OPTIMISATION DES MURS FINAUX DE FOSSE EN TENANT COMPTE DE L'ENDOMMAGEMENT CAUSÉ PAR LE SAUTAGE

48E SESSION D'ÉTUDE SUR LES TECHNIQUES DE SAUTAGE

Présentée par Carl Gravel – 31 octobre 2025

« Pourquoi pas un mur vertical? »

si la profondeur de la mine dépasse 25 m (82 pi), la géométrie des fronts de taille et des parois doit être déterminée de façon à assurer leur stabilité, et les opérations de forage et de sautage doivent être contrôlées de façon à ce que la géométrie prévue des fronts de taille et des parois puisse être maintenue;

RSSM article 41.5

Photo Inmet - Mine Troilus

Processus d’optimisation

1. Évaluation du potentiel d’optimisation
    1. Largeur banquette minimum
    2. Évaluation du risque
    3. Conformité des murs
2. Revue de la conception de pente
    1. Hauteur de bancs
    2. Largeur de banquette de captage
    3. Angle de bancs
3. Considérations pour l’amélioration des tirs à proximité des murs

Photo WSP – Mine Gahcho Kué

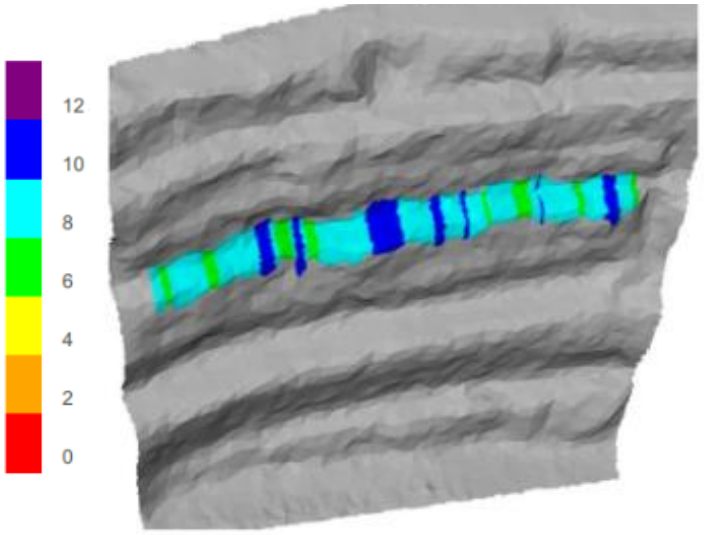
Évaluation du potentiel d’optimisation

Carrière Bedford (Graymont) – Photo WSP

Critère d’acceptabilité

- ❑ Conforme: Largeur de banquette minimum obtenue
- ❑ Partiellement conforme: 80% de la largeur de banquette minimum obtenue

Critère: 50 à 80% du temps selon le niveau de risque et mesures de mitigation.



Au Québec, il est interdit de travailler sous des banquettes remplies ou inefficaces pour contenir les chutes de blocs

Largeur de banquette minimum

Critère de Ritchie Modifié

Largeur = 4,5 m + 0,2*hauteur

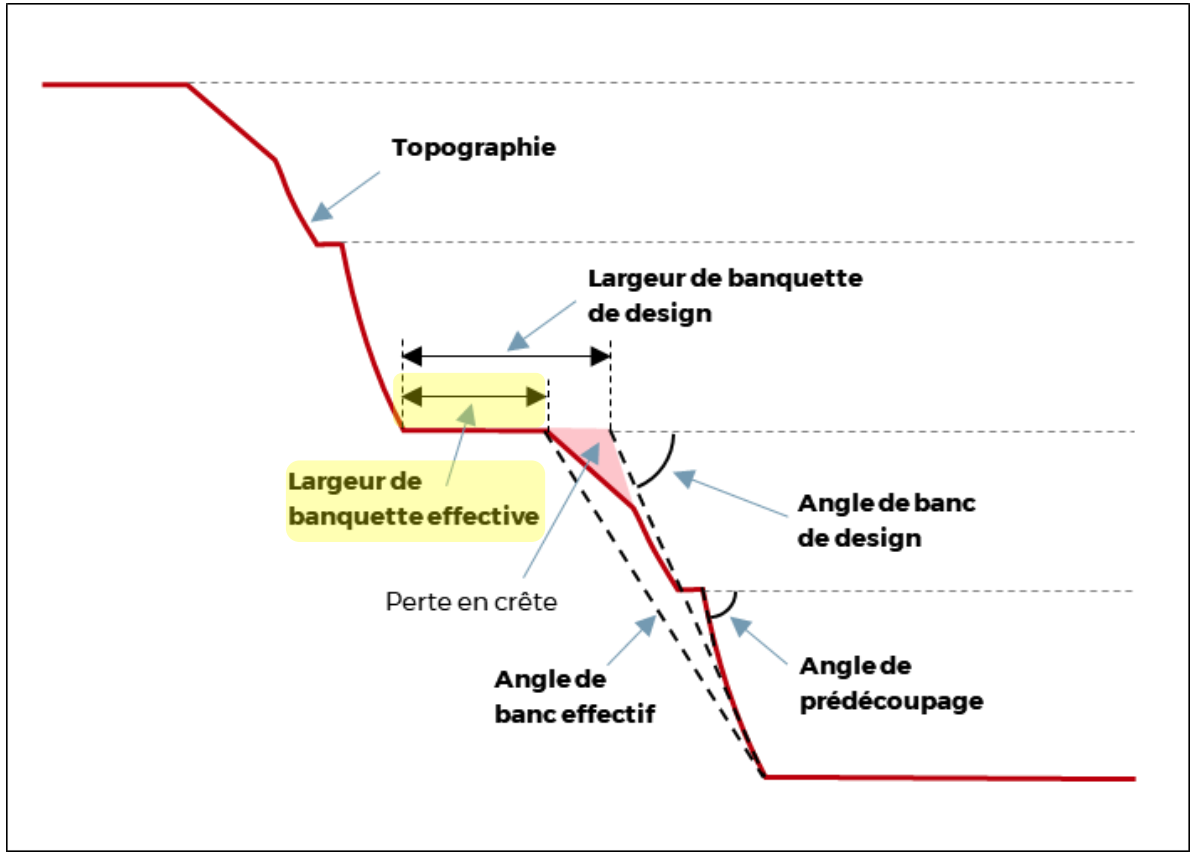


Photo WSP

Certaines provinces au Canada demandent une banquette minimum de 8 m

Évaluation de risque

Table 7. Slope classification system for mine walls

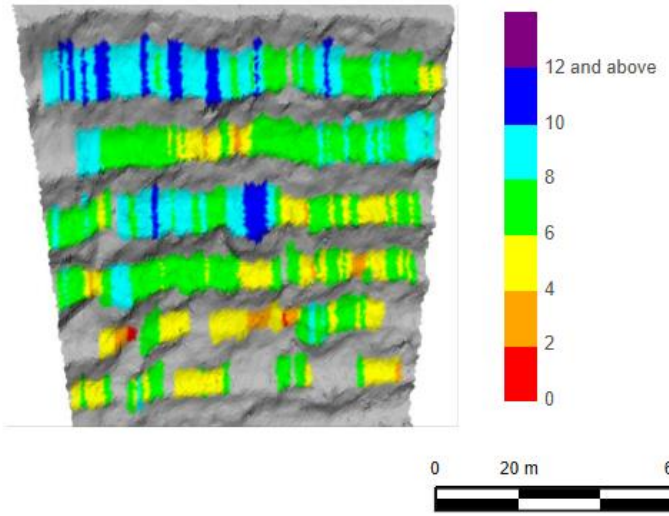
		Rock Hazard Rating – RHR' (minimum = 1, maximum = 100)			
		3 points	9 points	27 points	91 points
Slope height (m) without efficient rockfall catchment[1]		11 m	22 m	33 m	> 33 m
Multi-bench stack catch bench condition[2]		Benches > L horizontal and without accumulation	Benches > L with limited material accumulation	Benches > L with some material accumulation	Benches < L or > L with significant material accumulation or bench inclination > 20 toward the road
Clear zone catchment efficiency		> L with ditch or berm	> L	< L with ditch or berm	< L
Slope condition	Case 1 – final walls	Massive; most pre-split half holes are visible; no blocks formed	>50% visible half-holes	<50% visible half-holes	Heavily damaged by blasting
			Small blocks visible	Very blocky	Overhang
			Continuous structure with limited rockfall potential	Very fractured and friable	Dislocated mass
	Case 2 – stability concerns[3]	Visible block, but stable	Assessment suggest FS > 2.	Uncertainty in assessment results or 1.3 < FS < 2. Adequate monitoring	FS < 1.3 Or inadequate monitoring implemented
Presence of loose blocks		None	Small blocks	One block larger than 0.5 m in diameter	Many blocks larger than 0.5 m in diameter
Block size, or		< 0.3 m	0.3 to 1 m	1 to 3 m	> 3 m
quantity of rock fall event		3 m^3	6 m^3	9 m^3	12 m^3
Rockfall history		None	Some accumulation over several years	Several rockfalls per seasons (e.g., when it rains, after the blast)	Regular rockfalls or instance of a major rockfall that could repeat
Exposition		Closed area	Secondary road	Haul road or other frequently used road Exposition on foot rare	Operating floor or permanent station where employees on foot are present

Source: Modified from Wyllie (2004). [1] The operating benches at the mine are 11 m high
[2] L = Modified Ritchie Width = 0.2*Height (m) + 4.5 m. [3] FS = Factor of Safety

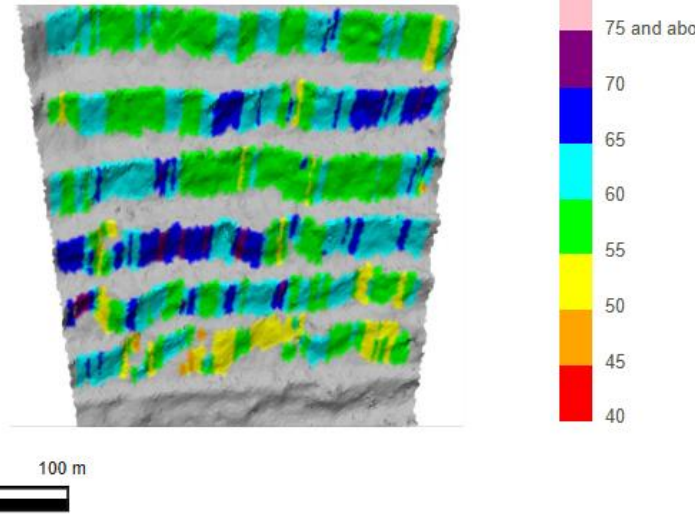
(Gravel et al., 2025)

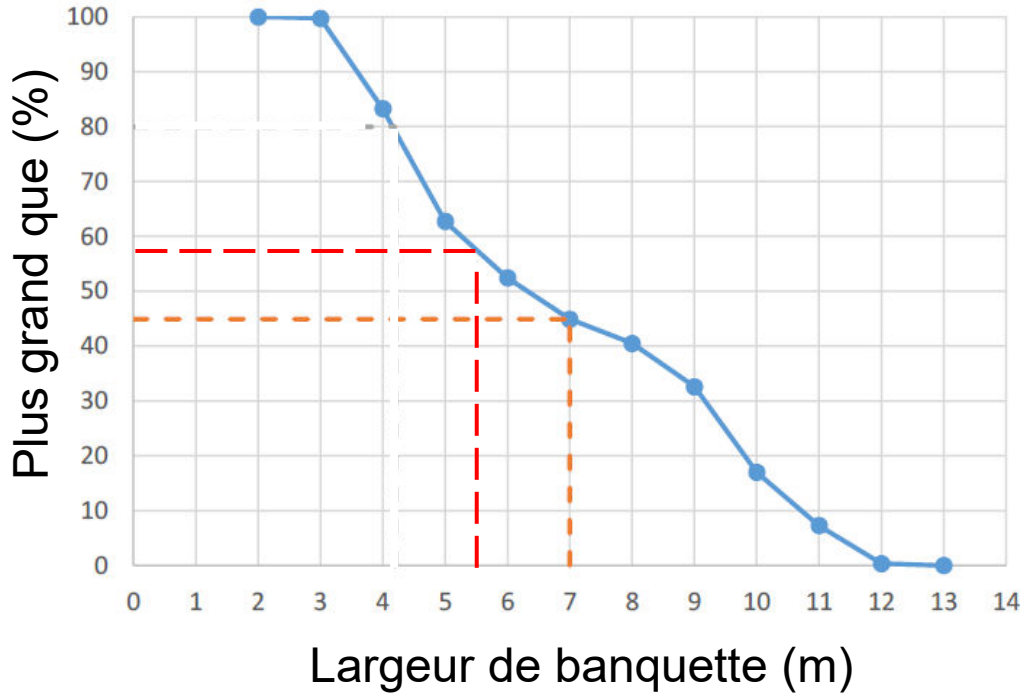
Revue de conformité – Exemple

Largeur de banquette effective



BFA effectif





Critère	Évaluation de conformité	Cible
Largeur de banquette effective vs banquette minimale (7 m)	45%	80%
Largeur de banquette effective vs 80% banquette minimale (5,5 m)	57%	100%

Optimisation de la conception de pente

Potentiel d’exploitation multi-banc

Aucun travailleur ne peut effectuer un travail sur un front de taille ou se trouver à un niveau inférieur près d’un front de taille ou d’une paroi, à moins que ce front de taille ou cette paroi n’ait été préalablement purgé de toute roche susceptible de s’en détacher

Article 41.4 RSSM

- Paroi à évaluer par un ingénieur en géotechnique ou son représentant

Mine Tio
(Rio Tinto) – Photo WSP

Optimisation de la largeur de banquette

Critères empiriques de largeur de banquette minimum

Mur irrégulier avec potentiel de projections (tremplins) et un haut potentiel de chute de blocs	5 m + 0,25H
Conditions de mine typique (Critère Ritchie Modifié)	**4,5 m + 0,2H**
Face régulière avec faible potentiel de chutes de blocs	4 m + 0,15H
Face régulière en excellente condition avec faible potentiel de chutes de petits blocs uniquement.	4 m + 0,1H

H = hauteur du mur; applicables pour des BFA > 65°

Major et al. (2022)

Le critère est habituellement fixe pour toute la mine

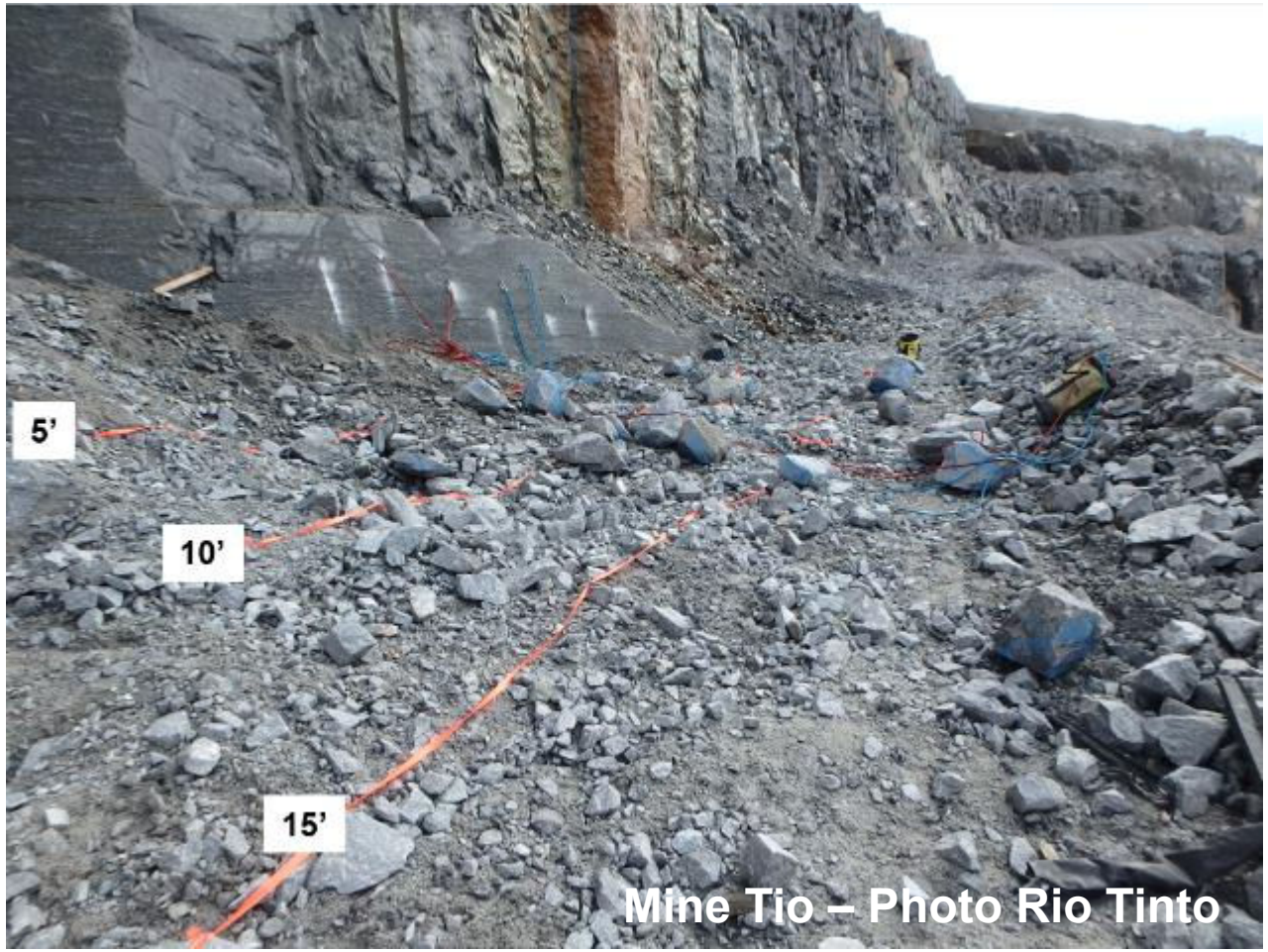
Optimisation de la largeur de banquette

- Essai in situ de chutes de blocs (image de droite)
- Analyses probabilistiques de trajectoires de chutes de blocs

% Captage des blocs

	Risque faible	Risque modéré	Risque élevé
1er banc	70%	80%	90%
2e banc	80%	95%	>95%
Tout le mur	> 95%		

Non publié – critères typiques de l'industrie minière



Exemple pour un mur de 20 m de hauteur: banquette de 6 m parfois acceptable

Optimisation de l’angle de banc

Considérations générales

Angle de face de banc sans contrôles structuraux:

- Sautage de production standard: 55-65°
- Sautage contrôlé: 65°-70°
- Sautage avec meilleures pratiques mises en place: 70°-75° ou mieux

Mes observations

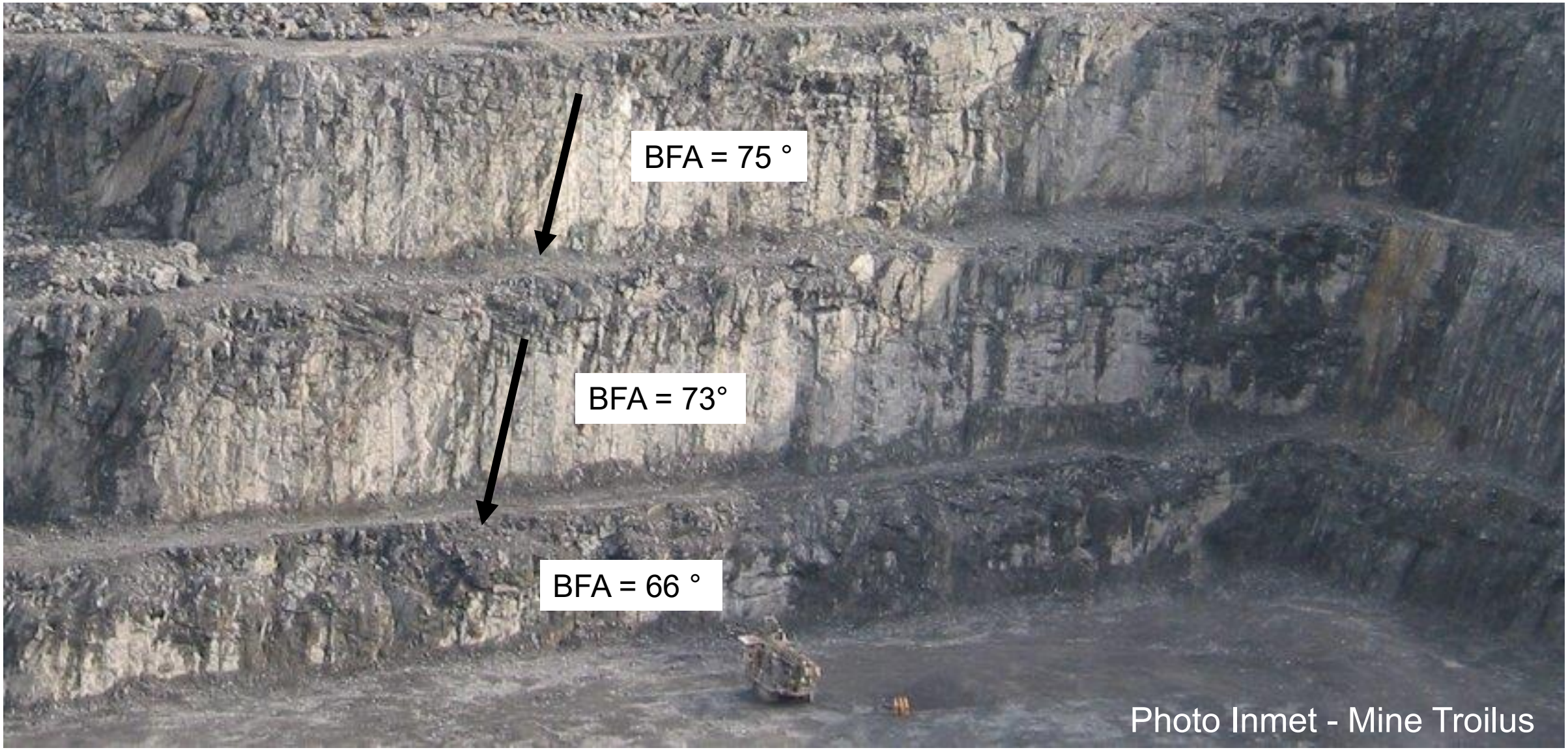
<u>Carrières des basses terres du st-laurent</u>

- Sautage de production: 70-75°
- Sautage avec meilleures pratiques mises en place: 75°-80°

<u>Roches très dures (ie roches du bouclier canadien)</u>

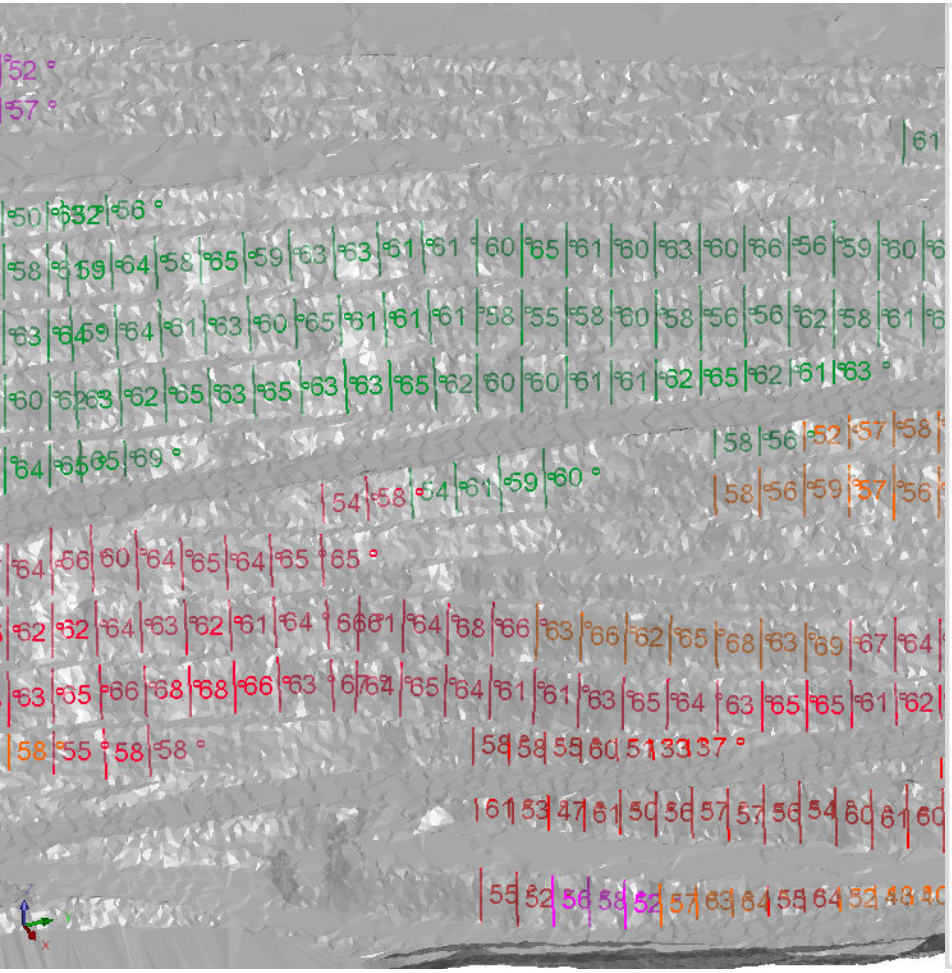
- Sautage avec meilleures pratiques mises en place: généralement 70°-75° effectif.
- Pertes sur les structures mineures et effet du sautage très variable
  - ➢ Une évaluation quantitative des résultats réels est requise!

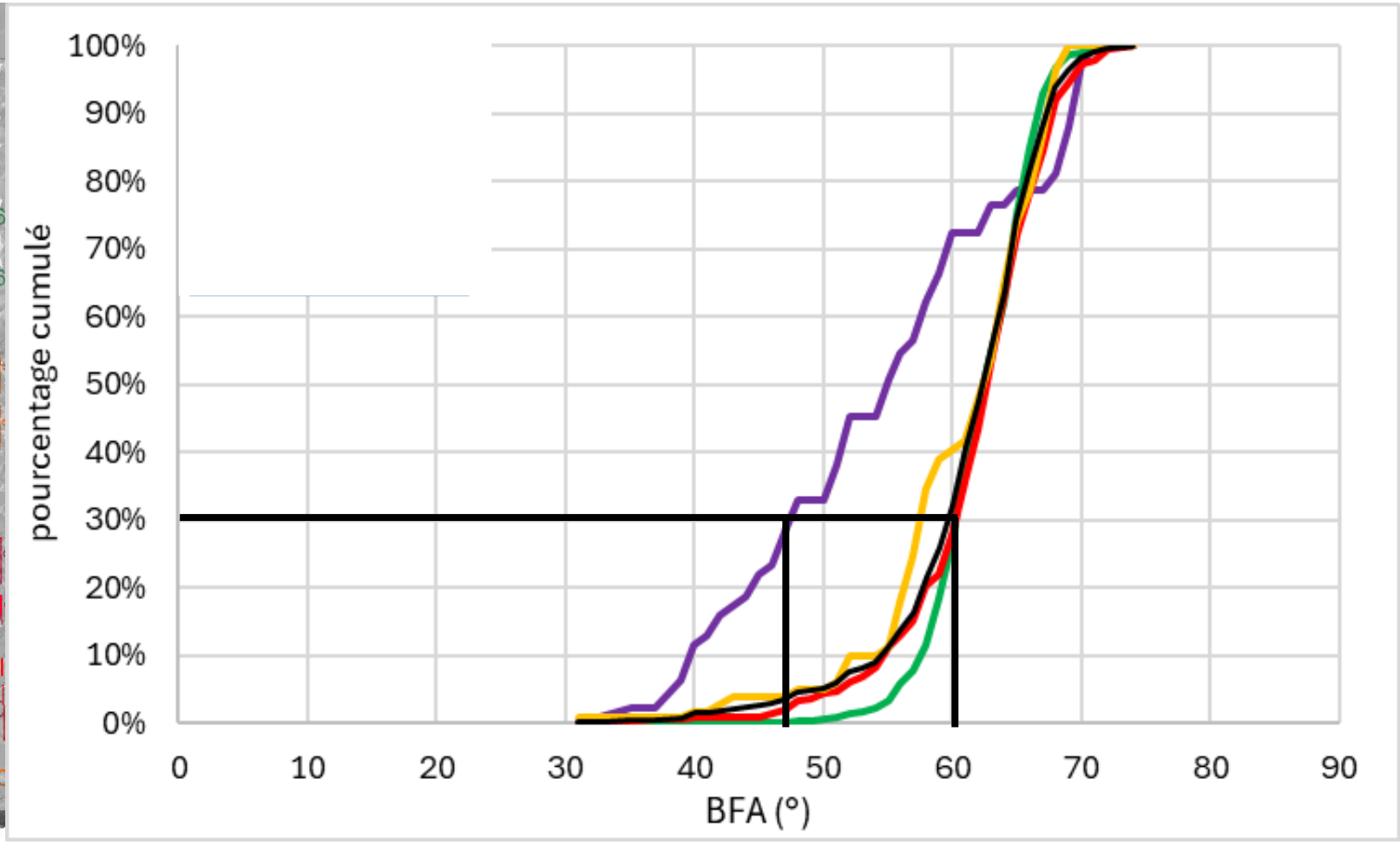
Exemple - Effet de la mise en place



Doit être basé sur une revue quantitative des angles de face de banc obtenus

Exemple de mesure de l’angle de banc





BFA de 60° ou plus obtenus 70% du temps

Exemple d’augmentation de BFA

Revue de performance

Revue de performance - Exemple 1

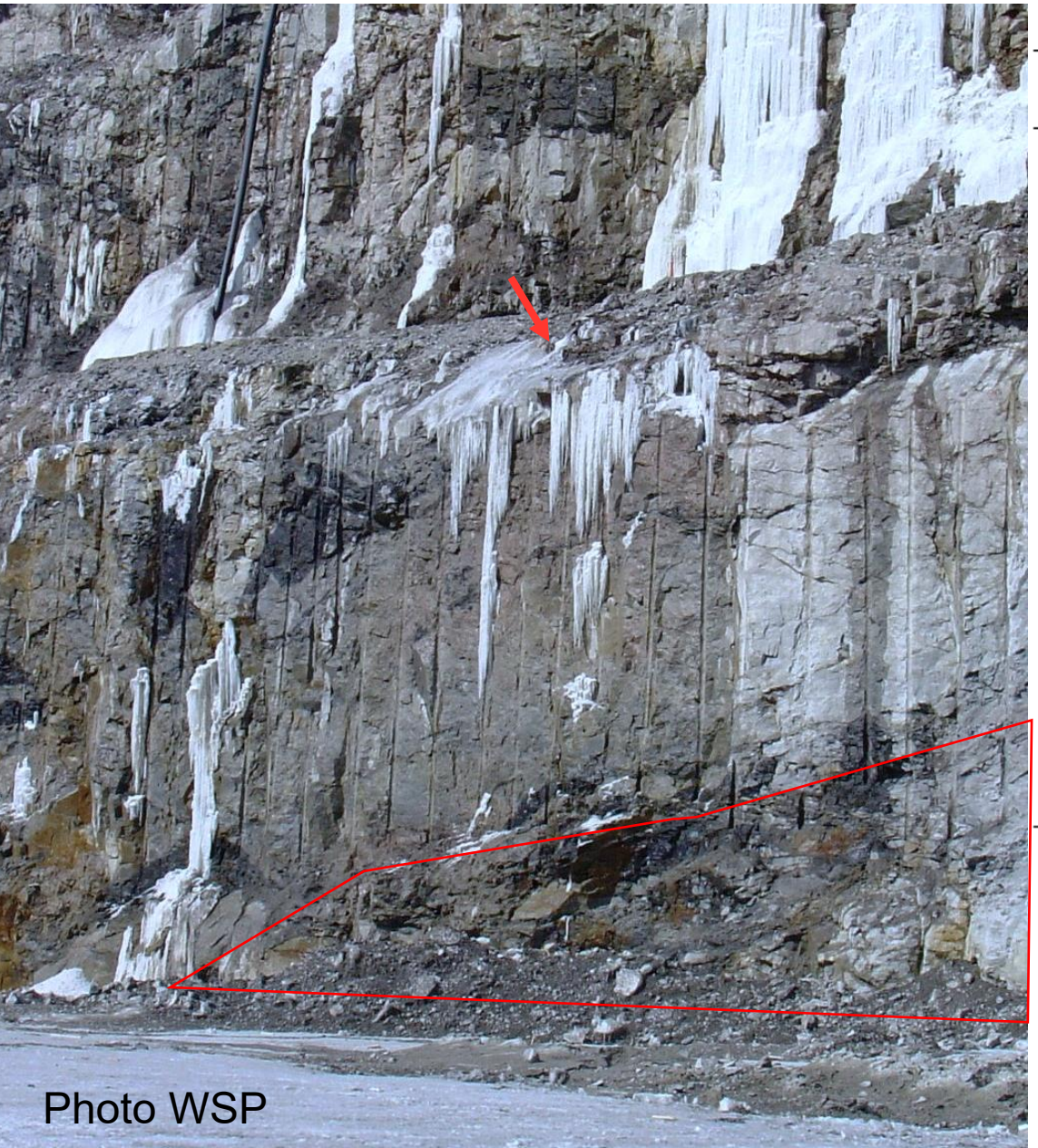


Photo WSP

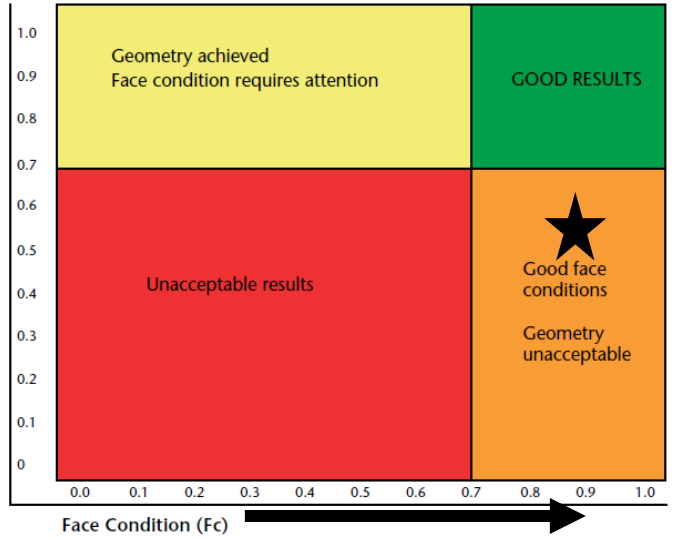
Face condition (Fc)

Component (weighting)	Assigned values		Comments
Half-barrels visible (20%)	≥80%	20	If half-barrels only visible in lower part of bench reduce by 5–10 points
	70–80%	15	
	60–70%	12	
	50–60%	8	
	30–50%	5	
	10–30%	2	
	<10%	0	
Intact rock breakage (15%)	<1/m3	15	Subjective evaluation, interpolate between 0–15
	>5/ m3	0	
Open joints (10%)	All closed – 10	10	Subjective evaluation, interpolate 0–15
	Many moved – 0	0	
Loose material on face (20%)	No blocks	20	Assess in terms of rockfall hazard
	Few small blocks	15	
	Large blocks	10	
	Many blocks	0	
Face profile (20%)	Straight	20	Shape of face and basis for variations
	Hard toe	10	
	Overhang crest	5	
	Irregular face	0	
Crest condition(15%)	Achieved	15	For loose rock on crest deduct 0–5 points more
	<1 m loss	12	
	1–2 m loss	10	
	2–3 m loss	5	
	>3 m loss	0	

Design achievement (Df)

Component (weighting)	Assigned values		Comments
Bench face angle (50%)	≥ Design	50	Achieved overall bench face angle relative to design
	Design –3°	25	
	Design –5°	10	
	Design –10°	0	
Bench width (40%)	≥ Design	40	Achieved average bench width relative to design
	Design –1 m	35	
	Design –2 m	25	
	Design –3 m	15	
	Design –5 m	0	
Toe position (10%)	On design	10	Is design toe is being achieved
	Design –1 m	8	
	Design – m	5	
	Design –3 m	3	

Améliorer Mise en place



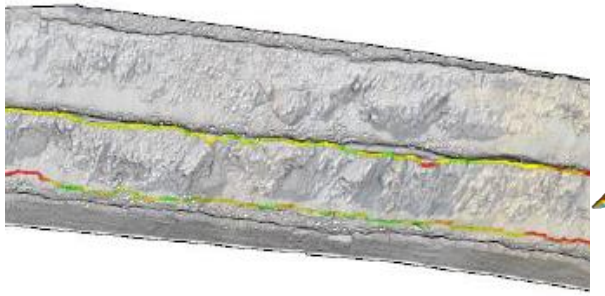
Améliorer conception sautage

Revue de performance – Exemple 2

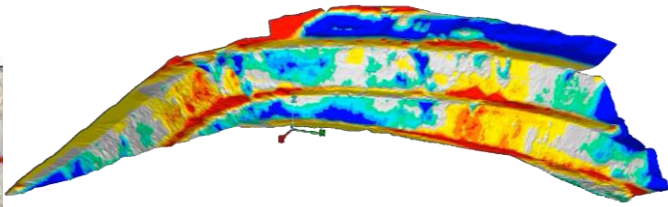
Évaluation Post sautage – Performance

Critère	Évaluation	Cible
Position pied vs design	26%	80%
Recul de la crête	35%	80%
Condition face	33%	80%
Condition du plancher	98%	80%

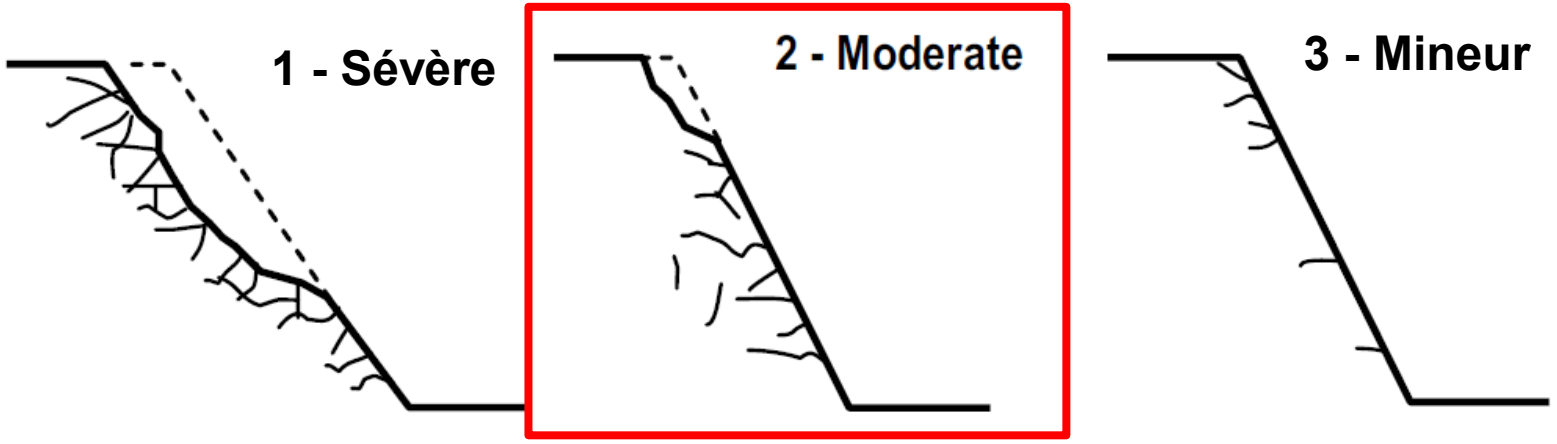
Position crête et pied vs design

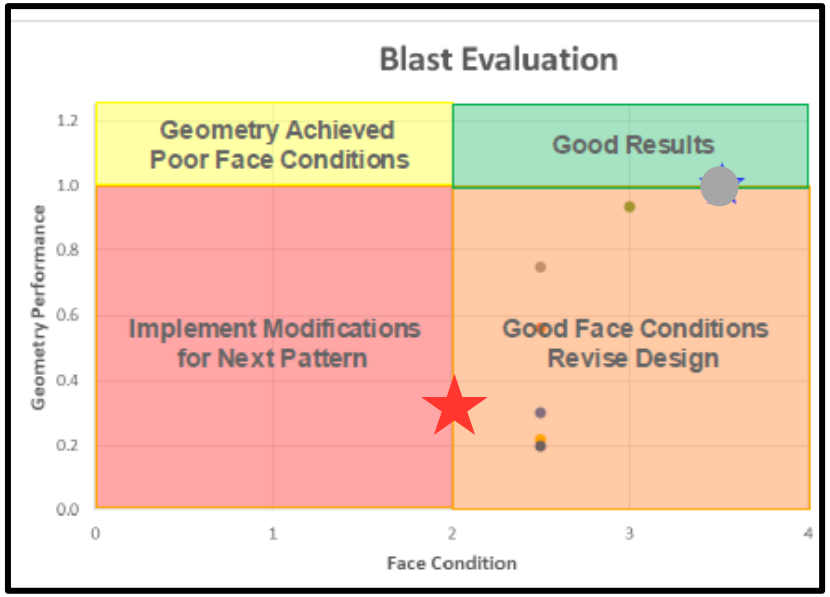


Position face vs design



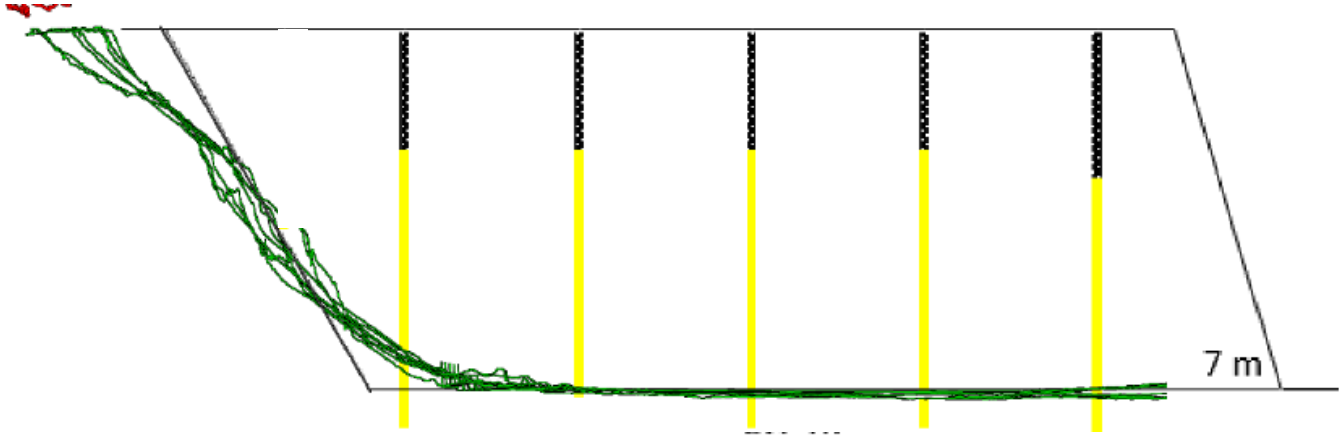
Évaluation Post sautage – Condition de la face



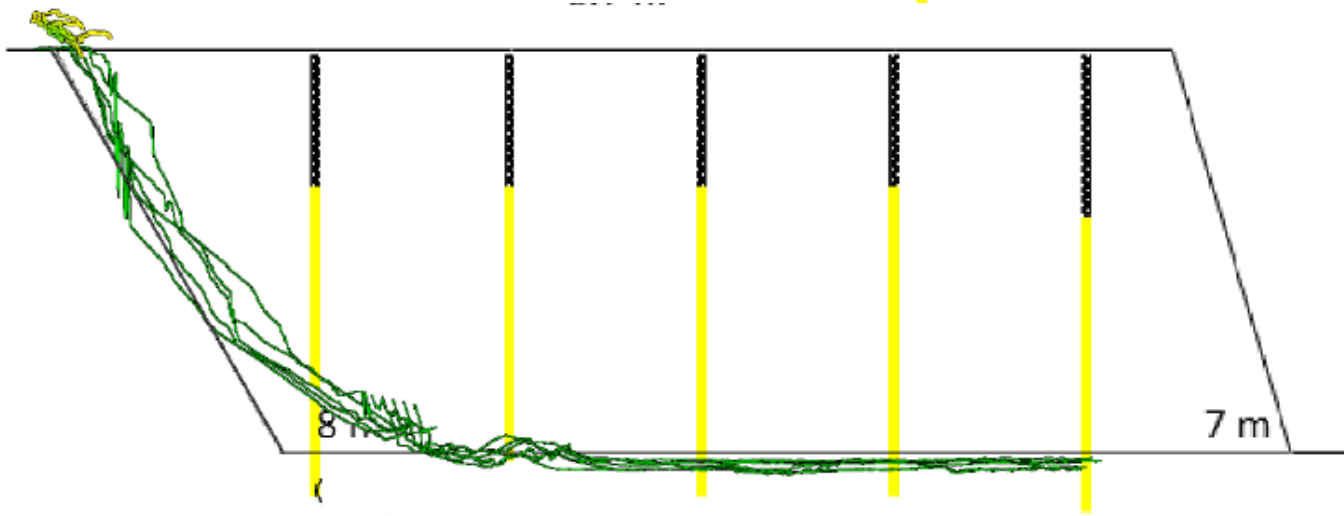


Revue de performance – Exemple 3

Résultat initial

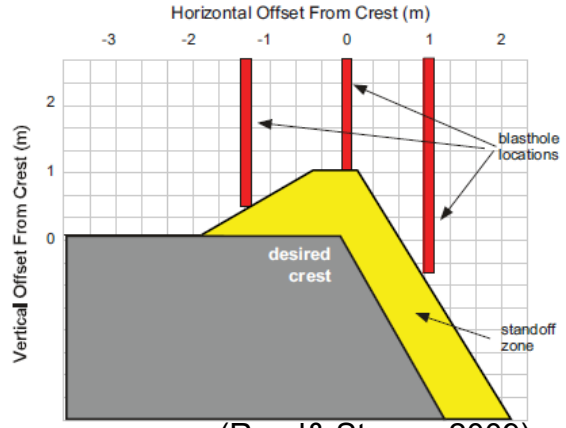


Après ajustements



Considérations pour l’amélioration des tirs contrôlés à proximité des murs

Considérations pour l'amélioration des tirs contrôlés à proximité des murs

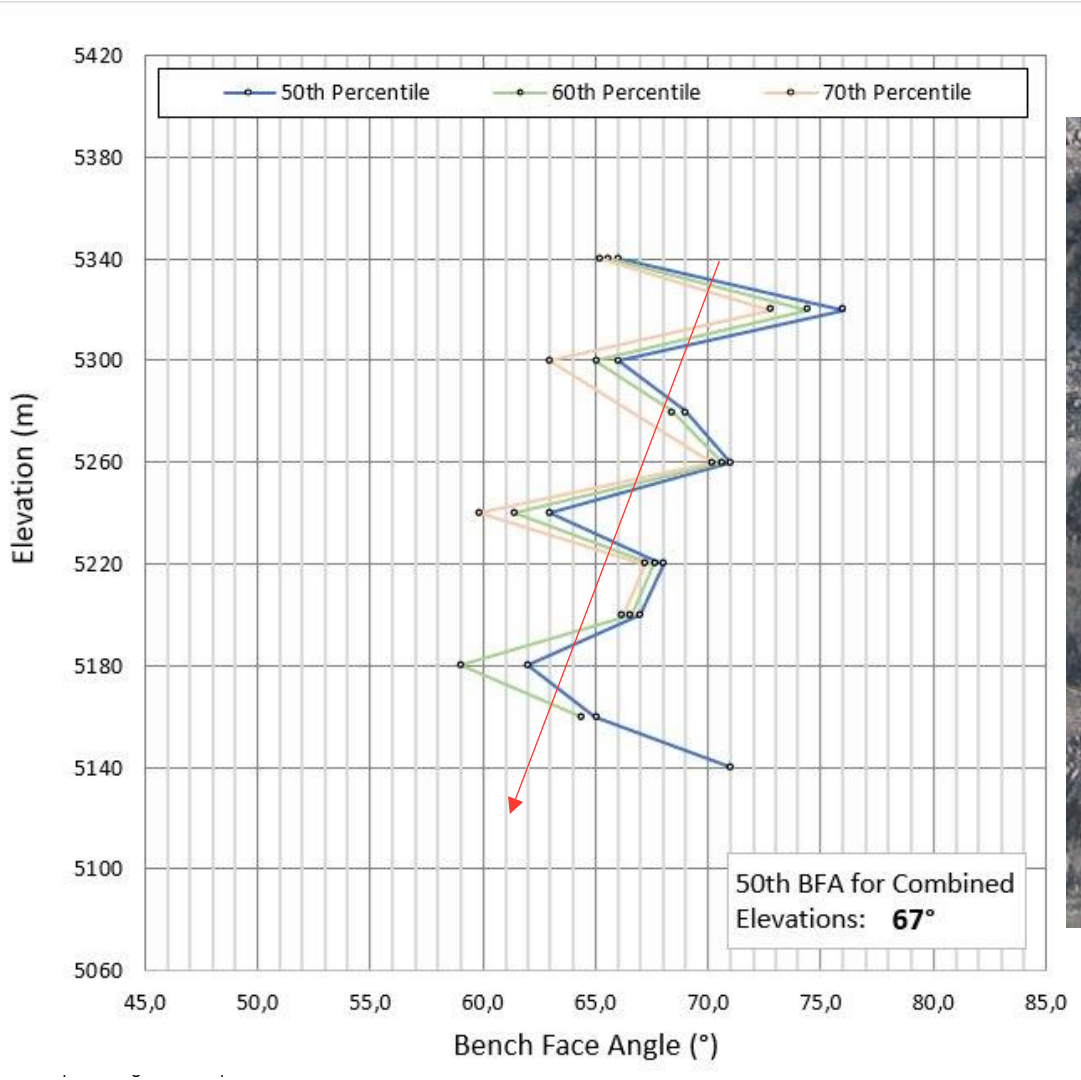


(Read& Stacey, 2009)

- Éliminer le sous forage au-dessus de la banquette
  - Considérer le sous-forage négatif au dessus de la crete du banc (image de droite)
- Mesurer la profondeur des forages pour vérifier l'absence de surforage opérationnel (par l'opérateur immédiatement après le forage).
- Mesurer et confirmer chargement.

Discussion

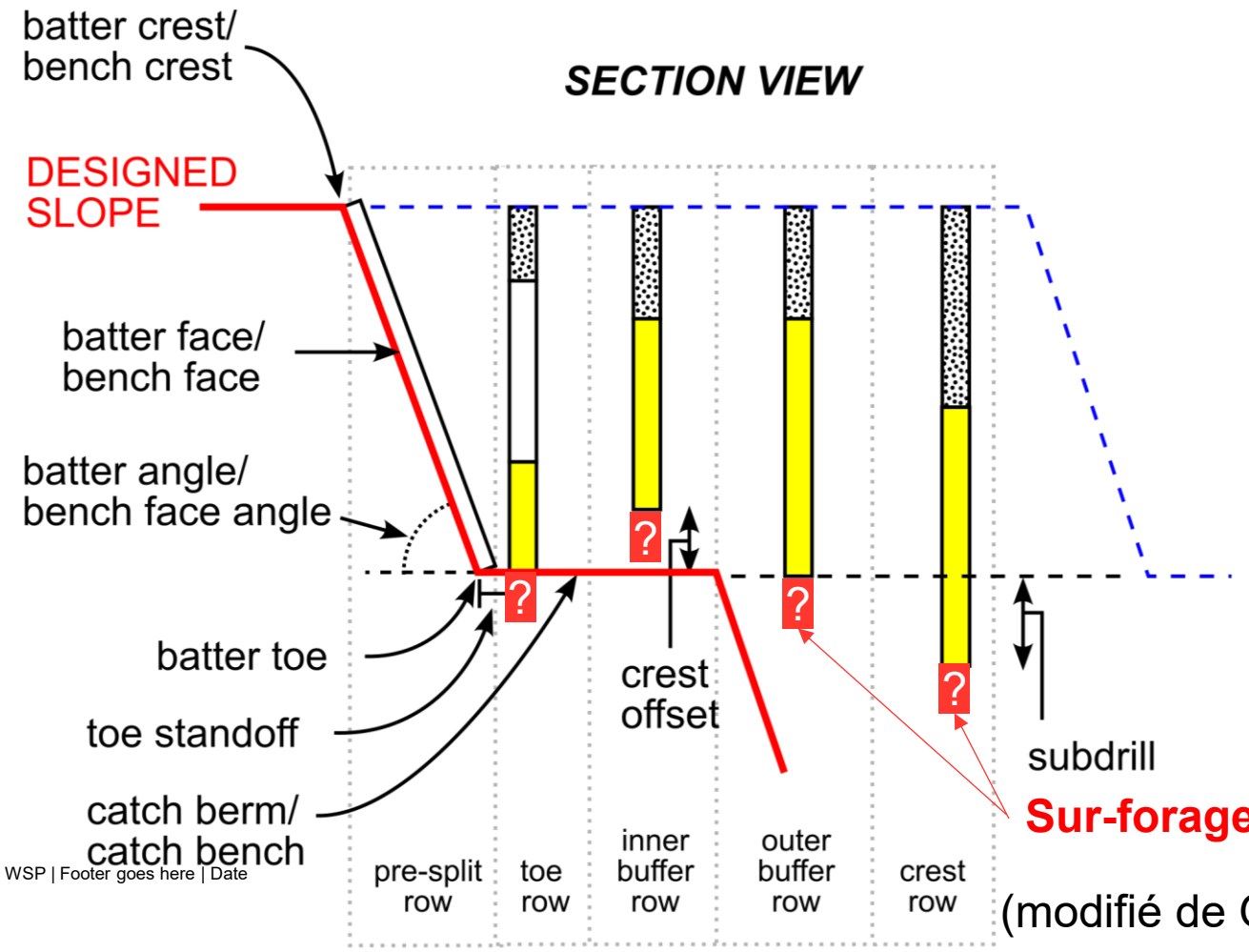
Plusieurs opérations montrent une réduction des BFA en profondeur
- Contre intuitif



Explication possibles

- Présence accrue d'eau (plus difficile de charger les trous, nécessite des explosifs à émulsion)
- Réduction de la taille du plancher – plus de contraintes opérationnelles? Les mesures de bonne pratique sont éliminées par exemple:
  - Direction de tir non optimale
  - La séquence ne permet pas un tir adoucis avec un nombre de rangée réduite - Mur excavé avec le tir de masse.
  - Matériel en face du sautage périphérique non retiré. Le sautage est confiné.
- Effet des pratiques d'excavation - Sur-excavation des crêtes, sous-excavation des pieds/matériel laissé aux pieds

Explication possible – Sous forage/Sur-forage



(modifié de GCE 2024)

Conclusions (1/2)

- L’amélioration des pratiques opérationnelles peu permettre une augmentation des angles de pente.

- L’optimisation dépend de plusieurs intervenants:
  - Équipe géotechnique/Géologie
  - Planification minière
  - Forage/Sautage
  - Nettoyage/Écaillage.

Conclusions (2/2)

Pour assurer des conditions de travail sécuritaires, et optimiser la conception de pente, il faut:

1. Protéger les murs pour améliorer la condition de la face
   - Limite la génération de chutes de blocs et les projections
2. Maximiser la largeur de banquette **effective**
   - Limiter les pertes en crêtes et maintenir la géométrie du plancher et la position du pied.

Merci!
Graymont
Rio Tinto
Troilus
DeBeers
SEEQ
Question?
Carl.gravel@wsp.com
wsp.com/mining