètres permet d'accéder aux neuf niveaux de la mine souterraine. Trois machines d'extraction sont utilisées dans le puits d'extraction : une machine d'extraction de service, une machine d'extraction de production et une installation motorisée de transport de personnes.



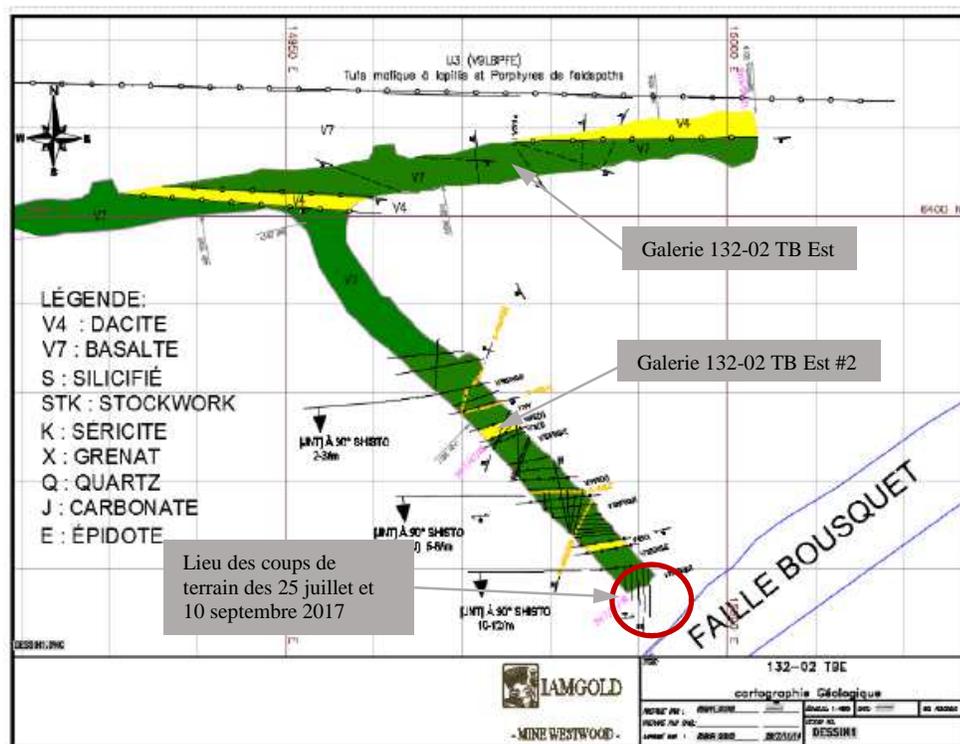
Source internet : bullmarketrun.com/the-cadillac-trend-from-above-pictures-show-what-words-cannot-describe/
Photo 2 : Mine Westwood

Les ateliers, le bâtiment administratif ainsi que l'usine de traitement du minerai sont situés sur le site de l'ancienne mine Doyon à 2,5 km à l'est de la mine Westwood.

La mine Westwood est exploitée par la méthode de minage de chantier longs trous. Neuf niveaux et des sous-niveaux ont été développés pour accéder au gisement. Les sous-niveaux sont accessibles par une rampe. Le niveau 132 se compose de 9 sous-niveaux : #2, #3, #4, #5, #6, #8, #9, #10 et #11.

Suite à l'abandon de la galerie 132-02 TB Est, la galerie 132-02 TB Est #2 a été excavée sur le sous-niveau #2 du niveau 132 à une profondeur d'environ 1300 mètres (plan 2). Elle a une largeur de 3,7 mètres et une hauteur de 4,1 mètres avec un toit en arche. Elle a un angle d'environ 90 degrés avec la faille Bousquet.

Le coup de terrain se produit à l'extrémité sud-est de la galerie 132-02 TB Est #2.



Source : Iamgold corporation

Plan 2 : Vue en plan des galeries 132-02 TB Est et 132-02 TB Est #2

3.2 Description du travail à effectuer

Le 10 septembre 2017 durant le quart de jour, M. [H], est assigné au lavage et au purgeage des parois de l'extrémité sud-est de la galerie 132-02 TB Est #2. Le purgeage des parois se fait à l'aide d'une foreuse à flèche de marque Sandvik, de modèle DD311-40 de l'année 2011 (figure 1).



Source internet : pybar.com.au/equipment/sandvik-dl331/

Figure 1 : Foreuse à flèche DD311-40

M. [I], est dans la galerie du côté gauche (vue vers le sud-est) de la foreuse à flèche afin de prendre des photos de l'excavation et de s'assurer que les travaux de purgeage sont effectués adéquatement.

M. [J], est présent sur le marchepied de la foreuse à flèche afin de superviser [H] et il accompagne [I] pour son évaluation.

Les travaux prévus après le purgeage dans la galerie 132-02 TB Est #2 étaient : l'inspection de la galerie, l'application de béton projeté sur les parois de l'excavation et l'installation du support de terrain sur les parois de l'excavation.

SECTION 4

4 ACCIDENT: FAITS ET ANALYSE

4.1 Chronologie de l'accident

Le 25 juillet 2017, un coup de terrain d'une magnitude de 0,52 Mw se produit à l'extrémité sud de la galerie 132-02 TB Est #2 (photo 3). La galerie est fermée suite au coup de terrain.



Source : Iamgold corporation

Photo 3 : Front de taille suite au coup de terrain du 21 juillet 2017

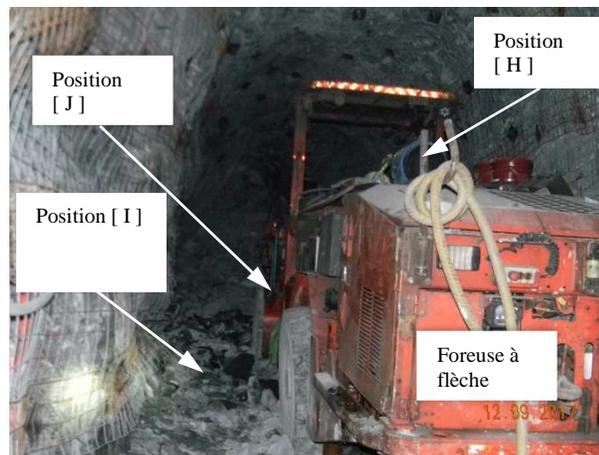
Le 8 septembre 2017, vers 13 h 00, une rencontre a lieu afin de planifier la poursuite des travaux dans la partie sud-est de la galerie 132-02 TB Est #2. [K], [L], [M], [I] et [N] participent à la rencontre. Il est convenu que les parois non soutenues de l'excavation seront purgées à l'aide d'une foreuse à flèche avant l'application de béton projeté sur ces dernières. Il est également convenu que l'excavation sera vérifiée par des représentants des services techniques et de l'exploitation après le purgeage afin de déterminer la façon d'identifier les culots des trous de forage avant l'application du béton projeté.

Le 9 septembre 2017, durant le quart de soir, un travailleur lave les murs et le front de taille de la partie sud-est de la galerie 132-02 TB Est #2. Ensuite, un autre travailleur y soutire huit godets de roche à l'aide d'une chargeuse-navette.

Le 10 septembre 2017, vers 6 h 50, [H] rencontre [J] aux bureaux des superviseurs dans le bâtiment administratif. Il lui remet une carte de production sécuritaire ainsi que le plan et devis pour la galerie 132-02 TB Est #2 au [H]. Il informe [H] qu'il procèdera au purgeage de la partie sud-est de la galerie 132-02 TB Est #2 au début du quart de travail. Il l'informe également que les travaux ne pourront débuter avant que lui et [I] soient présents sur les lieux. Vers 7 h 20, [H] se dirige vers le puits de la mine afin de prendre la cage. Il récupère une foreuse à flèche au sous-niveau 132-02, puis il se stationne à proximité de la galerie 132-02 TB Est #2 afin d'attendre [I et J].

Vers 8 h 30, [J] et [I] rejoignent [H]. Ce dernier positionne la foreuse à flèche dans la partie sud-est de la galerie 132-02 TB Est #2. Ensuite, les parois et le front de taille de l'excavation sont lavés à l'aide d'un boyau. [H] et [I et J] entendent des crépitements provenant du roc.

Vers 8 h 50, [H] procède au purgeage du toit, du mur gauche et du mur droit de l'excavation à l'aide de la foreuse à flèche. [I] demande au [H] d'arrêter ses travaux. Il s'avance vers le front de taille et il prend des photos. Après avoir pris les photos, il se positionne au sol à gauche de la foreuse à flèche. [J] est positionné sur le marchepied (photo 4).



Source : CNESST

Photo 4 : Position des personnes lors du coup de terrain

[H] reprend son travail de purgeage et lorsqu'il touche la partie supérieure du front de taille avec la tige de sa foreuse à flèche, un violent coup de terrain (1,21 Mw et 250 tonnes de roches) survient à 9 h 12. Les trois hommes sont frappés par des roches et blessés.

[H] et [I] évacuent rapidement la galerie. Ils se dirigent dans une galerie adjacente. Les deux hommes sont pris en charge par des travailleurs présents dans une excavation servant à l'alésage d'une monterie. Des sauveteurs miniers évacuent les trois hommes blessés vers la surface et ils sont transportés vers un centre hospitalier.

4.2 Constatations et informations recueillies

4.2.1 Constatations sur les lieux de l'accident

- Des boulons à friction tube fendu (split set) sont installés dans le mur gauche (vue vers le sud-est) des deux dernières volées. Des boulons hybrides devaient être installés selon le plan et devis dans les murs. Un boulon hybride est un boulon à friction tube fendu dans lequel on insère un boulon crénelé (rebar) avec de la résine.
- Le soutènement dans la partie sud-est de la galerie 132-02 TB Est #2 n'est pas détérioré.
- Des roches ont été projetées sur la foreuse à flèche et à plus de 10 mètres à l'arrière de celle-ci. Également, on retrouve des roches à droite et à gauche de la foreuse à flèche.
- La foreuse à flèche a été déplacée vers la droite (vue vers le sud-est) par le coup de terrain.
- Le profil des roches abattues au front de taille par le coup de terrain est similaire au profil de roches abattues par le sautage d'une volée.
- La foreuse à flèche est munie d'un cadre de protection contre la chute d'objets au-dessus des postes de conduite et d'opération et il n'y a pas de parois latérales.

4.2.2 Témoignages recueillis

- [K] du service d'ingénierie nous informe que :
 - [O] responsable du béton projeté n'était pas à l'aise d'aller appliquer du béton projeté sur les roches branlantes;
 - une réunion s'est tenue dans la salle de sauvetage minier de l'établissement le 8 septembre 2017 afin de planifier les travaux de la galerie 132-02 TB Est #2. [K], [L], [M], [I] et [N] assistent à la rencontre;
 - le mécanisme de <strain burst>* est capable de produire des événements sismiques d'une magnitude maximale de l'ordre de 1,2 Mw;
 - le but de l'application du béton projeté sur les parois de la galerie a pour but de protéger les travailleurs qui installent le support de terrain au front de taille;
 - il fallait faire une inspection conjointe ingénierie/opération, après le purgeage des parois de l'excavation, pour trouver une façon convenable de marquer les fonds de trous avant l'application du béton projeté;
- [H] nous informe que le coup de terrain est survenu lorsqu'il a purgé une bosse sur le front de taille.
- [I] nous informe que :
 - il a proposé l'idée de l'utilisation de la foreuse à flèche pour le purgeage des parois de la galerie 132-02 TB Est #2. La longueur de la flèche de 4,9 mètres (16 pieds) permettra de ne pas exposer personne. Après le purgeage des parois, il sera possible d'appliquer le béton projeté;
 - il voulait être présent lors du purgeage des parois de la galerie 132-02 TB Est #2 afin de voir s'il y avait des anomalies, de prendre des photos et de pouvoir faire un suivi à la rencontre du lundi 11 septembre 2017 au matin;

* Un mécanisme de <strain burst> est une rupture explosive de la roche qui se produit quand des concentrations de contraintes sont induites autour des ouvertures souterraines.

- il y a eu un bris d'équipement le 8 septembre 2017 au soir et il n'a pas été possible de déblayer la roche au front de taille. Les travaux de purgeage des parois de la galerie 132-02 TB Est #2 sont reportés au 10 septembre 2017. Le déblayage de la galerie est effectué le 9 septembre 2017 durant le quart de soir;
- [H] devait attendre [J] et [I] avant d'entrer dans la galerie 132-02 TB Est #2;
- [J] était dans la galerie 132-02 TB Est #2 pendant les travaux pour superviser son travailleur et pour son évaluation;
- il a marqué les étapes du plan d'action sur le plan et devis : 1 laver et déblayer de nuit, 2 purgeage avec la foreuse à flèche de jour. Il a également marqué que [H] devait attendre [I] et [J] avant de faire le purgeage;
- le dimanche matin, il n'y a pas personne de l'ingénierie à la mine. Le matin, [I] regarde toujours l'activité sismique sur l'écran aux bureaux des superviseurs. Le 10 septembre 2017, il ne note que des petits craquements;
- L'utilisation de la foreuse à flèche permet d'avoir une distance de 4,9 mètres. Ils ne savaient pas que de la pression s'était accumulée dans le massif rocheux de la galerie 132-02 TB Est #2.

4.2.3 Rapport d'expertise de la firme SRK consulting (expert mandaté par la CNESST)

Des éléments tirés du rapport :

- Le développement de la galerie en approche de la faille Bousquet était interrompu depuis le 25 juillet 2017 suite à un premier coup de terrain de magnitude locale de 0,52 Mw qui avait déplacé 5 à 10 tonnes de roc provenant de la partie non soutenue de la dernière volée.
- Le front de taille se trouve à proximité de la faille Bousquet. La géologie au front de taille, illustrée à la Figure 2, est constituée de basalte avec forte schistosité parallèle à la faille Bousquet. Le front de taille comporte également plusieurs joints perpendiculaires à la schistosité (10 à 12 joints par mètre). Le basalte est silicifié comme le démontre la présence de plusieurs veines de quartz comme l'illustre la Figure 3.
- La faille Bousquet est constituée d'alternance de zones altérées (séricite) et de zones de roche très fracturée, à matrice dure avec une ou plusieurs zones de boue.
- [J] et [I] ont été blessés par l'éjection d'environ 250 tonnes de roc du front de taille non soutenu.
- La cause directe de l'accident du 10 septembre 2017 est due à la différence de rigidité entre la faille Bousquet et celle du basalte silicifié où se situe le front de taille. Le basalte, plus rigide que la faille, a permis une augmentation des contraintes au fur à mesure que le front de taille approchait de la faille Bousquet. Le fonçage de la galerie 132-02 vers la faille Bousquet a en fait créé un effet de « pilier rétrécissant (diminishing pillar) », où le niveau des contraintes en avant du front de taille devint éventuellement supérieur à la résistance du massif rocheux (Figure 4). La silicification du basalte a permis un comportement de rupture fragile lorsque le niveau des contraintes accumulées a dépassé la résistance du massif rocheux. La rupture fragile du massif rocheux associée à la schistosité parallèle à la faille Bousquet et aux joints perpendiculaires à la schistosité a occasionné un coup de terrain avec éjection violente de roc par flambage des plans de schistosité.
- Le délai de plus de cinq semaines entre le coup de terrain du 25 juillet 2017 et le début des travaux correctifs sur la portion non soutenue de la galerie 132-02 TBE a probablement

contribué à l'accumulation des contraintes dans le massif rocheux entre le front de taille et la faille Bousquet, créant des conditions propices pour un coup de terrain.

- En s'assurant toujours que la sismicité est à un niveau acceptable pour minimiser les risques aux travailleurs, il est toujours préférable d'effectuer les travaux de réhabilitation le plus tôt possible après un coup de terrain, afin d'éviter l'accumulation d'énergie dans le massif rocheux.

4.2.4 Enquête ICAM Iamgold

L'enquête selon la méthode ICAM (Incident Cause Analysis Method) effectuée par Iamgold permet d'établir que :

- la mine Westwood fait partie du camp minier Doyon-Bousquet-LaRonde et est située dans des roches volcaniques et intrusives d'âge archéen. La foliation régionale est orientée Est-Ouest, parallèlement à la stratigraphie, avec des pendages variant de 70° vers le sud à sub-verticaux. Les principales unités géologiques rencontrées à la mine Westwood sont illustrées à la Figure 4 (voir plan 1);
- la galerie 132-02 TB Est #2 est située à une profondeur approximative de 1300 mètres. La contrainte verticale peut être estimée par le poids des terres et atteindrait près de 35 MPa à cette profondeur. Les contraintes horizontales peuvent être estimées à 1.3 à 2.0 fois la valeur de la contrainte verticale, et pourraient donc atteindre près de 70 MPa;
- la galerie 132-02 TB Est a été planifiée pour accéder le côté est de la faille Bousquet pour des fins d'exploration et éventuellement d'exploitation, en particulier en joignant la monterie MTV#117. Le développement de cette galerie a initialement été fait en 2016, en approchant la faille Bousquet avec un angle d'environ 30 degrés pour éventuellement tourner en direction sud-est pour traverser la faille;
- le 23 septembre 2016, un événement sismique de magnitude 1,3 Mw se produit. Le secteur est fermé pour une période indéterminée;
- le 18 mai 2017, abandon de la galerie 132-02 TB Est et planification de la 132-02 TB Est #2;
- une nouvelle galerie est donc planifiée pour traverser la faille Bousquet à un point où elle semble moins large et le protocole PIAR #2 (annexe B) est appliqué. Le secteur reste sans activité jusqu'au début juin 2017;
- le 23 juillet 2017, dynamitage dans la galerie 132-02 TB Est #2. Le 24 juillet 2017, déblayage du matériel et début du boulonnage du toit durant le quart de nuit;
- le 24 juillet 2017, tel que requis par le PIAR #2, une inspection est effectuée où on constate des chutes de blocs de roches au toit de la dernière ronde et des fractures de stress très développées dans les dernières rondes. Le protocole d'attente est augmenté à 12 heures, et la longueur boulons résinés (rebar) au toit est augmentée à 3 mètres (10 pieds);
- le 25 juillet à 7 h 58 un événement sismique d'amplitude de 0,52 Mw se produit alors que [H] est à connecter la boulonneuse aux services (eau, air, électricité);
- l'écaillage avec la foreuse à flèche a causé des vibrations dans le front de taille (particulièrement si du martellement est fait sur le front de taille qui est possiblement sur le contact de la faille Bousquet) et déloge du matériel rocheux des surfaces exposées. La combinaison de ces 2 facteurs déclenche le coup de terrain;
- le vendredi 8 septembre 2017 en après-midi, une rencontre avec les départements d'ingénierie, d'exploitation et SST est planifiée afin de réviser le devis spécifique ainsi

que la séquence de travail. L'équipe réévalue l'étape du devis émis du 17 août 2017 par un ingénieur de la mine demandant l'application de 10 cm de béton projeté étant donné qu'une partie de galerie est non écaillée, lavée et supportée. Suite à cette réunion, il est décidé de modifier le devis. Le devis de réhabilitation REHAB-17-1320-02-02 est alors émis. Il y est demandé de :

- 1. Soutirer le matériel au bout de la galerie (peut être fait en mode manuel),
- 2. Compléter le support des murs selon devis #5 une fois le matériel enlevé (ajout de boulons hybrides en quinconce entre les rangées de boulons résinés) à partir de la station murale 10136 (environ 7,5 m de galerie déjà supportée, et 2,5 mètres de la dernière volée),
- 3. Laver le front avec de l'eau sous pression en restant sous la partie supportée,
- 4. Laver et écailler au jumbo la partie non supportée avec [I],
- 5. Fermer l'accès pour inspection par le département de Mécanique des roches;
- le 9 septembre 2017, durant le quart de nuit, deux travailleurs sont assignés à soutirer le matériel au front suite au coup de terrain du 25 juillet. Un total de 8 godets est soutiré. [P] rapporte lors de l'enquête avoir uniquement nettoyé le plancher sans gratter les bords des murs ou le front de taille car il était soucieux de la stabilité des murs. Ces observations ne furent pas transmises au [J] en devoir ou inscrits sur sa carte de travail.

4.3 Énoncés et analyse des causes

4.3.1 L'excavation d'une galerie dans une zone à risque de par la nature des roches, la profondeur et la présence d'une faille engendrent une accumulation de contraintes jusqu'à une rupture du massif rocheux.

La galerie 132-02 TB Est est abandonnée et la galerie 132-02 TB Est #2 est planifiée le 18 mai 2017. Par la suite, l'excavation de la galerie 132-02 TB Est #2 débute vers le sud-est en direction de la faille Bousquet à une profondeur d'environ 1300 mètres. La galerie a été planifiée pour traverser la faille Bousquet à un angle de 90 degrés à un point où elle semble moins large.

La dernière volée dans la galerie a lieu le 23 juillet 2017, et le front de taille est à proximité de la faille Bousquet. Le 25 juillet 2017, un coup de terrain d'une magnitude de 0,52 Mw survient après le déblayage de la roche abattue et le début du boulonnage du toit. Le coup de terrain déplace 5 à 10 tonnes de roches.

Aucune activité n'a lieu dans la galerie 132-02 TB Est #2 jusqu'au quart de soir du 9 septembre 2017. Les roches provenant du coup de terrain du 23 juillet 2017 sont déblayées. Le 10 septembre 2017, durant le quart de jour, un coup de terrain d'une magnitude de 1,21 Mw survient pendant le purgeage des parois de la galerie. Le coup de terrain projette environ 250 tonnes de roches. [I et J] et [H] sont blessés.

À une profondeur de 1300 mètres, la galerie est soumise à une contrainte verticale estimée à près de 35 MPa et à des contraintes horizontales pouvant atteindre 70 MPa. Le développement de la galerie a réduit progressivement le pilier avec la faille Bousquet en créant un effet de pilier rétrécissant. Cela a fait en sorte que les contraintes à l'extrémité sud-est de la galerie ont augmenté jusqu'à la rupture du massif rocheux.

Le massif rocheux de la partie sud-est de la galerie est constitué de basalte silicifié avec forte schistosité parallèle à la faille Bousquet. Il y a également plusieurs joints perpendiculaires à la schistosité. La roche est compétente et permet l'accumulation importante d'énergie. La faille Bousquet est beaucoup moins rigide que le basalte silicifié, car elle est constituée d'alternance de zones altérées (séricite) et de zones de roches très fracturées avec une ou plusieurs zones de boue. La différence de rigidité entre le basalte silicifié a permis une augmentation des contraintes dans le front de taille. La rupture fragile du massif rocheux associée à la schistosité parallèle à la faille Bousquet et aux joints perpendiculaires à la schistosité a occasionné un coup de terrain avec éjection violente de roc par flambage de la schistosité.

Le coup de terrain s'est produit selon un mécanisme de <strain burst> et avec une magnitude de 1,2 Mw. C'est le maximum d'énergie qui pouvait se dégager. Un tel dégagement d'énergie a fait en sorte de projeter des roches avec grande vitesse et de blesser [I et J] et [H].

Il est possible que le coup de terrain ait été initié par les vibrations et le dégagement de roches du front de taille occasionnés par la foreuse à flèche lors du purgeage.

L'excavation de la galerie à 1300 mètres de profondeur à proximité de la faille Bousquet a permis l'accumulation importante d'énergie dans le massif rocheux de basalte silicifié et elle a provoqué un coup de terrain violent avec projection de roches.

Cette cause est retenue.

4.3.2 La planification des travaux pour le contrôle de terrain est déficiente en ce que des interactions planifiées sur des surfaces à risque exposent [H] et [I et J] à un danger de projection de roches.

Le secteur des galeries 132-02 TB Est et 132-02 TB Est #2 est sujet à de l'activité sismique. Notamment, la galerie 132-02 TB Est est abandonnée après un événement sismique de magnitude de 1,3 Mw survenu le 23 septembre 2016. Suite à l'abandon de cette galerie, la galerie 132-02 TB Est #2 est planifiée et le protocole PIAR #2 est appliqué.

Le 24 juillet 2017, la chute de blocs et des fractures de stress très développées au toit de la dernière volée de la galerie 132-02 TB Est #2 sont constatées. Le protocole d'attente est augmenté à 12 heures et la longueur des boulons crénelés au toit est augmentée à 3 mètres. Le matin du 25 juillet 2017, un coup de terrain d'une magnitude de 0,52 Mw survient à l'extrémité sud-est de la galerie 132-02 TB Est #2.

Du 25 juillet au 8 septembre 2017, il n'y a pas d'activité sismique significative et de travaux dans la galerie 132-02 TB Est #2. L'expert mandaté par la CNESST est d'avis qu'il aurait été préférable de faire les travaux de réhabilitation de la galerie le plus rapidement possible après le coup de terrain du 25 juillet 2017 afin d'éviter l'accumulation d'énergie dans le massif rocheux. Une période d'inactivité opérationnelle et sismique a permis l'accumulation d'une importante quantité d'énergie dans le massif rocheux.

Les roches produites par le coup de terrain du 25 juillet 2017 sont soutirées le 9 septembre 2017 durant le quart de soir. Le travailleur a nettoyé le plancher sans gratter le bas des murs, car il constatait un problème au niveau de la stabilité du massif rocheux. Ces observations ne sont pas transmises à un superviseur ou inscrites sur sa carte de production sécuritaire.

Au mois d'août 2017, [Q] a planifié l'application de béton projeté sur les parois de la partie non soutenue de la galerie 132-02 TB Est #2. Il voulait sécuriser les lieux avant l'installation des boulons d'ancrage et du grillage.

Suite à l'inconfort du [O] concernant l'application de béton projeté sur des roches branlantes, une rencontre se tient le samedi 9 septembre 2017 vers 13 h 00 afin de planifier les travaux dans la galerie 132-02 TB Est #2. Il est décidé qu'après le déblayage de la galerie, le purgeage des parois de l'excavation se fera avec une foreuse à flèche afin d'avoir une distance sécuritaire entre le poste d'opération de la foreuse à flèche et la zone non supportée. La flèche de la foreuse a une longueur de 4,9 mètres. La présence du [I] est aussi convenue durant les travaux de purgeage afin qu'il prenne des photos et que le purgeage des parois soit réalisé adéquatement. Aussi, il est décidé qu'une inspection conjointe ingénierie/opérations devra être faite avant l'application du béton afin de déterminer la façon d'identifier et de marquer les fonds de trous pouvant contenir des explosifs.

Après le déblayage de la galerie 132-02 TB Est #2, l'installation des boulons manquants dans le mur droit n'a pas été faite telle que prévue par la planification des travaux. La non-conformité des boulons dans le mur droit de l'excavation n'a pas contribué aux blessures des travailleurs, car il n'y a pas eu de détérioration du soutènement lors du coup de terrain.

Le 10 septembre 2017, vers 8 h 30, [H] et [I et J] arrivent dans la galerie 132-02 TB Est #2. Ils entendent du crépitement provenant du massif rocheux après le lavage des parois de l'excavation et pendant que [I] prend des photos.

Les risques de coup de terrain lors de l'excavation de la galerie 132-02 TB Est #2 étaient connus par l'employeur. Lors de l'excavation de la galerie, l'employeur a mis en place plusieurs moyens d'atténuation et de contrôle afin de réduire les risques. Ces moyens ont notamment été un protocole PIAR de niveau 2, l'installation prévue de boulons hybrides, l'installation de boulons crénelés de 3 mètres au toit, attente de 8 heures puis de 12 heures après les sautages avant le retour des travailleurs, l'excavation de la galerie à 90 degrés avec la faille et la surveillance de la sismicité. Selon l'expert mandaté par la CNESST, le protocole sismique en place rencontre les bonnes pratiques de l'industrie.

Une très grande quantité d'énergie fut nécessaire pour déplacer 250 tonnes du front de taille et pour projeter des roches à une grande distance. Il y a eu un plus grand dégagement d'énergie lors du coup de terrain que lors du sautage d'une volée dans une galerie. Une magnitude de 1,2 Mw est le maximum d'énergie qui pouvait se dégager avec un mécanisme de <strain burst>. L'attente d'environ 6 semaines depuis le coup de terrain du 25 juillet 2017 a permis l'accumulation d'une grande quantité d'énergie dans le massif rocheux. Il était donc difficilement prévisible que les roches soient projetées à plus de 25 mètres du front de taille.

Malgré l'utilisation d'une foreuse à flèche pour le purgeage des parois de la galerie 132-02 TB Est #2, la planification des travaux expose [I et J] et [H] au danger de coup de terrain et de projection de roches.

Les pratiques actuelles de la mine pour les fronts de taille, dit sismiques, n'ont pas été suffisantes pour assurer la sécurité des personnes dans la galerie 132-02 TB Est #2.

Cette cause est retenue.

SECTION 5

5 CONCLUSION

5.1 Causes de l'accident

L'enquête nous a permis de retenir les causes suivantes pour expliquer cet accident :

- L'excavation d'une galerie dans une zone à risque de par la nature des roches, la profondeur et la présence d'une faille engendrent une accumulation de contraintes jusqu'à une rupture du massif rocheux.
- La planification des travaux pour le contrôle de terrain est déficiente en ce que des interactions planifiées sur des surfaces à risque exposent [H] et [I et J] à un danger de projection de roches.

5.2 Autres documents émis lors de l'enquête

Dans le rapport d'intervention RAP1202020, émis le 7 novembre 2017, l'expert mandaté par la CNESST visite la galerie 132-02 TB Est #2. Des discussions ont lieu concernant le coup de terrain survenu le 10 septembre 2017 et des documents sont demandés à l'employeur.

Dans le rapport d'intervention RAP1211172, émis le 5 février 2018, les principales conclusions et recommandations de l'expert mandaté par la CNESST sont présentées à l'employeur et au [N]. L'employeur fait une présentation de son plan d'action.

5.3 Suivi de l'enquête

La CNESST transmettra les conclusions de cette enquête à l'Association minière du Québec et à l'Association des entrepreneurs miniers du Québec, afin d'informer leurs membres et de les sensibiliser à l'importance d'évaluer et de développer d'autres moyens pour assurer la sécurité des travailleurs lors de travaux dans des excavations avec des risques d'effondrements ou de coups de terrain.

Le rapport d'enquête sera diffusé dans les établissements de formation offrant le programme d'étude *Extraction de minerai*, pour sensibiliser les futurs travailleurs.

ANNEXE A

Liste des accidentés

ACCIDENTÉS

Nom, prénom	:	[J]
Sexe	:	[...]
Âge	:	[...]
Fonction habituelle	:	[...]
Fonction lors de l'accident	:	superviseur 1 ^{er} niveau
Expérience dans cette fonction	:	[...]
Ancienneté chez l'employeur	:	[...]
Syndicat	:	[...]
Nom, prénom	:	[I]
Sexe	:	[...]
Âge	:	[...]
Fonction habituelle	:	[...]
Fonction lors de l'accident	:	superviseur principal
Expérience dans cette fonction	:	[...]
Ancienneté chez l'employeur	:	[...]
Syndicat	:	[...]

Nom, prénom : [H]

Sexe : [...]

Âge : [...]

Fonction habituelle : [...]

Fonction lors de l'accident : mineur

Expérience dans cette fonction : [...]

Ancienneté chez l'employeur : [...]

Syndicat : [...]

ANNEXE B

Plan d'Intervention Action Réponse (PIAR)



Programme de gestion de risque géomécanique

Plan d'Intervention Action Réponse (PIAR)

#2 Gestion de la sismicité locale en développement pneumatique

CHAMP D'APPLICATION		
Définit les interventions requises afin de gérer la sismicité locale dans les faces de travail sur pneumatique		
CAS DE BASE (NIVEAU 0)		
Déclencheur (Trigger)	Action	Réponse
Conditions normales. Aucune sismicité anormale après les sautages. Aucun événement rapporté	Suivi standard. Rapporter tout changement au registre de contrôle de terrain.	Suivi selon le calendrier établi au PCT (minimum 1x par mois). Vérification quotidienne (générale) de la sismicité
RISQUE NIVEAU 1		
Déclencheur (Trigger)	Action	Réponse
Sismicité locale et occasionnelle durant quart de travail lors des opérations normales (forage, soutènement). Crépitements, sans projection. Augmentation du taux de sismicité suite aux sautages.	Rapporter dans le registre de mécanique des roches	Augmenter fréquences du suivi terrains (minimum 2x par mois) Vérification quotidienne de la sismicité dans le secteur Valider présence de terrain ou structures adverses.
RISQUE NIVEAU 2		
Déclencheur (Trigger)	Action	Réponse
Sismicité fréquente dans la place de travail, sans projection. Réponse sismique élevée suite aux sautages ou dépassant 90 minutes Événement durant quart >0,3 Mm	Communiquer avec mécanique des roches/ingénieur de garde. Au besoin, et pour tout événement de $M_H > 0.3$ (jaune), retirer travailleurs 4 h. Inspection du superviseur, lavage et écaillage requis avant la reprise des travaux.	Inspection des lieux dans les 2 jours ouvrables suivant. Support de face selon la procédure pour le développement sur pneumatique requis à chaque ronde. Cartographie détaillée par le département de géologie. Limiter cycle de développement selon l'indication sur le plan de développement (fermeture 6 ou 12 heures, diminution longueur des rondes, etc...) Suivi de terrain hebdomadaire de la face de travail.
RISQUE NIVEAU 3		
Déclencheur (Trigger)	Action	Réponse
Événement durant quart >0,7 Mm Événement avec projection de roche (déplacement horizontale d'un ou plusieurs blocs) ou chute de terrain importante (> 15 Tm). Travailleur blessé suite à un événement sismique	Retrait des travailleurs et attendre autorisation ingénierie pour reprendre. Enquête ingénierie Déclaration à la CNESST si nécessaire (valider avec Santé-Sécurité et exploitation)	Selon conclusions enquête Retour d'informations aux travailleurs

Approbatons

Date 2017.05.01
 Date 2017/04/26
 Date 2017/04/26
 Date 2017/05/01

ANNEXE C

Liste des personnes et témoins rencontrés

M. [Q]
M. [S]
M. [T]
M. [U]
M. [V], Iamgold
M. [W]
M. [X]
M. [N]
M. [L]
M. [Y]
Mme [Z]
M. [A1]
Mme [B1]
M. [C1]
M. [D1]
M. [E1]
M. [F1]
M. [I]
M. [D]
M. [C]
M. [G1]
M. [H1]
M. [H]
M. [G]
M. [B]
M. [A]
M. [H1]
M. [I1]
Mme [J1]
M. [K1], BBA inc.
M. [L1], SRK Consulting (Canada)

ANNEXE E

Rapport d'expertise externe

Rapport final concernant le coup de terrain du 10 septembre 2017 à la mine Westwood

5.3.1.1.1.1 **Rapport préparé pour**

**La Commission des normes, de l'équité, de la santé
et de la sécurité du travail**



Rapport préparé par



SRK Consulting (Canada) Inc.
5CC009.002
Le 15 décembre 2017

6 Rapport final concernant le coup de terrain du 10 septembre 2017 à la mine Westwood

Monsieur Mario St-Pierre, Ing.

Inspecteur et conseiller expert — secteur mines

Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail

1185, rue Germain, 2ième étage

Val-d'Or (Québec) J9P 6B1

6.1.1.1.1 SRK Consulting (Canada) Inc.

1984 Regent St. South

Sudbury, ON P0M 1N0

Courriel : dthibodeau@srk.com

Site web : www.srk.com

Tél. : +1.705.682.3270

6.1.1.1.2 SRK Project Number 5CC009.002

le 15 décembre 2017

Auteur :

*Denis Thibodeau, PhD, Ing.
Conseiller principal
(géomécanique)*

6.1.1.1.3 Contrôle par les pairs :

*Benny Zhang, PEng
Conseiller principal*

Table des matières

	AVERTISSEMENT	3
	DROIT D'AUTEUR	3
1	<u>INTRODUCTION</u>	4
2	<u>RAPPEL DES ÉVÈNEMENTS</u>	4
2.1	GÉOLOGIE	5
2.2	CAUSE DE L'ACCIDENT	7
2.3	AVIS SUR LES MESURES D'ATTÉNUATION UTILISÉES À LA MINE WESTWOOD	7
2.4	AUTRES MESURES D'ATTÉNUATION SUGGÉRÉES	8
3	<u>AUTRES MESURES POTENTIELLES D'ATTÉNUATION</u>	9
4	<u>EXTRACTION DE MINÉRAI CONTRE LA FAILLE BOUSQUET</u>	13
5	<u>CONCLUSIONS</u>	13
6	<u>DOCUMENTS CONSULTÉS</u>	14
7	<u>RÉFÉRENCES</u>	15

Liste des figures

Figure 1 : Coup de terrain au front de taille de la galerie 132-02.....	5
Figure 2 : Géologie de la galerie 132-02 TBE (Courtoisie Mine Westwood)	6
Figure 3 : Veines de quartz dans la galerie 132-02 TBE.....	6
Figure 4 : Représentation d'une galerie s'approchant d'une faille	7
Figure 5 : Exemple de tir de délestages	10
Figure 6 : Cage pour l'écaillage ou le chargement d'explosif	11
Figure 7 : Écailleuse mécanique	12
Figure 8 : Boulonneuse jumbo	12

6.2 Avertissement

Les opinions exprimées dans ce rapport sont basées sur les informations fournies à SRK Consulting (Canada) Inc. (« SRK ») par la Commission des normes, de l'équité, de la santé et de la sécurité du travail (« CNESST »). Ces opinions sont fournies en réponse à la demande expresse de la CNESST et sont sujettes aux termes du contrat entre SRK et la CNESST. SRK a fait preuve de diligence dans l'examen des informations fournies. Bien que SRK ait comparé les principales données fournies avec les valeurs attendues, l'exactitude des résultats et des conclusions de l'examen repose entièrement sur l'exactitude et l'exhaustivité des données fournies. SRK n'accepte aucune responsabilité en cas d'erreurs ou d'omissions dans les informations fournies et n'accepte aucune responsabilité résultant de décisions commerciales ou d'actions qui en découlent. Les opinions présentées dans ce rapport s'appliquent aux conditions et aux caractéristiques du site tel qu'elles existaient au moment des enquêtes de SRK et à celles raisonnablement prévisibles. Ces opinions ne s'appliquent pas nécessairement aux conditions et aux caractéristiques qui peuvent survenir après la date du présent rapport.

6.3 Droit d'auteur

Ce rapport est protégé par un droit d'auteur conféré à SRK Consulting (Canada) Inc. Il ne peut être reproduit ou transmis sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit à une personne sans l'autorisation écrite du détenteur du droit d'auteur, SRK, sauf aux fins énoncées dans la soumission présentée à la CNESST le 20 septembre 2017 et selon les termes du contrat entre SRK et la CNESST.

1 Introduction

Dans le cadre du mandat donné par la CNESST à SRK, un rapport final résumant les hypothèses concernant les causes du coup de terrain du 10 septembre 2017 subvenu à la mine Westwood d'Iamgold doit être soumis. Ce rapport doit inclure également un avis sur les mesures d'atténuation en place, ainsi que des recommandations visant à minimiser les risques d'accident pouvant découler d'éventuels nouveaux coups de terrain.

2 Rappel des événements

Le 10 septembre 2017, [H] effectuant des travaux de réhabilitation dans la galerie 132-02 à 1040 m de profondeur, [J] et [I] ont été blessés par l'éjection d'environ 250 tonnes de roc du front de taille non soutenu, suite à un coup de terrain d'une magnitude locale de 1,3. La Figure 1 illustre le roc éjecté par le coup de terrain. Le développement de la galerie en approche de la faille Bousquet était interrompu depuis le 25 juillet 2017 suite à un premier coup de terrain de magnitude locale de 0,52 qui avait déplacé 5 à 10 tonnes de roc provenant de la partie non soutenue de la dernière volée. Suite à l'incident du 25 juillet, le développement de la galerie 132-02 était assujéti au protocole sismique de la mine Westwood. Du soutènement additionnel pour la portion déjà soutenue de la galerie avait été installé selon le Devis 5 de la mine Westwood. Le soutènement pour la partie non soutenue devait obtenir l'approbation du département technique après une séance de nettoyage et d'écaillage prévue au plan de réhabilitation. Un premier devis de réhabilitation (REHAB-17-1320-02-01), émis le 27 juillet 2017, prévoyait l'application de béton projeté sur la partie non encore soutenue de la volée. Le devis REHAB-17-1320-02-01 a été remplacé le 8 septembre 2017 par le devis REHAB-17-1320-02-02, suite aux appréhensions du département d'opérations qui considérait que le béton projeté ne serait pas efficace si un écaillage n'était pas effectué préalablement.

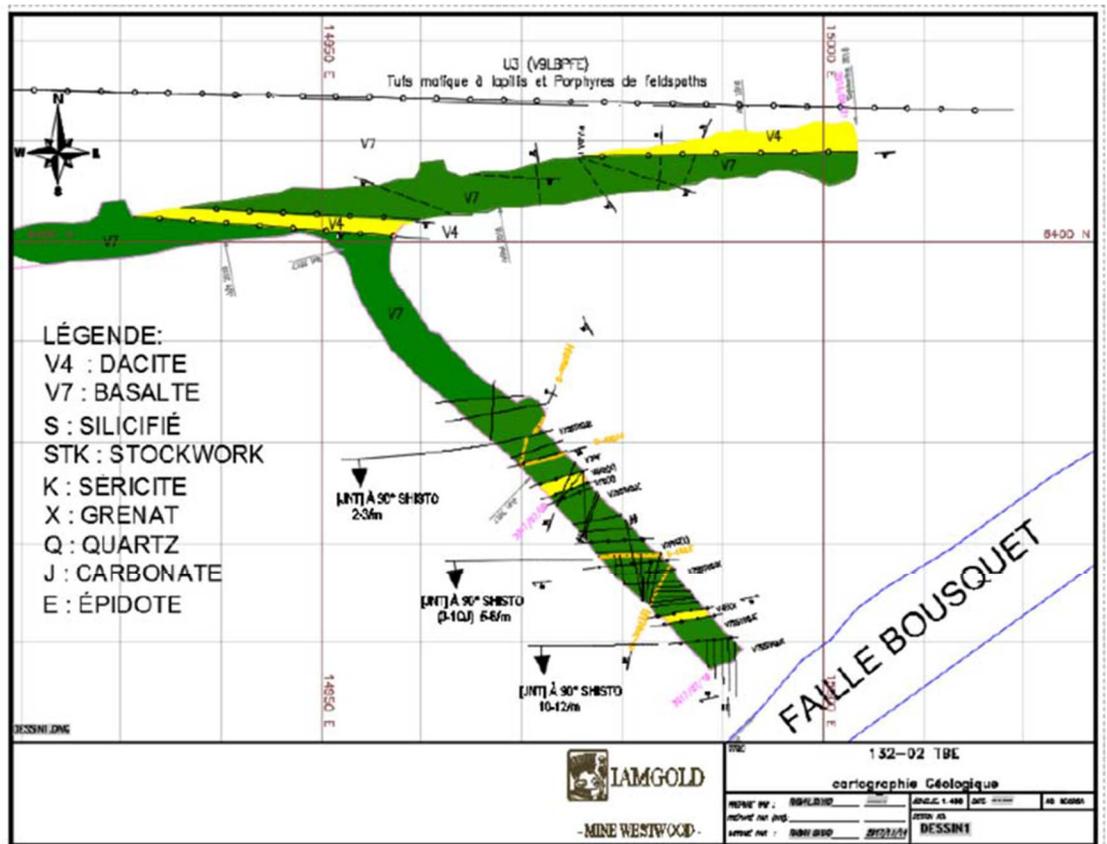


6.3.1.1.1.1 **Figure 1 : Coup de terrain au front de taille de la galerie 132-02 (Courtoisie CNESST)**

2.1 Géologie

Le front de taille se trouve à proximité de la faille Bousquet. La géologie au front de taille, illustrée à la Figure 2, est constituée de basalte avec forte schistosité parallèle à la faille Bousquet. Le front de taille comporte également plusieurs joints perpendiculaires à la schistosité (10 à 12 joints par mètres). Le basalte est silicifié comme le démontre la présence de plusieurs veines de quartz comme l'illustre la Figure 3.

La Faille Bousquet est constituée d'alternance de zones altérées (séricite) et de zones de roche très fracturée, à matrice dure avec une ou plusieurs zones de boue.



6.3.1.1.1.2 Figure 2 : Géologie de la galerie 132-02 TBE (Courtoisie Mine Westwood)

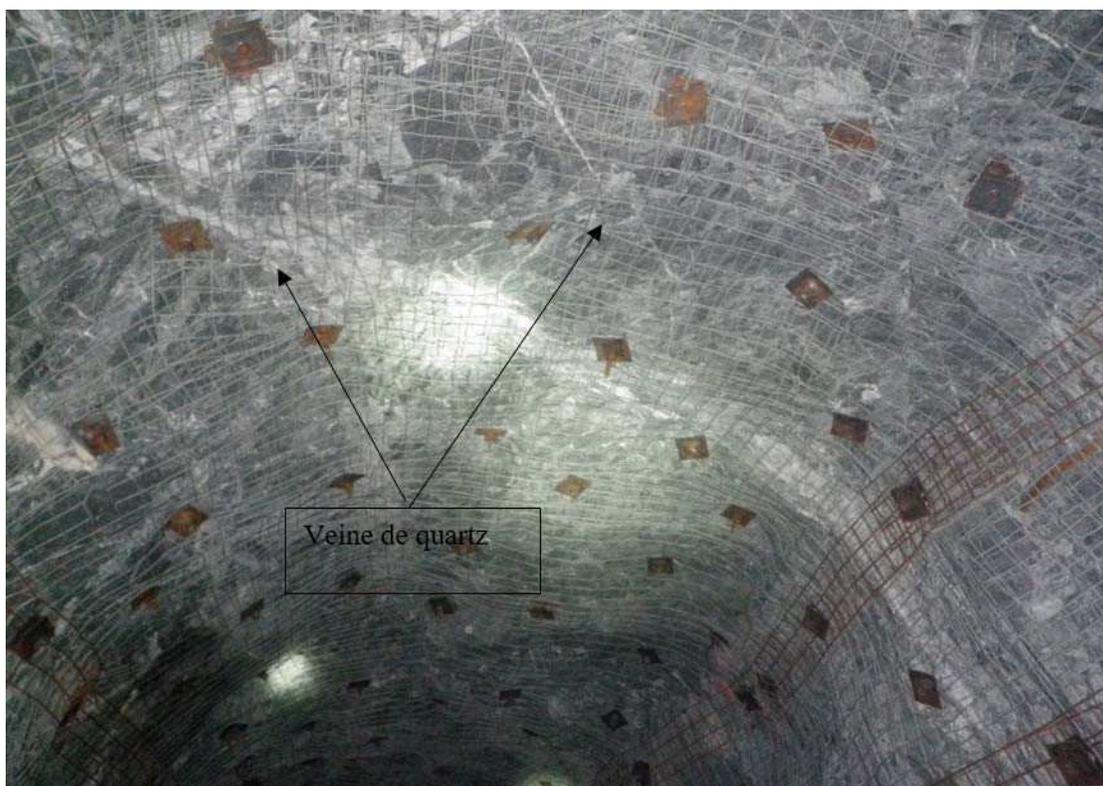
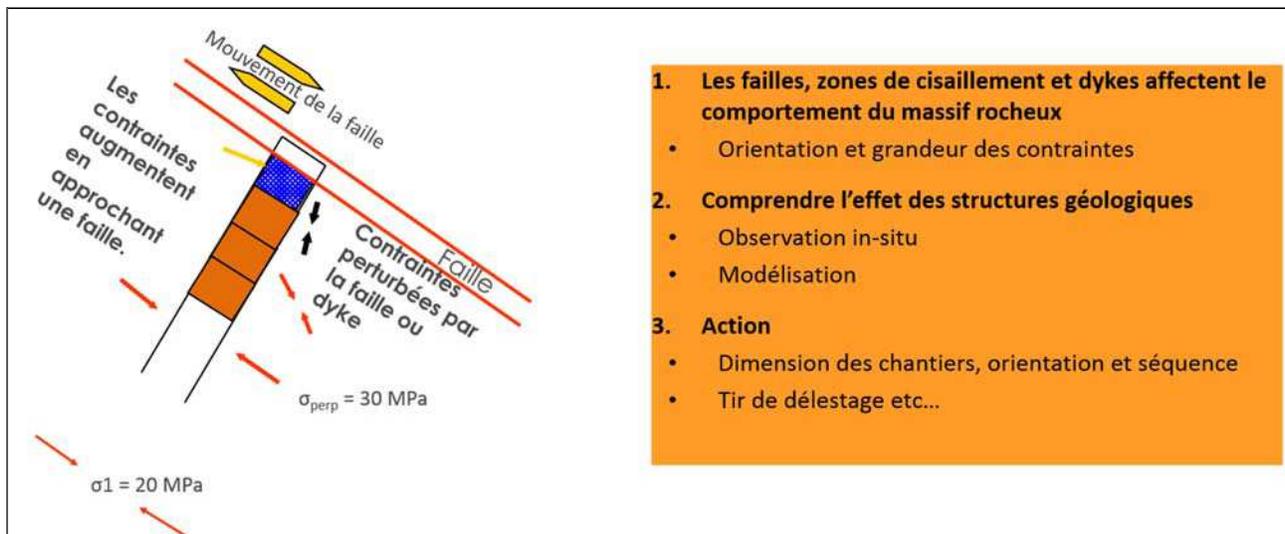


Figure 3 : Veines de quartz dans la galerie 132-02 TBE (Courtoisie CNESST)

2.2 Cause de l'accident

La cause directe de l'accident du 10 septembre 2017 est due à la différence de rigidité entre la faille Bousquet et celle du basalte silicifié où se situe le front de taille. Le basalte, plus rigide que la faille, a permis une augmentation des contraintes au fur à mesure que le front de taille approchait de la faille Bousquet. Le fonçage de la galerie 132-02 vers la faille Bousquet a en fait créé un effet de « pilier rétrécissant (diminishing pillar) », où le niveau des contraintes en avant du front de taille devint éventuellement supérieur à la résistance du massif rocheux (Figure 4). La silicification du basalte a permis un comportement de rupture fragile lorsque le niveau des contraintes accumulées a dépassé la résistance du massif rocheux. La rupture fragile du massif rocheux associée à la schistosité parallèle à la faille Bousquet et aux joints perpendiculaires à la schistosité a occasionné un coup de terrain avec éjection violente de roc par flambage des plans de schistosité.



6.3.1.1.1.3 Figure 4 : Représentation d'une galerie s'approchant d'une faille (Document interne SRK)

2.3 Avis sur les mesures d'atténuation utilisées à la mine Westwood

La faille Bousquet a été traversée à huit autres occasions par une galerie. Des problèmes de stabilité ont été rencontrés à deux reprises, lors du fonçage vers la faille Bousquet des galeries 132-02 et 180. La magnitude du coup de terrain du 10 septembre 2017 ne pouvait donc pas être anticipée. Lorsque le premier coup de terrain du 25 juillet est survenu, la mine Westwood a mis en branle les mesures d'atténuation et correctrices suivantes :

1. Longueur d'avancement des volées limitée à 2 m
2. Protocole sismique pour retour de 12 heures minimum
3. Documentation volée par volée de la sismicité et des conditions de terrains
4. Installation de soutènement additionnel pour des conditions dynamiques (devis 5) pour les deux volées précédant la volée non soutenue.
5. Lavage et écaillage de la volée non soutenue avec un Jumbo
6. Après l'écaillage, inspection par le département d'ingénierie pour établir un plan d'action pour la volée non soutenue.

Les mesures d'atténuation utilisées ont été partiellement efficaces. Le soutènement dynamique (devis 5) a contrôlé la rupture du massif rocheux suite au coup de terrain du 10 septembre 2017, car les volées précédant la volée non soutenue ont démontré peu ou pas de dommages. La diminution de la longueur des volées est une bonne pratique puisque cela limite la surface non supportée et permet une installation plus rapide du soutènement.

Le protocole sismique en place lorsque de la sismicité est observée rencontre les normes de l'industrie. Dans le cas qui nous concerne, la sismicité était négligeable du début du mois d'août jusqu'au 10 septembre, pouvant créer un faux sentiment de sécurité, puisque la sismicité indique que l'énergie emmagasinée dans le massif rocheux se libère. D'après mon expérience, suite à un coup de terrain ou un tir de délestage, si le front de taille est abandonné ou aucune activité de dynamitage n'a lieu pour une période relativement longue (plus de trois à quatre semaines), le massif rocheux peut emmagasiner à nouveau de l'énergie ce qui peut occasionner de nouveaux événements sismiques importants. En ce qui a trait à la galerie 132-02 TBE, une période de plus de cinq semaines d'inactivité opérationnelle et sismique, qui a permis l'accumulation d'énergie dans le massif rocheux, s'est écoulée avant le coup de terrain du 10 septembre. En s'assurant toujours que la sismicité est à un niveau acceptable pour minimiser les risques aux travailleurs, il est toujours préférable d'effectuer les travaux de réhabilitation le plus tôt possible après un coup de terrain, afin d'éviter l'accumulation d'énergie dans le massif rocheux. Il est aussi préférable d'avoir en place un soutènement pouvant dissiper l'énergie en cas de besoin.

Le premier plan de réhabilitation REHAB-17-1320-02-01 comprenant l'application de béton projeté (surtout du béton projeté avec fibre) sur la volée non soutenue aurait permis à tout le moins de contenir en partie le matériel éjecté. L'application de béton projeté devrait être immédiatement suivie par l'installation du soutènement selon le devis, et d'un soutènement du front de taille avec treillis métallique et boulon. Dans ce cas, à cause des conditions dynamiques, le plus important est de soutenir le massif rocheux le plus rapidement possible quitte à minimiser l'écaillage dans des conditions sismiques et dynamiques. L'utilisation de béton projeté sur le front de taille a le désavantage de couvrir les culots, donc un processus doit être développé pour remédier aux problèmes posés par les culots. Ce processus pourrait comprendre les points suivants :

- *Observation par [J] du front de taille d'une distance sécuritaire pour noter la position des culots sur un schéma*
- *Utilisation d'appareil photo pour photographier le front de taille*
- *Nettoyage et lavage du front de taille par laveuse à pression télécommandée*

La mine Westwood a sciemment planifié l'azimut de la galerie 132-02 TBE afin qu'il soit perpendiculaire à la faille Bousquet. Ceci est une bonne pratique admise dans l'industrie.

2.4 Autres mesures d'atténuation suggérées

Certaines des mesures d'atténuation suggérées sont des recommandations effectuées par [N1] de la mine Westwood. Voici les recommandations de [N1] :

1. *Déterminer les conditions favorables à l'activité sismique à l'approche de la faille Bousquet en effectuant les études suivantes :*

- a. *Cartographie souterraine des galeries ayant traversé la faille*
- b. *Établir une hypothèse pour expliquer la différence de comportement lors de la traversée de la faille*
- c. *Révision des carottes de forage en fonction de l'hypothèse*

- d. *Programme de forage préventif pour déterminer les zones à risque sismique élevé à l'approche de la faille Bousquet*
2. *Effectuer des forages additionnels pour mieux comprendre les caractéristiques géotechniques et géologiques à l'approche de la faille Bousquet*
3. *Faire des sondages exploratoires avant de traverser la faille*

Les recommandations de [NI] ont pour principal but d'identifier les conditions géologiques et géotechniques causant la sismicité à l'approche de la faille Bousquet. Ceci est une bonne approche si on considère qu'une différence de rigidité entre la roche encaissante et la faille Bousquet explique l'activité sismique, comme semblent l'indiquer la silicification du basalte et la présence de veines de quartz. Il faut également comprendre la composition de la faille (par exemple, celle-ci est-elle plus ductile, plus étroite ou plus large, etc.) afin de bien cerner l'écart de rigidité entre la roche encaissante et la faille Bousquet. Une différence importante dans la qualité du massif rocheux entre la faille Bousquet et la roche encaissante, exprimée en fonction de Bieniawski Rock Mass Rating (RMR), pourrait, par exemple, indiquer des conditions propices à la sismicité.

Donc les mesures proposées par M. [NI] devraient être implantées par la mine Westwood.

Présentement, il ne semble pas possible pour la mine Westwood d'identifier les zones à risque sismique à l'approche de la faille Bousquet à l'étape de planification lorsque les devis initiaux sont établis. Donc, de façon préventive, un protocole d'approche de la faille Bousquet à partir d'une distance prédéterminée devrait être mis en place et incorporé aux devis et plan de fonçage en incluant les éléments suivants :

- *Protocole sismique*
- *Longueur de volée réduite*
- *Soutènement dynamique (devis 5)*
- *Soutènement du front de taille*

3 Autres mesures potentielles d'atténuation

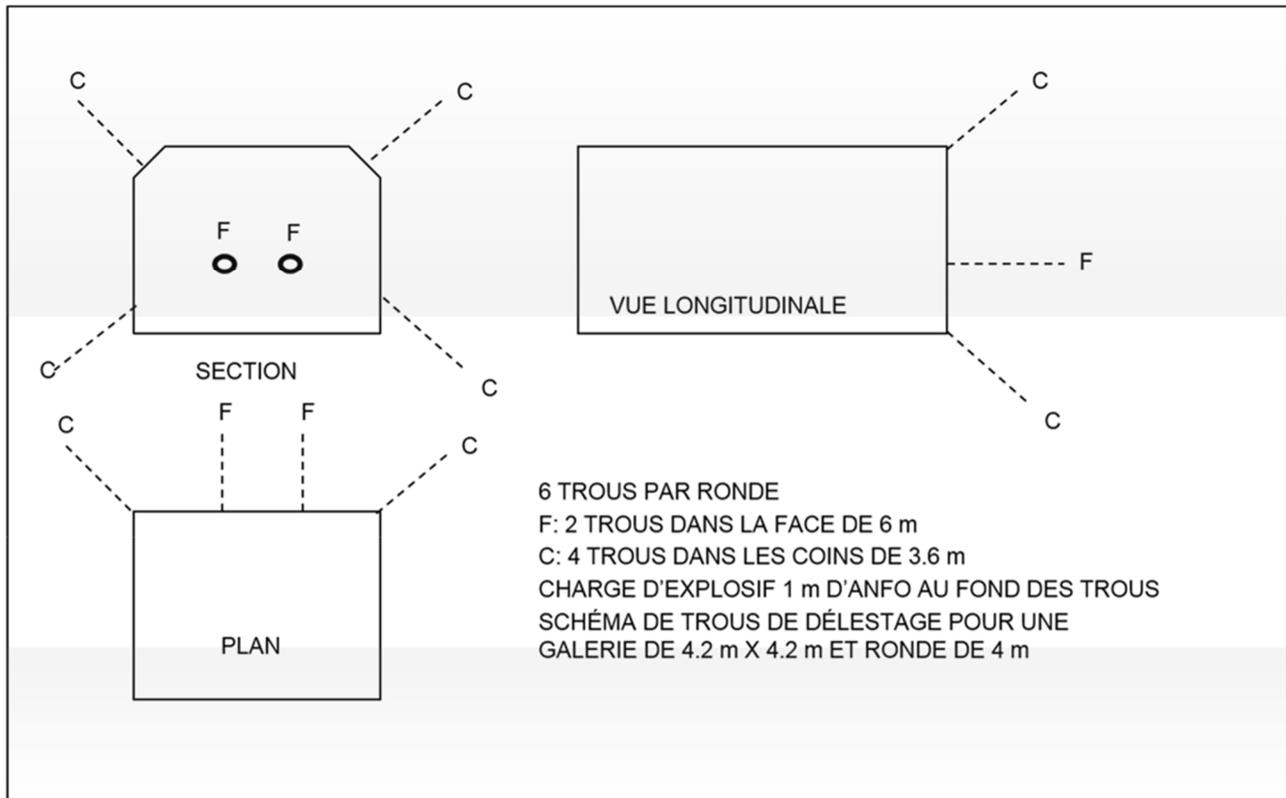
L'élimination du danger, la substitution ou les mesures d'ingénierie sont considérées comme les mesures préventives les plus efficaces.

En ce qui concerne l'élimination du danger (coup de terrain à l'approche de la faille Bousquet), une mesure préventive possible est de cesser de traverser la faille Bousquet depuis le nord-ouest de la faille, mais plutôt de foncer une rampe intérieure au sud-est de la faille en utilisant les accès déjà foncés au travers de la faille Bousquet.

Les mesures de substitution ne sont pas vraiment applicables dans le contexte du fonçage de galeries souterraines.

Par contre, plusieurs mesures d'ingénierie sont disponibles pour isoler les travailleurs du danger ou diminuer l'énergie disponible pour les coups de terrains, entre autres :

1. *Tir de délestages (voir la figure 5). Ce genre de tir permet de diminuer le niveau de contrainte en avant de la volée en ouvrant les joints existants ou en fracturant partiellement le massif rocheux. Ce tir se fait en même temps que le tir de développement, puisque les tirs de délestage sont forés au-delà de la volée. Cette technique rend problématique la création de culots. Si ceux-ci ne peuvent être vérifiés et nettoyés, une zone de 2 m autour du culot doit être exclue de forages, à moins d'avoir recours à des foreuses télécommandées avec caméra.*



6.3.1.1.1.4 **Figure 5 : Exemple de tir de délestages (Document interne SRK)**

2. *Équipement avec cabine ou cage pour protéger les travailleurs. Des cabines ou des cages peuvent offrir une protection aux travailleurs lors de tâches où l'exposition potentielle au coup de terrain est accrue. La cage ou la cabine peuvent stopper ou dévier les éclats de roches éjectés de la paroi rocheuse non ou partiellement soutenue. La Figure 6 illustre une cage utilisée pour les opérations de chargement d'explosif.*



6.3.1.1.1.5 **Figure 6 : Cage pour l'écaillage ou le chargement d'explosif. (Document interne SRK)**

3. *Équipement télécommandé. Le travailleur effectuant l'écaillage est exposé aux risques de coup de terrain ou de chute de blocs. Les écailleuses mécaniques avec cabine, comme celle illustrée à la Figure 7, diminuent l'exposition à ces risques en gardant le travailleur sous le soutènement et lui offrant une façon d'effectuer une retraite rapide si le besoin s'en fait sentir. Des boulonneuses jumbos (Figure 8) offrent les mêmes avantages que l'écailleuse mécanique en plus de pouvoir être télécommandé. L'opérateur de la boulonneuse jumbo se trouve à l'abri dans la cabine sous le soutènement et ne s'expose pas à des conditions périlleuses lors du forage des trous et lors de l'installation des boulons.*



6.3.1.1.1.6 **Figure 7 : Écailleuse mécanique. (Document interne SRK)**



Figure 8 : Boulonneuse jumbo (Courtoisie Atlas-Copco)

4. *Chargement d'explosif à distance. [OI] est décédé suite à une chute de bloc du front de taille lors du chargement d'explosif en janvier 2012 à la mine Coleman de Vale. Cet accident a incité Vale, en association avec Tesman, à explorer la possibilité de charger les explosifs à distance. Un prototype a été mis au point qui éloigne le boufeu du front de taille pour charger les explosifs. Une vidéo du prototype est disponible en suivant le lien ci- dessous. La compagnie Minecat (<http://www.minecat.com/media.php>) de Sudbury tente de commercialiser le produit. À ce jour, aucune opération n'utilise encore ce système de façon régulière.*

<https://www.youtube.com/watch?v=TYrnCpHJllg>

4 Extraction de minerai contre la faille Bousquet

Une partie des réserves se trouve contre la faille Bousquet. L'extraction de ces réserves pourrait éventuellement causer des évènements sismiques de même nature que ceux observés dans la galerie 132-02 TBE ou causer une réactivation la faille Bousquet. Il y a au moins deux façons de minimiser les risques associés à l'extraction du minerai près ou à l'aplomb de la faille Bousquet :

- *S'assurer que l'extraction du minerai commence à la faille Bousquet et s'en éloigne, créant ainsi une zone tampon de remblai entre la faille et les activités minières*
- *Laisser un pilier de minerai entre les chantiers et la faille Bousquet. Le minage de minerai devrait se faire à partir du pilier en s'éloignant de la faille Bousquet.*

Les méthodes d'atténuation de risques suggérées ci-dessus devront être évaluées rigoureusement à l'aide de modèles numériques afin de déterminer quelle méthode atténue le plus les risques et de déterminer l'impact qu'aura l'extraction du minerai sur la faille Bousquet.

5 Conclusions

Le coup de terrain du 10 septembre 2017 est associé à un contraste de rigidité entre la roche encaissante et la faille Bousquet. Le front de taille, en approchant de la faille Bousquet, a créé un pilier rétrécissant dans lequel les contraintes se sont accumulées jusqu'au point d'une rupture du massif rocheux causant le coup de terrain. Le délai de plus de cinq semaines entre le coup de terrain du 25 juillet 2017 et le début des travaux correctifs sur la portion non soutenue de la galerie 132-02 TBE a probablement contribué à l'accumulation des contraintes dans le massif rocheux entre le front de taille et la faille Bousquet, créant des conditions propices pour un coup de terrain.

Les mesures d'atténuation mises en place par la mine Westwood correspondent à ce qui se fait dans l'industrie mais n'ont pas permis d'atténuer les conséquences du coup de terrain du 10 septembre 2017. La partie soutenue de la galerie 132-02 avec le soutènement dynamique (devis 5) a résisté au coup de terrain du 10 septembre 2017. La recommandation de soutenir le front de taille avant de continuer le fonçage de la galerie était une bonne décision. Par contre, l'application de béton projeté, comme initialement proposé suite au coup de terrain du 25 juillet 2017, aurait pu dissiper une partie de l'énergie libérée par le coup de terrain du 10 septembre 2017 et diminuer l'impact de l'évènement.

Les futures mesures d'atténuation proposées par la mine Westwood consistent à tenter d'identifier les caractéristiques spécifiques de la roche encaissante et de la faille Bousquet pouvant créer les conditions propices à de l'activité sismique. Effectuer des forages exploratoires avant de traverser la faille Bousquet permettra de mieux caractériser les conditions géologiques et géotechniques à l'approche de la faille Bousquet. Ces mesures d'atténuation sont encouragées afin de pouvoir éviter les zones à risque sismique élevé. Par contre d'autres mesures d'atténuation devraient être explorées en parallèle qui pourraient être mises en application plus rapidement tel que :

- *Foncer une rampe d'accès au sud-est de la faille Bousquet et ainsi en éliminer la traversée à chaque niveau.*
- *Considérer l'utilisation de tir de délestages dans les zones à risque sismique élevé*
- *Utiliser de l'équipement avec cage ou cabine*
- *Utiliser de l'équipement télécommandé dans les zones à risque sismique élevé*
- *Établir un protocole de contrôle de terrain débutant à une distance prédéterminée à l'approche de la Faille Bousquet comportant entre autres :*
 - *Des longueurs de volées réduites*
 - *Un protocole sismique*
 - *Du soutènement dynamique*
 - *Le soutènement du front de taille*

Finalement, l'extraction des réserves à l'aplomb de la faille Bousquet pourrait créer des conditions favorables pour de l'activité sismique qui requerra des mesures d'atténuation spécifiques telle l'extraction du minerai en s'éloignant de la faille ou la création de piliers protecteurs.

6 Documents consultés

IamGold Mine Westwood. 2017. Rapport d'analyse Évènement sismique 132-2 TB Est # 2. 25 juillet 2017.

IamGold Mine Westwood. 2017. Présentation Évènement sismique 132-02 TB Est 2. 10 septembre 2017.

IamGold Mine Westwood. 2017. Courriel interne, Compte rendu ADR 1320-02 TB E # 2. 11 septembre 2017.

IamGold Mine Westwood. 2017. Description géologique du secteur 132-02 TBE.

IamGold Mine Westwood. 2017. Plan d'intervention Action Réponse (PIAR) #2 Gestion de la sismicité locale et développement pneumatique.

IamGold Mine Westwood 2017, Registre de contrôle de terrain.

IamGold Mine Westwood. ESG report 132-2 TBE, juillet à novembre 2017. Knight

Piésold. 2016 Avis de [NI], novembre 2016.

Knight Piésold. 2017. Avis de [N1], juillet 2017. Knight Piésold.

2017. Avis de [N1], octobre 2017.

Golder Associates. 2009. Technical Memorandum. Bousquet Fault Rock Mass Quality Assessment and Ground Support Recommendations. July 2009.

Golder Associates. 2008. Technical Memorandum. Bousquet Fault Characterization. October 2008.

Golder Associates. 2009. Technical Memorandum Bousquet Fault Rock Mass Quality Assessment and Ground Support Recommendations. July 2009.

Golder Associates. 2010. Mémorandum technique. Sondage et contrôle des venues d'eau lors de l'excavation de la galerie à travers de la faille Bousquet, novembre 2010.

7 **Références**

Bieniawski ZT. 1989. Engineering Rock Mass Classifications. New York: Wiley.

6.3.1.1.2 Rédigé par

*Denis Thibodeau, PhD, Ing. numéro de membre 123951
Conseiller principal (géomécanique)*

6.3.1.1.3 Contrôlé par

*Benny Zhang, PEng
Conseiller principal*