

Institut de Recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail

PhareSST

Guides

Guides et fiches

2008

Guide de conception des chutes à minerai

Jean-François Lessard

John Hadjigeorgiou

Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/guides>

Citation recommandée

Hadjigeorgiou, J. et Lessard, J. F. (2008). *Guide de conception des chutes à minerai* (Guide n° RG-549). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Guides par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

É

Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches

GUIDE RG-549



Guide de conception des chutes à minerais

*John Hadjigeorgiou
Jean-François Lessard*



Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES

Mission *travaillent pour vous !*

Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.

Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.

Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

Pour en savoir plus

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour.

De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement. www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine Prévention au travail, publié conjointement par l'Institut et la CSST. Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal

Bibliothèque et Archives nationales
2008

ISBN : 978-2-89631-237-5 (version imprimée)

ISBN : 978-2-89631-238-2 (PDF)

ISSN : 0820-8395

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : 514 288-1551
Télécopieur : 514 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

Institut de recherche Robert-Sauvé
en santé et en sécurité du travail,
février 2008



Sécurité des outils, des machines et des procédés industriels

Études et recherches



GUIDE RG-549

Guide de conception des chutes à minerai

Avis de non-responsabilité

L'IRSST ne donne aucune garantie relative à l'exactitude, la fiabilité ou le caractère exhaustif de l'information contenue dans ce document. En aucun cas l'IRSST ne saurait être tenu responsable pour tout dommage corporel, moral ou matériel résultant de l'utilisation de cette information.

Notez que les contenus des documents sont protégés par les législations canadiennes applicables en matière de propriété intellectuelle.

*John Hadjigeorgiou et Jean-François Lessard
Département de génie des mines,
de la métallurgie et des matériaux,
Université Laval*



Cette publication est disponible
en version PDF
sur le site Web de l'IRSST.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSS

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document
ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

TABLE DES MATIÈRES

1	Introduction.....	1
2	Méthodologie de conception des chutes	1
2.1	Objectif	1
2.2	Méthodologie de conception.....	2
2.3	Évaluation des contraintes statiques et dynamiques	2
2.4	Mise en place d'un système de monitoring	3
2.5	Mise en place de consignes opérationnelles	3
2.6	Méthode de déblocage des chutes.....	3
3	Types de chutes.....	3
3.1	Chutes pour le contrôle du niveau de matériau dans les cheminées	3
3.2	Chutes pour le chargement de camion ou de wagons	5
4	Types de porte contrôlant l'ouverture de la chute	8
4.1	Rideaux de chaînes de contrôle.....	8
4.2	Portes pivotantes « Arc gate »	11
4.3	Lèvres pivotantes (lips).....	12
4.4	Portes d'acier solides (crash doors).....	13
4.5	Système d'actionnement pneumatique et hydraulique.....	14
5	Configurations des systèmes chutes/cheminées.....	15
6	Règles de conception des chutes à minerai.....	19
6.1	Dimensionnement de l'ouverture.....	20
6.2	Inclinaison de la glissière.....	22
6.3	Inclinaison de la cheminée.....	23
7	Contraintes dues au minerai.....	26
7.1	Évaluation de la contrainte statique	26
7.2	Contraintes dynamiques.....	28
8	Système de monitoring du niveau de matériau	28
9	Consignes opérationnelles	30
9.1	Maintien d'un niveau de matériau dans la cheminée.	30
9.2	Prévention de la consolidation du matériau	31
10	Déblocage des chutes.....	32
10.1	Déblocage par ajout d'eau	32
10.2	Déblocage à l'aide de perches et de charges explosives.....	33
11	Références.....	35
12	Liste sommaire des fabricants de chutes préfabriquées.....	36

1 Introduction

L'installation d'un système de manutention du minerai dans une mine souterraine implique d'importantes dépenses en capital. Ces dépenses comprennent les coûts d'excavation, les coûts reliés à l'installation des infrastructures et ceux reliés à l'achat et à la maintenance de l'équipement requis. Étant donné l'ampleur de ceux-ci, il est primordial d'optimiser la vie utile du système de manutention afin de l'amortir sur le plus grand tonnage possible. Cette exigence, de même que la nature intégrée et linéaire des systèmes de manutention, limite la flexibilité des opérations minières à effectuer des changements après l'installation et la mise en service de ces derniers. Il est donc primordial de maximiser l'ingénierie à la phase de conception de ces systèmes, et ce pour chacun des éléments constitutifs.

Les blocages dans les chutes à minerai sont un problème fréquemment rencontré. Ceux-ci peuvent poser un problème au niveau de la sécurité des travailleurs. Le déblocage des chutes est une activité risquée qui occasionne souvent des blessures et des maux de dos. Au Québec, 26 accidents indemnisés, dont 1 accident mortel relié à l'opération des chutes à minerai, sont survenus entre 1987 et 2005. Ces accidents ont été recensés par l'Association Paritaire du Secteur Minier (APSM) et par l'Association Minière du Québec (AMQ).

Une conception adéquate des cheminées et des chutes à minerai est primordiale afin de permettre une opération sans problème et ainsi améliorer la sécurité du personnel tout en réduisant les coûts d'opération. Une conception sera jugée adéquate si les performances actuelles des cheminées et des chutes atteignent ou surpassent les performances espérées en terme de tonnage transité, de durée de vie et d'absence de problèmes opérationnels au cours de leur vie utile.

Ce guide se veut un outil afin d'assister l'ingénieur dans la conception des chutes à minerai. La conception des cheminées a été étudiée dans le cadre du projet de l'IRSST 099- *Conception des cheminées à minerai et à stérile*, Hadjigeorgiou et Lessard (2004a).

2 Méthodologie de conception des chutes

2.1 Objectif

Une conception adéquate des chutes à minerai devrait avoir pour objectif de minimiser les problèmes opérationnels et d'augmenter la durée de vie des infrastructures. Si ces objectifs sont atteints, il en résulte un milieu de travail plus sécuritaire, car l'expérience montre que les opérations de déblocage constituent toujours un risque. Bien qu'il existe des méthodes de déblocage jugées sécuritaires, il n'en reste pas moins que les blocages présentent des risques qu'il est préférable d'éliminer à la source. Les chutes doivent être conçues de concert avec les cheminées. Les deux ouvrages sont interdépendants et leur conception doit être considérée comme un ensemble. La conception des cheminées a été traitée de façon détaillée par Lessard et Hadjigeorgiou (2004).

2.2 Méthodologie de conception

2.2.1 Sélection du type de chute

La conception des chutes débute par la détermination du type de chute selon l'application envisagée. D'après les observations faites dans les mines souterraines québécoises, on retrouve deux principales applications pour les chutes. La première est de contrôler le niveau de matériau dans une section de cheminée en permettant l'écoulement du matériau d'une section de cheminée à l'autre. La seconde, moins fréquente depuis l'avènement du minage en vrac, est de contrôler le chargement de camions ou de wagons. Les sections 3 et 4 présentent respectivement les types de chute et les portes servant au contrôle de leur ouverture. Ces chapitres présentent les avantages et inconvénients qui y sont associés, de même que leur domaine d'application.

2.2.2 Sélection de la configuration des systèmes chutes/cheminées

Trois principales configurations des systèmes chutes/cheminées ont pu être recensées en se basant sur l'expérience minière canadienne et internationale. La sélection d'une configuration particulière est basée sur l'application envisagée de même que sur la qualité du massif rocheux. La section 5 présente les configurations actuelles, les avantages et inconvénients de chacune, de même que leur domaine d'application.

2.2.3 Conception des chutes

L'expérience montre que la plupart des problèmes de blocage reliés à l'opération des chutes à minerai ont des similitudes d'une mine à l'autre. Ces problèmes sont généralement présents à toutes les étapes de la durée de vie utile de la cheminée à minerai. La section 6 présente les règles de conception touchant les trois aspects de la géométrie des chutes et des cheminées nécessaires à une bonne configuration des systèmes de manutention. Ces règles de conception permettent de déterminer:

- le dimensionnement de l'ouverture des chutes en fonction du matériau qui transite dans les cheminées afin d'éviter les blocages;
- l'inclinaison de la glissière de la chute en fonction du type de matériau;
- l'inclinaison de la cheminée afin de minimiser l'étendue de la zone de matériau passif au dessus des chutes, réduisant le canal d'écoulement et favorisant l'occurrence de blocages.

Les règles de conception présentées dans ce chapitre dérivent de l'expérience pratique des opérations minières, de l'utilisation de modèles réduits en laboratoire et des résultats de la modélisation numérique par éléments distincts:

2.3 Évaluation des contraintes statiques et dynamiques

Les infrastructures devraient être conçues de façon à pouvoir résister aux contraintes statiques et dynamiques exercées par le minerai. La section 7 présente les méthodes pour les estimer.

2.4 Mise en place d'un système de monitoring

Une gestion efficace du niveau de matériau dans les cheminées va de concert avec l'implantation d'un programme de monitoring. La connaissance en continu du niveau de matériau dans les cheminées est souhaitable afin de ne jamais permettre une vidange complète et ainsi protéger les chutes. La section 8 présente certaines règles à considérer lors de l'instauration d'un système de monitoring.

2.5 Mise en place de consignes opérationnelles

Les conditions extrêmes reliées aux cheminées à minerai et aux chutes impliquent, en plus d'une conception adéquate, l'instauration de consignes opérationnelles afin de contrôler certains facteurs comme la compaction du matériau et les chocs par impact sur les infrastructures. La section 9 présente certaines consignes à respecter dans la gestion du système de manutention du matériau.

2.6 Méthode de déblocage des chutes

Une conception adéquate des chutes à minerai, de même que le respect des consignes opérationnelles mises en place, devraient réduire considérablement l'occurrence des blocages. Il est toutefois possible, malgré tout, d'observer la formation de blocage. Par exemple, une dégradation des parois de la cheminée peut causer la chute de dièdres entraînant la formation d'enchevêtrements rocheux dans les chutes. La section 10 présente les méthodes de déblocage des chutes proposées par Hadjigeorgiou et Lessard (2004b).

3 Types de chutes

Les chutes sont conçues principalement pour deux types d'utilisation. L'utilisation la plus souvent rencontrée dans les cheminées à minerai des mines québécoises est le contrôle du mouvement du matériau dans les sections des cheminées. Les chutes sont donc utilisées pour permettre l'écoulement du matériau dans la prochaine section de la cheminée, dans le concasseur ou dans la station de chargement. Dans le cas des cheminées à remblai ou des systèmes de manutention sur rail, les chutes sont conçues pour le chargement des wagons ou des camions.

3.1 Chutes pour le contrôle du niveau de matériau dans les cheminées

3.1.1 Chaînes de contrôle directement dans le roc :

Ce type d'infrastructure est le plus simple qu'il est possible de retrouver. Un rideau de chaînes est fixé sur une poutre de tête directement à l'embouchure de la cheminée tel qu'illustré à la Figure 3.1. Ce type de chute est généralement considéré peu efficace pour contrôler l'écoulement du minerai. Dans la majorité des cas, le rideau de chaînes est actionné par l'entremise d'un câble d'acier relié à un cylindre pneumatique. Cette configuration ne permet pas d'appliquer une poussée directement sur le rideau de chaînes lors de la fermeture de celui-ci. Il doit donc se

refermer sous l'action de la gravité seulement. L'expérience montre que ceci est rarement possible. L'opérateur se retrouve la plupart du temps dans l'incapacité de refermer le rideau de chaînes tant qu'il reste du minerai dans la cheminée. La cheminée est donc vidée à chaque fois que le rideau de chaînes est actionné en position ouverte. Ceci implique qu'il est difficile de garder un niveau de matériau prédéterminé dans la cheminée. Ceci peut entraîner un endommagement prématuré à la poutre de tête, sur laquelle le rideau de chaînes est fixé, puisqu'il est difficile de la protéger en gardant un coussin de matériau dans la zone de décharge.



Figure 3.1. Chaînes de contrôle utilisées seules.

Les commentaires recueillis auprès de plusieurs opérateurs miniers mentionnent aussi que le plancher de roc ne favorise pas l'écoulement du matériau. De plus, le mauvais ajustement entre le rideau de chaînes et l'ouverture de la cheminée ne permet pas généralement de contrôler la portion fine du minerai. Dans tous les cas, les chutes de ce type sont jugées inefficaces. Idéalement, ce type de chute ne devrait jamais être retenu.

3.1.1.1 Applications recommandées

Les rideaux de chaînes de contrôle, installées directement dans le roc, représentent 17 des 89 (19%) infrastructures servant au contrôle de l'écoulement du minerai selon la base de données constituée par Hadjigeorgiou et Lessard (2006). Ce type de chute ne devrait jamais être utilisé dans une situation où le contrôle de l'écoulement du matériau est critique, par exemple le chargement d'un camion. Il est de moins en moins rencontré dans les applications de contrôle du niveau de matériau dans les cheminées. La mauvaise performance de ce type de chute fait en sorte qu'elles sont fréquemment remplacées par des configurations plus efficaces lorsque des travaux de réparation sont entrepris.

3.1.2 Chaînes de contrôle avec murs latéraux et glissière d'acier

Un meilleur contrôle sur le mouvement du matériau est obtenu si les chaînes de contrôle sont utilisées de concert avec des murs latéraux et une glissière d'acier, Figure 3.2. Les murs et le plancher de la chute sont construits à l'embouchure de la cheminée en coulant du béton armé. Le béton est coulé sur une armature de tiges d'acier crénelées. Idéalement, un revêtement d'acier doux est installé puis celui-ci est recouvert par des plaques d'acier dur à haute résistance à l'abrasion. La combinaison acier dur sur acier doux présente deux avantages principaux. La résistance du système aux chocs par impact est grandement augmentée. Une usure excessive ou un bris des plaques d'acier dur n'exposera pas directement le béton mais plutôt l'acier doux. Les travaux requis pour la réparation sont ainsi minimisés.



Figure 3.2. Chaînes de contrôle avec murs latéraux et glissière d'acier.

3.1.2.1 Applications recommandées

Ce type de chute représente 71% des chutes de la base de données constituée par Hadjigeorgiou et Lessard (2006). Étant donné les bonnes performances qui lui sont associées lorsque bien conçu, ce type de chute est fortement recommandé dans les applications reliées au contrôle du niveau de minerai dans les sections de cheminées se déversant les unes dans les autres.

3.2 Chutes pour le chargement de camions ou de wagons

Dans le cas des chutes servant au chargement de camions ou de wagons, on retrouve deux types principaux de chargement : latéral et en ligne. Ces types de chute sont plutôt préfabriqués par un fabricant selon les spécifications requises puis ensuite assemblés sur place (voir la liste des fabricants à la section 12).

3.2.1 Chute à chargement latéral

Une chute à chargement latéral est illustrée à la Figure 3.3. Les avantages et inconvénients des chutes à chargement latéral sont présentés au Tableau 3.1.

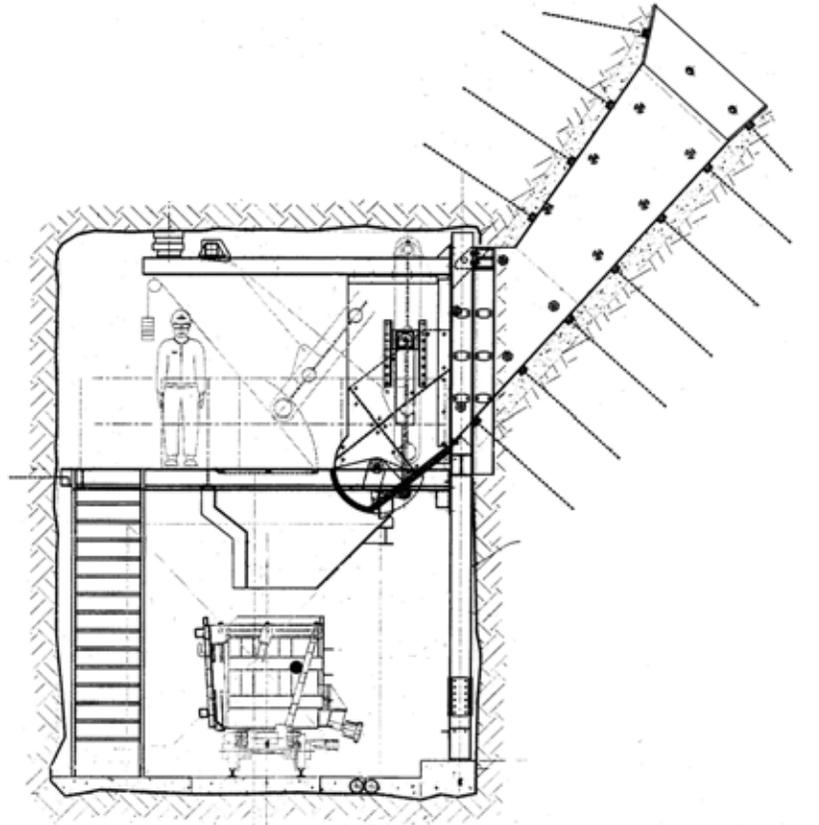


Figure 3.3. Chute à chargement latéral

Tableau 3.1. Avantages et inconvénients des chutes à chargement latéral (d'après Poxleitner et al., 1997)

Avantages	Désavantages
Requiert une excavation plus petite	Les temps de chargement sont plus longs
Requiert moins de support structural puisque les côtés de la chute sont supportés par le roc	Le chargement des wagons peut être plus difficile puisque ceux-ci peuvent être renversés par les gros fragments rocheux
Permet d'aménager un grand espace de travail, pratique en cas de manœuvres de déblocage	Les chutes sont plus facilement endommagées par les camions ou les wagons en mouvement

3.2.1.1 Applications recommandées

Il est préférable que les galeries de tramage par wagons soient de petite dimension, pour des raisons économiques et géomécaniques. Les systèmes de chargement latéral sont donc particulièrement bien adaptés pour le chargement des wagons. Ils se prêtent moins bien au chargement de camions puisque ceux-ci requièrent des galeries de grande dimension. Un chargement latéral ne va donc pas permettre un chargement efficace d'une benne de camion.

3.2.2 Chute à chargement en ligne

Une chute à chargement en ligne est illustrée à la Figure 3.4. Les avantages et inconvénients de ce type de chute sont présentés au Tableau 3.2.

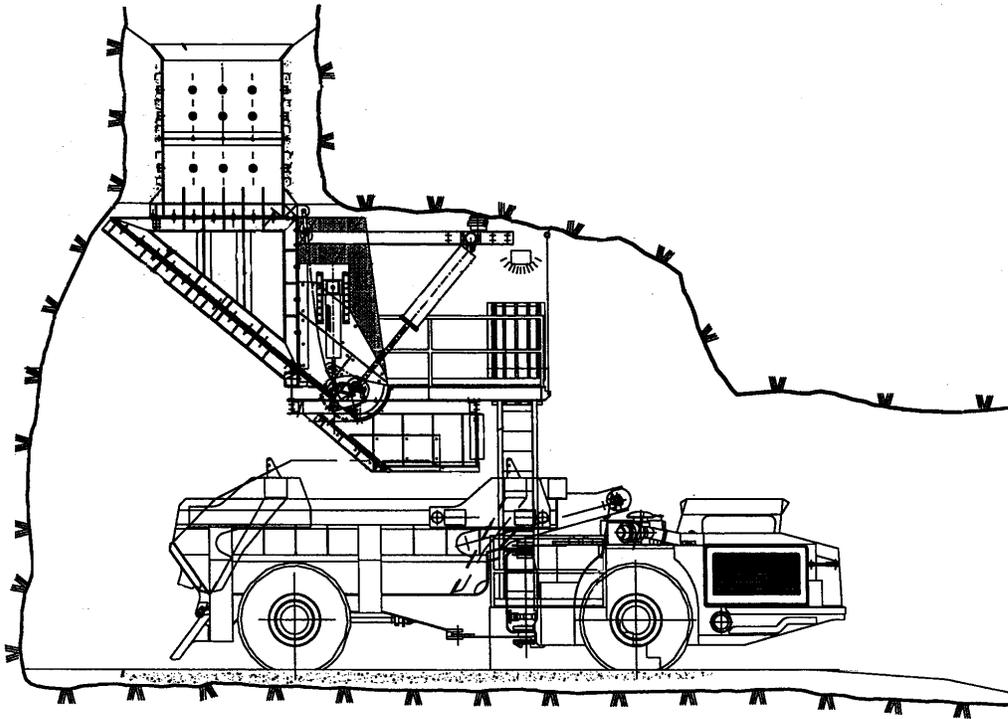


Figure 3.4. Chute à chargement en ligne.

Tableau 3.2. Avantages et inconvénients des chutes à chargement en ligne (d'après Poxleitner et al., 1997)

Avantages	Désavantages
Moins de débordement accidentel	Coûts d'installation plus élevés
Meilleure vision offerte pour l'opérateur lors du chargement	Plus difficile à excaver
Un meilleur écoulement du matériau est généralement observé	Les éléments structuraux sont plus sollicités par les charges exercées par le matériau dans la cheminée

3.2.2.1 Applications recommandées

Les systèmes de chargement en ligne sont particulièrement bien adaptés pour le chargement des camions. On retrouve donc ce type de chargement principalement dans les systèmes de cheminées à remblai. Ces chutes permettent un bien meilleur chargement des camions comparativement à un système de chargement latéral. Il est important de prendre en considération la qualité du massif rocheux ainsi que les contraintes en place avant de sélectionner un tel système puisque la dimension de l'excavation requise est beaucoup plus grande que dans le cas d'un système à chargement latéral.

4 Types de porte contrôlant l'ouverture de la chute

Depuis l'avènement du minage en vrac, il n'existe plus que deux principaux types de porte, les rideaux de chaînes et les portes d'acier. Le type de contrôle de chute le plus fréquemment utilisé dans les mines québécoises est le rideau de chaînes, Hadjigeorgiou et Lessard (2006). Les portes d'acier rigides (crash doors) ne sont pas rencontrées souvent. Elles sont tout de même décrites plus loin.

4.1 Rideaux de chaînes de contrôle.

La plupart des rideaux sont construits en utilisant des chaînes marine (ou chaînes d'ancre de bateau) ayant des maillons d'un diamètre de 2 pouces (5 cm) ou plus. Plusieurs chaînes sont accrochées à des crochets soudés sur une poutre de tête, Figure 4.1. Les crochets sont habituellement constitués d'un maillon de chaîne ouvert. Le remplacement de longueurs de chaînes en cas d'usure est ainsi facilité.

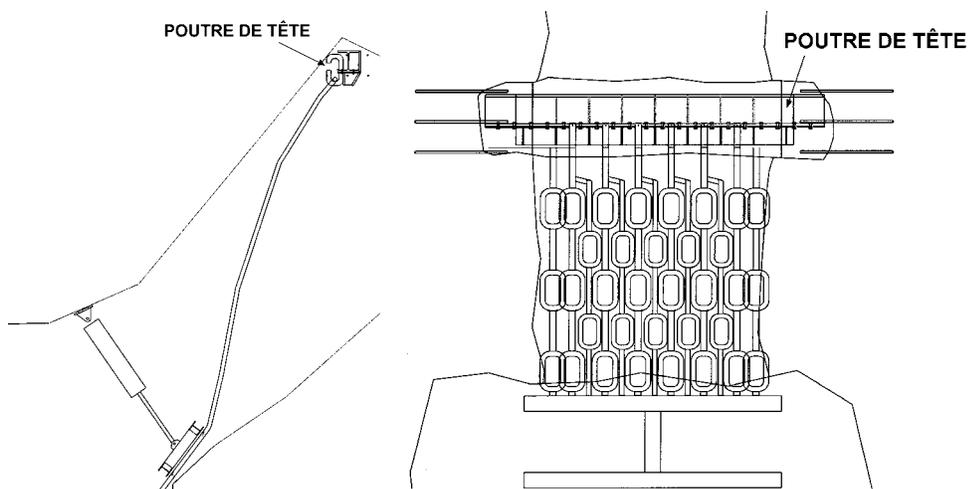


Figure 4.1. Installation des chaînes de contrôle sur une poutre de tête.

Deux types d'actionnement des rideaux de chaînes afin de permettre l'ouverture et la fermeture de l'ouverture de la chute sont rencontrés : les actionnements direct et indirect.

4.1.1 Rideaux de chaînes à actionnement direct

Dans cette configuration, un ou plusieurs cylindres, hydraulique ou pneumatique, vont tirer ou pousser directement sur le rideau de chaînes afin d'ouvrir ou de refermer l'ouverture de la chute, Figure 4.2. Ce type de contrôle est considéré efficace pour contrôler l'écoulement du matériau dans la cheminée à condition que les cylindres utilisés puissent développer une force suffisante pour refermer le rideau de chaînes malgré la pression exercée par le matériau en mouvement.

Les rideaux de chaînes offrent une bonne résistance à l'impact du matériau étant donné leur flexibilité. Par contre, ils présentent un désavantage important : ils risquent de ne pas pouvoir retenir le matériau dans l'éventualité d'une défaillance du système pneumatique ou hydraulique.

Le rideau de chaîne peut aussi être actionné par un poussoir, lui-même actionné par un cylindre hydraulique ou pneumatique, Figure 4.3. Cet arrangement permet de mieux répartir la force du ou des cylindres et d'offrir ainsi un meilleur contrôle sur la fermeture de la chute. Il permet aussi d'implanter un système de verrouillage du poussoir afin de prévenir un déversement accidentel de la cheminée en cas d'une défaillance du système hydraulique ou pneumatique. Cette configuration est toutefois plus rigide qu'un rideau de chaînes seul.



Figure 4.2. Rideau de chaînes de contrôle, méthode d'actionnement directe par cylindre pneumatique ou hydraulique.



Figure 4.3. Rideau de chaînes de contrôle, méthode d'actionnement directe par un poussoir actionné par un cylindre pneumatique ou hydraulique.

4.1.1.1 Applications recommandées

L'utilisation de rideaux de chaînes avec un poussoir devrait être favorisée dans tous les cas où les chutes servent au déversement du minéral d'une section de cheminée à l'autre. Leur utilisation est aussi recommandée dans les endroits où le contrôle du débit est critique, tel le concasseur.

4.1.2 Rideau de chaînes à actionnement indirect

Les rideaux de chaînes dont l'ouverture est actionnée indirectement par l'entremise d'un câble d'acier relié à un cylindre pneumatique, Figure 4.4, ne sont pas considérés comme étant efficaces pour contrôler l'écoulement du matériau puisque dans la majorité des cas cette configuration ne permet pas de pousser directement sur le rideau de chaînes lors de la fermeture de celui-ci. Il doit donc se refermer sous l'action de la gravité seulement. L'expérience montre que ceci est rarement possible. L'opérateur se retrouve la plupart du temps dans l'incapacité de refermer le rideau de chaînes tant qu'il reste du matériau dans la cheminée. La cheminée est donc vidée à chaque fois que le rideau de chaînes est mis en position ouverte. Ceci implique qu'il est difficile, voire impossible, de garder un niveau de matériau prédéterminé dans la cheminée. Ceci entraîne donc un endommagement prématuré à la poutre de tête, sur laquelle le rideau de chaînes est fixé, puisqu'il est difficile de la protéger en gardant un coussin de matériau dans la zone de décharge.



Figure 4.4. Rideau de chaînes de contrôle actionné par un câble d'acier.

4.1.2.1 Applications recommandées

Idéalement ce type d'infrastructure ne devrait pas être utilisé. L'avantage offert par son faible coût d'installation est grandement mitigé par le peu d'efficacité du système. Son utilisation devrait être réservée aux situations où le contrôle sur l'écoulement du matériau n'est pas critique.

4.2 Portes pivotantes « Arc gate »

Une porte pivotante est illustrée à la Figure 4.5. Sur la base des observations faites dans les mines souterraines québécoises, les portes pivotantes (ou « arc gates ») ne sont jamais utilisées seules comme contrôle de l'ouverture des chutes, mais plutôt de concert avec un rideau de chaînes. Utilisées seules, les portes pivotantes seraient sujettes à l'endommagement dû aux chocs par impact. Il serait difficile de les refermer complètement en présence de gros fragments rocheux.



Figure 4.5. Système de rideau de chaînes et de porte pivotante.

4.2.1.1 Applications recommandées

Ce type de porte peut être utilisé de concert avec un rideau de chaînes en toute occasion. Cet arrangement présente l'avantage de pouvoir retenir le matériau en cas de défaillance du système d'actionnement du rideau de chaînes. Il permet aussi un bon contrôle de la portion fine du minerai.

4.3 Lèvres pivotantes (lips)

Les lèvres pivotantes, Figure 4.6, ne constituent pas une porte en tant que tel. De fait, elles ne sont jamais utilisées seules, mais de concert avec un rideau de chaînes. Comme les systèmes composés d'une porte pivotante, cet arrangement présente l'avantage de pouvoir retenir le minerai en cas de défaillance du système d'actionnement du rideau de chaînes. Il permet, lui aussi, un bon contrôle de la portion fine du minerai.

Ce système se retrouve principalement dans les chutes destinées au chargement des camions ou des wagons. Les firmes MTI et Nordic Technologies, entre autres, utilisent ce système dans la fabrication de leurs chutes.



Figure 4.6. Système de lèvre pivotante («lip») et de rideau de chaînes.

4.3.1.1 Applications recommandées

Les lèvres pivotantes peuvent être utilisées de concert avec un rideau de chaînes en toute occasion. Cet arrangement présente l'avantage de pouvoir retenir le matériau en cas de défaillance du système d'actionnement du rideau de chaînes. Il permet aussi un bon contrôle des fines.

4.4 Portes d'acier solides (crash doors)

Les portes d'acier ne sont pas fréquemment rencontrées dans les mines souterraines du Québec. La Figure 4.7 illustre ce type de porte utilisée dans une mine souterraine ontarienne. Les portes d'acier assurent un bon contrôle sur le matériau fin. Ce type de porte comporte toutefois plusieurs désavantages qui peuvent expliquer leur faible popularité. C'est un système très rigide qui n'absorbera pas bien les chocs par impact quand une cheminée est vidée entièrement. Ce système requiert beaucoup plus de maintenance qu'un rideau de chaînes et les travaux d'entretien ou de réparation sont aussi plus complexes. Il est, en effet, beaucoup plus facile de remplacer les longueurs de chaînes trop usées des rideaux de chaînes. Ce type de porte est difficile, voire impossible, à refermer entièrement quand le matériau contient de gros fragments rocheux. La Figure 4.7 illustre bien ce phénomène.



Figure 4.7. Porte d'acier solide (crash door)

Note : À remarquer, les grosses roches empêchant une fermeture complète de la porte.

4.4.1.1 Applications recommandées

Ce type de porte est utilisé avec succès dans les mines où le minerai ne comporte pas de gros fragments rocheux. Une gestion efficace du niveau de minerai permet de minimiser le désavantage résultant de la grande rigidité du système. Ce type de porte ne devrait être utilisé que si un système de monitoring du niveau de matériau est installé dans la cheminée afin de prévenir une vidange complète de la cheminée.

4.5 Système d'actionnement pneumatique et hydraulique.

Deux types de systèmes sont disponibles pour contrôler l'ouverture des rideaux de chaînes, soient les systèmes hydraulique ou pneumatique. Les avantages et inconvénients de chacun de ces systèmes sont présentés dans les Tableaux 5.1 et 5.2

Tableau 4.1. Avantages et inconvénients des systèmes hydrauliques (d'après Poxleitner et al., 1997)

Avantages	Désavantages
<ul style="list-style-type: none"> • Opération plus uniforme • Plus de puissance pour un cylindre de dimension équivalente 	<ul style="list-style-type: none"> • Plus coûteux • Temps de réponse plus lent • Système plus complexe • Requiert plus de maintenance

Tableau 4.2. Avantages et inconvénients des systèmes pneumatiques (d'après Poxleitner et al., 1997)

Avantages	Désavantages
<ul style="list-style-type: none"> • Temps de réponse rapide • Peu dispendieux • Mécanique plus simple • Plus facile à entretenir 	<ul style="list-style-type: none"> • Opération peu uniforme • Moins puissants que les systèmes hydrauliques

Les systèmes hydrauliques sont plus performants au niveau de la puissance. Par contre, leur temps de réponse plus lent peut être problématique dans l'éventualité où le niveau de minerai est toujours gardé bas dans la chute. Il est possible, dans ce cas, que le temps de réponse ne soit pas assez rapide pour prévenir une vidange complète de la cheminée. La sélection d'un système doit être effectuée en fonction des consignes opérationnelles qui régiront le niveau de matériau, de même qu'en fonction de l'expertise de la mine en ce qui a trait à l'entretien des systèmes pneumatique ou hydraulique.

5 Configurations des systèmes chutes/cheminées.

Trois principales configurations de système chutes/cheminées ont été identifiées. Dans la configuration la plus fréquemment rencontrée, la chute est située directement au bas de la cheminée telle qu'illustrée à la Figure 5.1a. C'est la configuration typique des sections de cheminées destinées au transport du matériau du point de déversement jusqu'au concasseur. Dans la seconde configuration, la chute est localisée au bas d'une monerie de transfert connectée à la cheminée, Figure 5.1b. Cette configuration est typique des cheminées de remblayage («fill raises») où le matériau est chargé dans un camion à partir de la chute. La troisième configuration est similaire dans l'ensemble à la deuxième configuration, Figure 5.1c. La principale différence se situe au niveau de la monerie de transfert qui est connectée au plancher d'une niche Alimak. Ces deux dernières configurations sont typiques des galeries de roulage destinées au chargement des wagons.

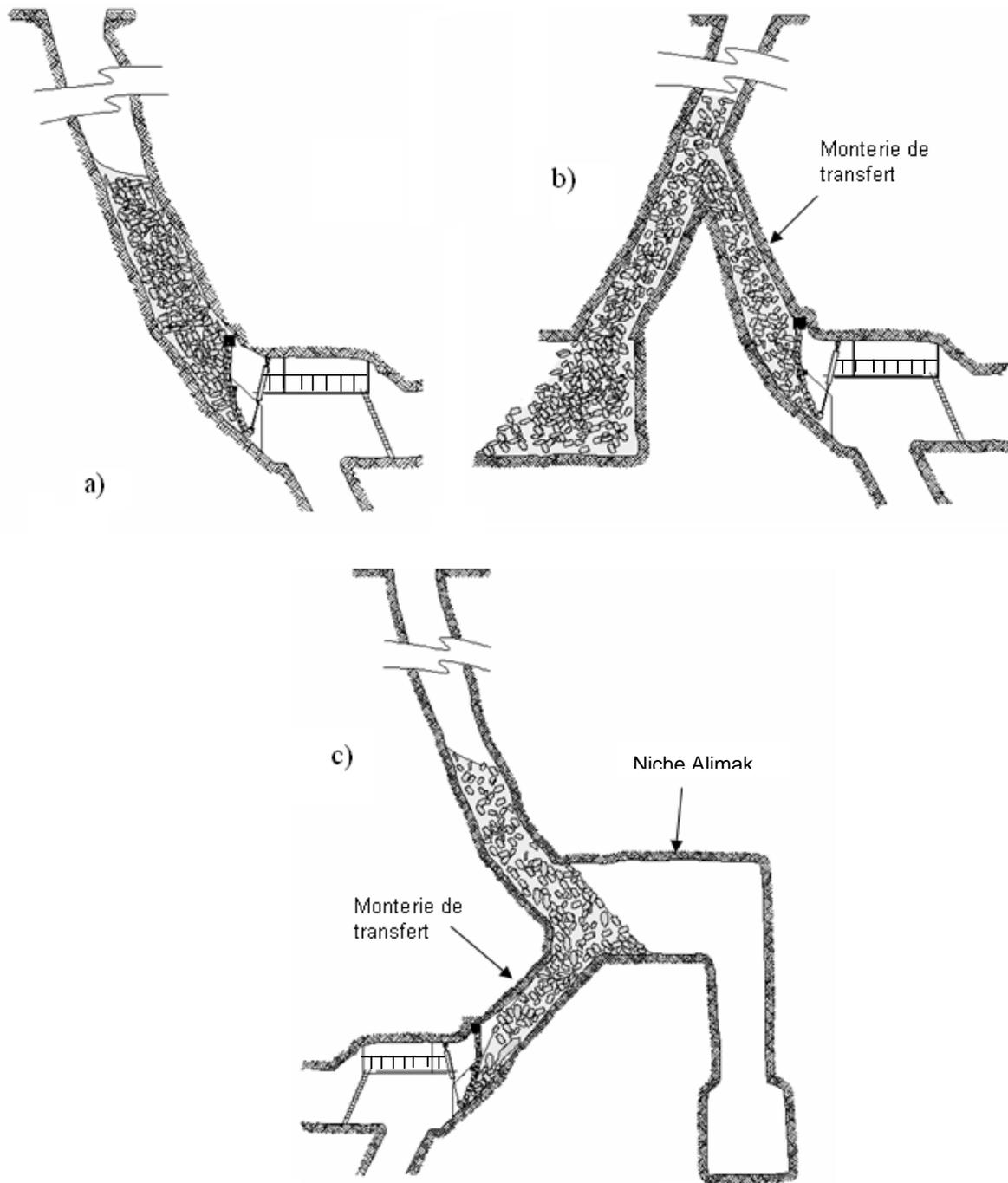


Figure 5.1. Configurations des systèmes chutes/cheminées recensés.

Les avantages et les inconvénients pour chacune des configurations sont présentés aux Tableaux 5.1 à 5.3. Ceux-ci ont été évalués en fonction des commentaires reçus par les opérateurs miniers et des résultats obtenus à l'aide des modélisations numériques.

Tableau 5.1. Avantages et inconvénients des chutes localisées directement au bas des cheminées

	
Avantages	Inconvénients
Configuration la plus facile à construire	Une seule place de travail est disponible pour effectuer les opérations de déblocage
Possibilité d'utiliser des cheminées fortement inclinées ou verticales afin de minimiser l'accumulation du matériau fin dans la zone de décharge	Impossibilité d'utiliser la cheminée en cas de réfection des chutes
Du point de vue géomécanique, c'est la configuration la plus stable étant donné qu'il n'y a pas d'intersection entre la cheminée et une monterie	L'installation d'un système de monitoring du niveau de matériau est difficile pour les cheminées dont l'inclinaison est inférieure à 80°

Tableau 5.2. Avantages et inconvénients des chutes localisées dans une monterie de transfert sous une station Alimak.

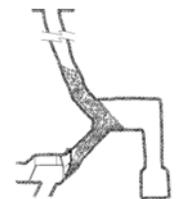
	
Avantages	Inconvénients
Le changement de direction dans l'écoulement du minerai à la monterie de transfert ralentit le matériau et protège la chute à minerai des chocs par impact.	La plupart des monteries de transfert sont construites à des angles allant de 55° à 60°. Ces angles pourront causer une accumulation de matériau fin au dessus des chutes. Il est donc fortement recommandé d'utiliser cette configuration de concert avec un système de soufflerie prévenant l'accumulation des fines.
Cette configuration se prête relativement bien à l'installation d'un système de monitoring du niveau de matériau dans la cheminée.	Cette configuration est de loin la plus laborieuse à réaliser.
	Les accrochages par enchevêtrements rocheux peuvent être fréquents à la jonction entre la monterie de transfert et la cheminée lorsque la monterie de transfert est de dimension inférieure à celle de la cheminée.
	Impossible d'utiliser la cheminée en cas de réfection de la chute.
	Le changement de direction rend très difficile le positionnement des charges explosives à l'aide de baguettes en cas d'accrochage dans la cheminée. L'utilisation d'un Sputnik est aussi plus difficile.

Tableau 5.3. Avantages et inconvénients des chutes localisées dans une monterie de transfert.

	
Avantages	Inconvénients
Offre deux places de travail pour effectuer les opérations de déblocage, soit par la chute elle-même, soit à partir de l'arrivée de la cheminée à minerai dans la galerie d'accès.	Les accrochages par enchevêtrements rocheux peuvent être fréquents à la jonction entre la monterie de transfert et la cheminée lorsque la dimension de la monterie de transfert est inférieure à celle de la cheminée.
Le changement de direction dans l'écoulement du minerai à la monterie de transfert ralentit sa chute et protège la chute à minerai des chocs par impact.	Dégradation possible du massif rocheux à la jonction entre la cheminée et la monterie de transfert. Cette dégradation peut être l'élément déclencheur d'une dégradation plus généralisée.
Il est possible de continuer à utiliser la cheminée lors des opérations de réfection de la chute à condition de couler une barricade de protection en béton dans la monterie de transfert.	La nécessité de laisser un pilier de roc entre la monterie de transfert et la cheminée restreint l'inclinaison de la monterie de transfert. Un angle interne de 30° ou plus entre la cheminée et la monterie de transfert devrait être maintenu.
Cette configuration est celle qui se prête le mieux à l'installation d'un système efficace de monitoring du niveau de minerai dans la cheminée. Par conséquent, cette configuration permet l'automatisation de l'ouverture et de la fermeture des chutes.	La plupart des monteries de transfert sont construites à des angles allant de 55° à 60°. Ces angles pourront causer une accumulation de matériau fin au-dessus des chutes. Il est donc fortement recommandé d'utiliser cette configuration de concert avec un système de soufflerie prévenant l'accumulation des fines. La monterie de transfert doit être suffisamment longue pour que la jonction avec la cheminée soit dans un régime d'écoulement en masse.
Cette configuration maximise l'écoulement en masse dans la cheminée proprement dite et réduit ainsi la possibilité d'accumulation du minerai le long des parois.	Cette configuration requiert le soutirage quotidien à l'aide d'une chargeuse-navette dans le point de soutirage non contrôlé par une chute. Ceci est nécessaire afin de prévenir la compaction et la consolidation du minerai sous la monterie de transfert.

5.1.1.1 Sommaire

Basé sur les caractéristiques de chaque configuration, telles qu'analysées et observées à l'occasion des visites de mines, il apparaît qu'une monterie de transfert connectée directement à la cheminée, Figure 5.1b, est préférable aux deux autres configurations puisqu'elle offre les avantages suivants:

- permet deux endroits de travail pour effectuer les opérations de déblocage;
- maximise l'écoulement en masse dans la cheminée;
- minimise les chocs par impact sur les infrastructures des chutes;
- permet l'installation d'un système de monitoring du niveau de minerai dans la cheminée plus efficace.

Ces avantages sont présents quelque soit la fonction de la chute (i.e. station de chargement ou transfert de matériau d'une section de cheminée à l'autre).

L'avantage d'offrir deux endroits de travail pour effectuer les opérations de déblocage est très significatif. Lorsque le blocage ou l'accrochage est situé près de la jonction entre la monterie de transfert et la cheminée, l'expérience relatée par les opérateurs miniers indique que le seul fait de soutirer un peu de matériau dans le bas de la cheminée suffit très souvent à défaire les blocages sans avoir à utiliser d'explosifs. Ceci réduit d'autant le nombre d'interventions du travailleur, ce qui représente un avantage marqué en terme de sécurité. Hadjigeorgiou et Lessard (2004a) ont présenté une liste des méthodes de déblocage utilisées dans l'industrie minière.

Il est important que les dimensions de la monterie de transfert et de la cheminée soient identiques à l'intersection de celles-ci afin de prévenir les accrochages par enchevêtrements rocheux. Idéalement, l'inclinaison de la monterie de transfert devrait être de 60° ou plus, ce qui implique préférentiellement l'utilisation d'une cheminée verticale. La monterie de transfert doit être suffisamment longue pour s'assurer qu'elle soit dans un régime d'écoulement de masse à la jonction avec la cheminée. Le Tableau 6.2 peut être utilisé afin d'estimer la longueur minimale de la monterie.

Cette configuration présente le désavantage de créer une intersection dans le massif rocheux, donc un "point faible", à la jonction entre la monterie et la cheminée. Idéalement, cette configuration devrait être localisée dans un massif rocheux de qualité suffisante afin de prévenir la dégradation du massif rocheux à cet endroit. En se basant sur les observations faites dans les mines souterraines québécoises, Lessard et Hadjigeorgiou (2004) recommandent un massif rocheux ayant un index de qualité Q supérieur à 5, tel que déterminé selon la méthode de classification du NGI, Barton et Grimstad (1994).

La configuration "typique", Figure 5.1a, devrait être utilisée pour les cheminées à minerai servant au transfert du matériau jusqu'au concasseur dans le cas où les conditions de terrain ne permettent pas l'utilisation de la configuration précédente.

Dans la mesure du possible, la configuration utilisant une niche Alimak ne devrait pas être utilisée, étant donné qu'elle complique les opérations de déblocage à cause de la difficulté à positionner des charges explosives à l'aide de baguette ou d'un Sputnik. Dans cette optique, l'utilisation de cette configuration n'est pas recommandée. De plus, cette configuration est beaucoup plus complexe à excaver du fait qu'elle requiert l'excavation d'une niche Alimak.

6 Règles de conception des chutes à minerai.

La conception des chutes à minerai devrait avoir pour objectifs de minimiser les problèmes opérationnels et augmenter la durée de vie des infrastructures. Si ces objectifs sont atteints, il en résultera un milieu de travail plus sécuritaire, car l'expérience démontre que les opérations de déblocage représentent toujours un risque. Bien qu'il existe des méthodes de déblocage jugées sécuritaires, Hadjigeorgiou et Lessard (2004a), il n'en reste pas moins que l'opération de déblocage représente un danger qu'il faut tenter d'éliminer à la source. Les règles de conception présentées ici sont applicables à tous les types de chute présentées dans les sections précédentes. Comme les cheminées et les chutes doivent être conçues comme un seul système, ce présent guide devrait être utilisé de concert avec les règles de conception des cheminées proposées par Lessard et Hadjigeorgiou (2004).

6.1 Dimensionnement de l'ouverture

L'ouverture d'une chute est habituellement caractérisée par sa largeur *minimale* (D_o) et sa hauteur *minimale* (H_o), telle qu'illustrées à la Figure 6.1. Il est important que l'ouverture de la chute soit suffisante pour prévenir les blocages par enchevêtrements rocheux. Ceux-ci se produisent lorsque l'ouverture de la chute est trop petite par rapport à la dimension des fragments rocheux.

L'évaluation de la dimension des fragments rocheux peut s'avérer problématique. L'estimation de la dimension des fragments par la maille d'un grizzly présente de nombreux avantages. Elle est facilement applicable et n'est pas sujette à interprétation. Ses résultats ne sont pas reliés à la forme des fragments rocheux et sont indépendants de la variation de la fragmentation d'un chantier à l'autre. Le grizzly doit être dimensionné en fonction de la fragmentation typique des chantiers. Une méthodologie en ce sens a été proposée par Lessard et Hadjigeorgiou (2004).

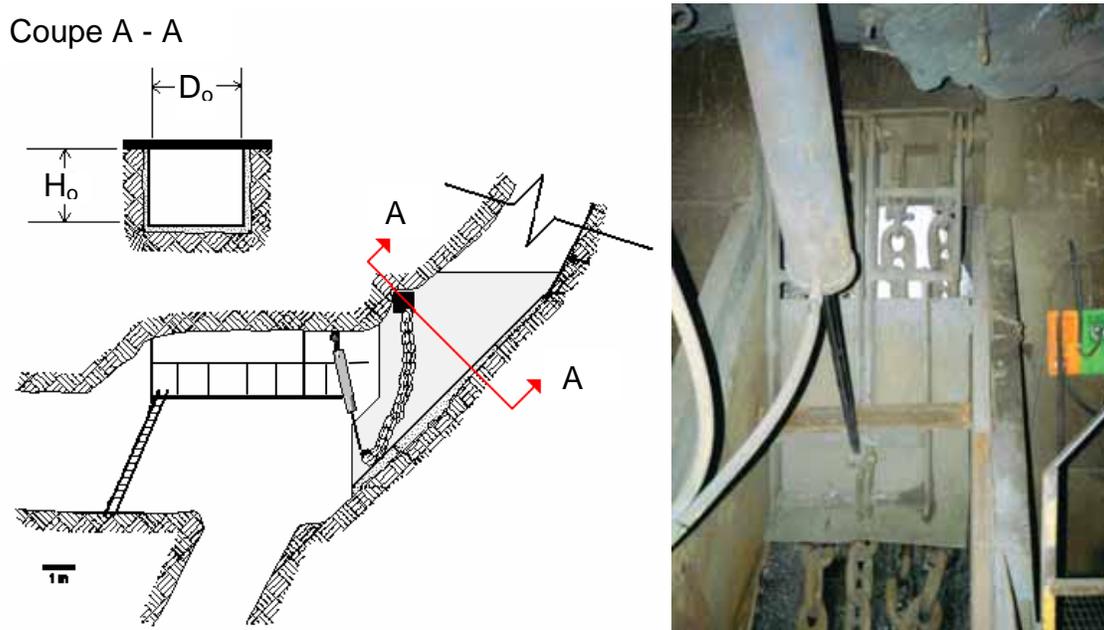


Figure 6.1. Définition de la largeur minimale (D_o) et de la hauteur minimale (H_o) d'une chute.

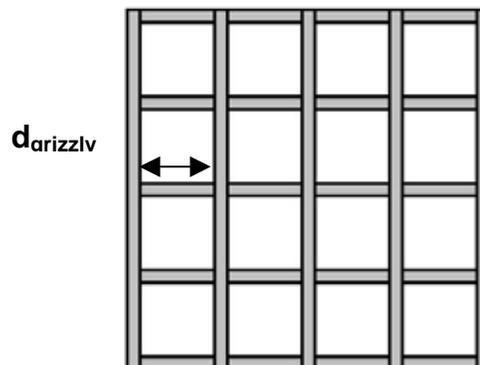


Figure 6.2. Définition de " $d_{grizzly}$ " en fonction des mailles d'un grizzly.

Lessard et Hadjigeorgiou (2006a) ont démontré que l'étendue de la distribution granulométrique est un des principaux facteurs influençant la dimension requise pour l'ouverture de la chute. Un matériau de distribution granulométrique uniforme requiert une ouverture de chute supérieure comparativement à un matériau de distribution bien étalée. Comme la distribution granulométrique du minerai déversé dans les cheminées peut varier d'un godet de chargeuse-navette à l'autre, une conception prudente doit tenir compte de la possibilité que le matériau soit parfois de distribution uniforme. Considérant ceci, la dimension requise pour la largeur de la chute, D_o , devrait être:

$$D_o \geq 4.7 d_{\text{grizzly}} \text{ (ou } d_{\text{grizzly}} = \text{ maille d'un grizzly)}$$

La hauteur d'ouverture de la chute, H_o , devrait être:

$$H_o \geq 0.8 D_o$$

L'utilisation de ces ratios devrait minimiser la possibilité d'occurrence de blocage par enchevêtrements rocheux dans les chutes.

En l'absence de grizzly aux points de déversement, le dimensionnement devrait être effectué en fonction de la dimension maximale des plus gros fragments rocheux déversés dans la cheminée. Il est évident que cette évaluation est plus difficile à réaliser, en plus d'être relativement imprécise, étant donné la variation inhérente à chaque sautage. Dans ce cas, l'ouverture requise de la chute doit satisfaire les conditions suivantes:

$$D_o \geq 2.5 d_{\text{max}} \text{ (ou } d_{\text{max}} = \text{ dimension maximale des plus gros fragments rocheux)}$$

La hauteur d'ouverture de la chute, H_o , devrait être:

$$H_o \geq 0.8 D_o$$

Considérant tous les avantages, l'utilisation d'un grizzly au point de déversement est fortement recommandée.

6.2 Inclinaison de la glissière

L'inclinaison de la glissière est l'angle de celle-ci mesuré par rapport à l'horizontale (α), Figure 6.3.

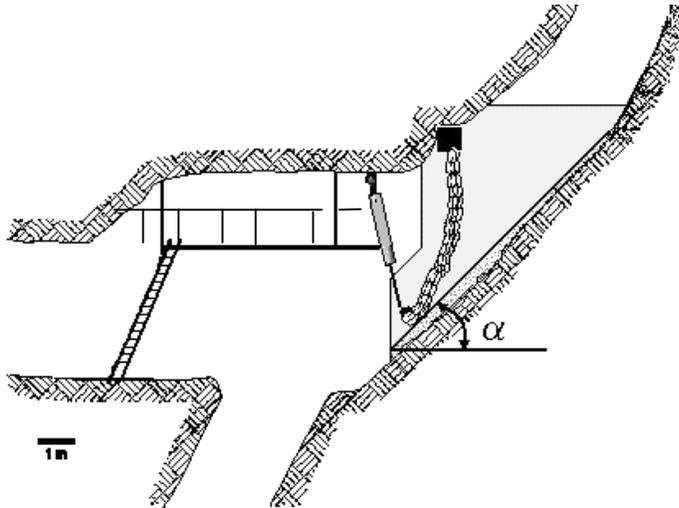


Figure 6.3. Inclinaison de la glissière d'une chute à minerai.

Le Tableau 6.1 indique les inclinaisons de glissière requises, selon la teneur en eau (w), pour des matériaux de différentes granulométrie.

Tableau 6.1. Inclinaison de la glissière en fonction de la distribution granulométrique et de la teneur en eau.

Matériau	Teneur en eau (w)	Angle de la glissière (α)
Matériau grossier ($< 10\% 0.25 \text{ mm}$)	$< 2\%$	$\geq 35^\circ$
Matériau avec fines ($> 10\% 0.25 \text{ mm}$)	$< 2\%$	$\geq 35^\circ$
Matériau grossier ($< 10\% 0.25 \text{ mm}$)	$> 2\%$	$\geq 35^\circ$
Matériau avec fines ($> 10\% 0.25 \text{ mm}$)	$> 2\%$	$= 45^\circ$

L'influence de l'inclinaison de la glissière sur l'écoulement est surtout observée dans le cas d'un matériau humide comportant des fines. Dans ce cas, une inclinaison trop faible ne permettra pas l'amorçage de l'écoulement du matériau.

L'inclinaison de la glissière ne devrait pas être supérieure à 45° . Une inclinaison plus forte ne permettra pas de refermer facilement la porte ou les chaînes de la chute lorsque le minerai est en mouvement.

6.3 Inclinaison de la cheminée

Un écoulement en masse est caractérisé par un écoulement du matériau sur toute l'aire de la section de la cheminée. Dans un écoulement en bouchon, on observe la présence d'un canal d'écoulement et d'une zone de matériau passif ou immobile. La section utile de la cheminée est donc réduite par rapport à la section nominale.

L'étendue de la zone d'écoulement en bouchon est principalement influencée par l'inclinaison de la cheminée. La Figure 6.4 présente l'influence de l'inclinaison d'une cheminée sur la zone de transition entre l'écoulement en masse et l'écoulement en bouchon. On peut constater qu'une cheminée verticale devrait réduire au maximum la zone de matériau passif et ainsi maximiser la portion de la cheminée sujette à un écoulement en masse.

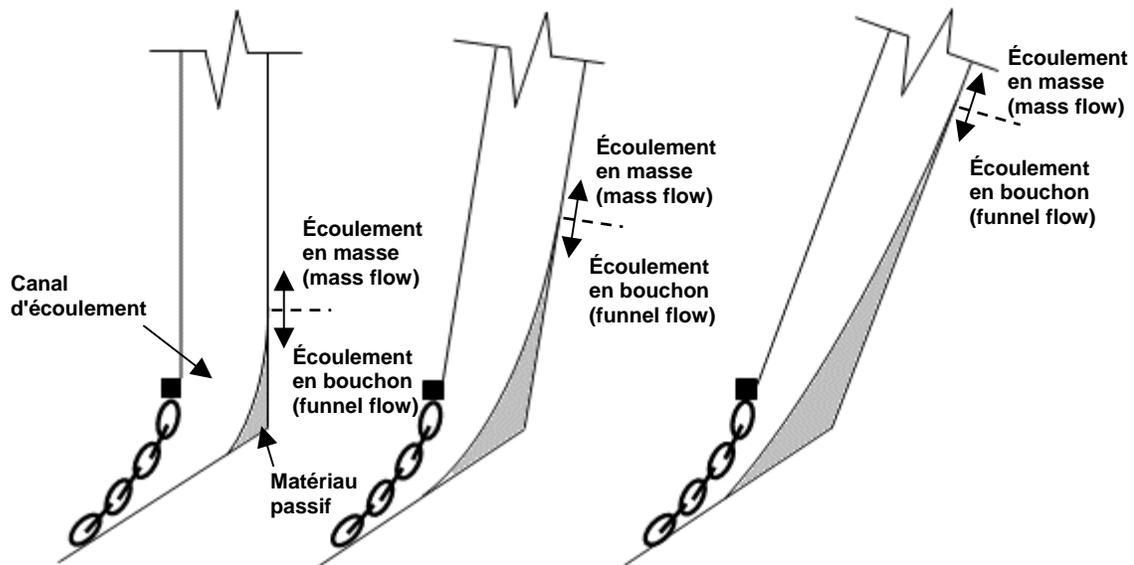


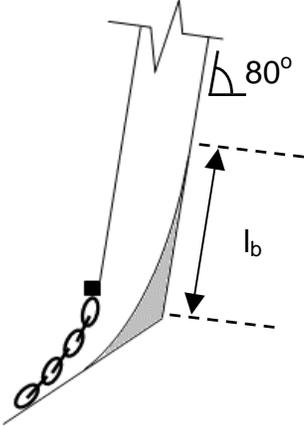
Figure 6.4. Restriction du canal d'écoulement en fonction de l'inclinaison de la cheminée, adapté de Kvapil (1965).

La zone d'écoulement en bouchon peut s'avérer être une source de problèmes opérationnels. Un écoulement en bouchon a pour conséquence de réduire la surface effective d'une cheminée. Un canal d'écoulement trop étroit pourra entraîner des blocages dans la zone au-dessus des chutes. Cette zone d'écoulement en bouchon peut entraîner une accumulation progressive de la portion fine du minéral dans le bas de la cheminée, ce qui peut contribuer à réduire encore plus la surface effective de la cheminée.

L'expérience rencontrée dans les mines souterraines québécoises démontre une forte influence de l'inclinaison de la cheminée sur l'accumulation de matériau fin dans les chutes, restreignant ainsi l'écoulement du matériau. Au point de vue pratique, d'après les interviews menées avec les opérateurs miniers, la majorité des problèmes d'accumulation de fines dans le bas des cheminées sont rencontrés dans les cheminées où l'inclinaison est inférieure à 80° . La plupart des problèmes d'écoulement causés par l'accumulation de fines sont rencontrés dans des cheminées dont l'inclinaison varie entre 50° et 70° .

L'influence de l'inclinaison de la cheminée sur l'étendue de la zone d'écoulement en bouchon a été analysée au moyen d'essais en laboratoire sur un modèle réduit. Les résultats pour un matériau humide sont présentés dans le Tableau 6.2. L'étendue relative de la zone d'écoulement en bouchon y est donnée en fonction de l_b , l'étendue de la zone d'écoulement en bouchon mesurée pour une cheminée inclinée à 80° . On peut constater que l'inclinaison de la cheminée est déterminante.

Tableau 6.2. Étendue de la zone d'écoulement en bouchon en fonction de l'inclinaison de la cheminée.

Angle de la cheminée	Étendue relative de la zone d'écoulement en bouchon	
80°	l_b	
70°	$2.5 l_b$	
60°	$\geq 3l_b$	

Idéalement, la zone d'écoulement en masse devrait être maximisée. En pratique, l'utilisation de cheminées fortement inclinées (inclinaison $\geq 80^\circ$) semble donc être la solution la plus efficace pour arriver à cette fin. Les cheminées fortement inclinées entraînent toutefois une plus grande compaction du minerai lorsque le niveau de celui-ci est bas. Si le niveau de minerai n'est pas suffisamment élevé, sa compaction dans la chute peut-être assez grande pour empêcher l'écoulement lors de l'ouverture de celle-ci. Le maintien d'un "coussin" de minerai dans le bas des cheminées permet de prévenir la compaction dans les chutes. Beus et al. (1999) ont démontré que les impacts dynamiques sur les chutes dans une cheminée inclinée à 80° devenaient négligeables après le déversement de cinq godets de chargeuses-navettes.

6.3.1 Angle de départ de la cheminée

Il est fréquent d'excaver les premières rondes à un angle inférieur à celui de la cheminée. Cette pratique est particulièrement rencontrée dans le cas des cheminées excavées à l'aide d'un Alimak. L'angle de départ aura une grande influence sur l'écoulement du matériau. Idéalement, cet angle doit être inférieur d'environ 15° à celui de la cheminée sur 5 à 10 m de longueur. L'angle de départ ne doit jamais être inférieur à 45° .

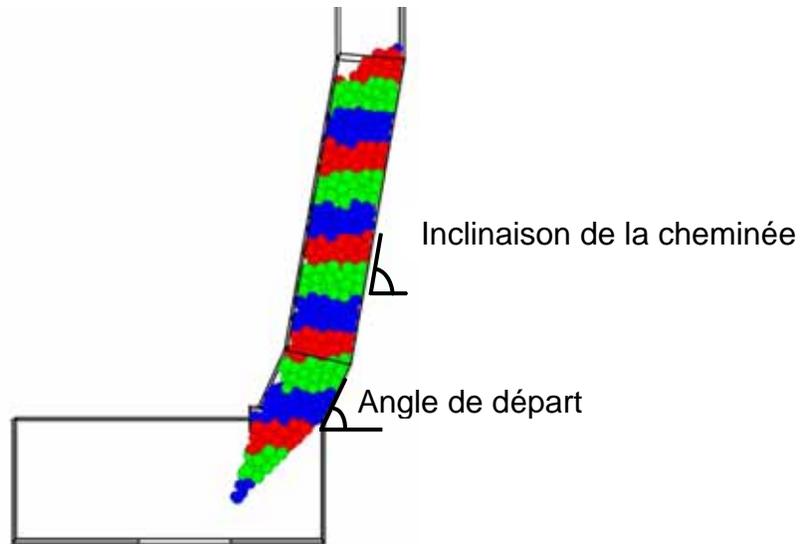


Figure 6.5. Angle de départ d'une cheminée.

Un angle de départ moins prononcé que l'inclinaison de la cheminée offre plusieurs avantages. Une telle configuration permet de mieux protéger la poutre de tête des chocs par impact dus au matériau en mouvement. La Figure 6.6a présente les résultats de simulations numériques effectuées dans le cas d'une cheminée inclinée à 80° avec un angle de départ de 65° . La Figure 6.6b présente les résultats d'une simulation pour la même inclinaison avec un angle de départ de 80° .

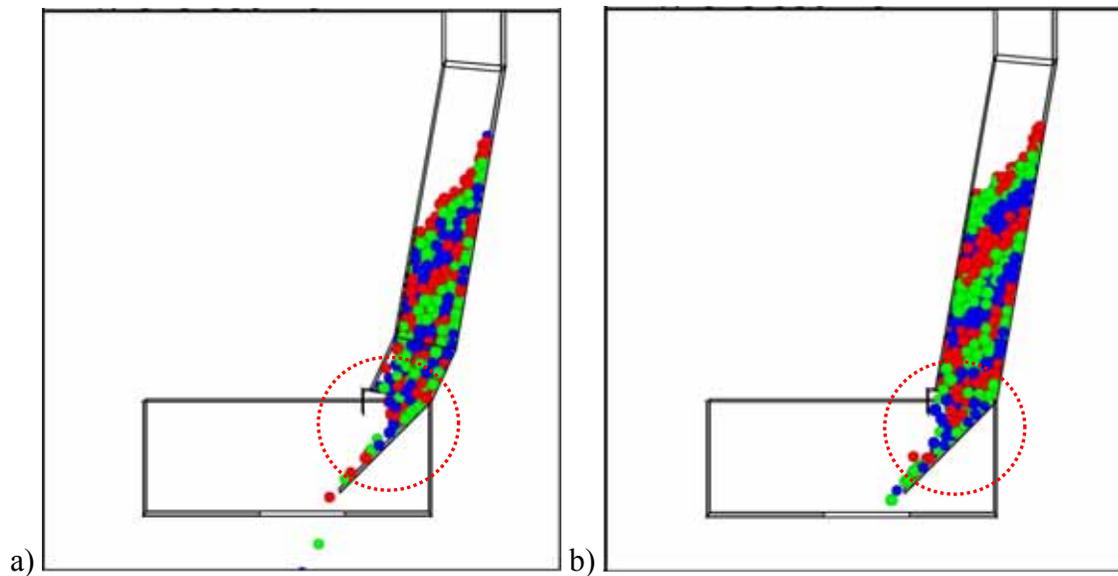


Figure 6.6. Influence de l'angle de départ sur la réduction des chocs par impact à la poutre de tête d'une cheminée inclinée à 80° : a) angle de départ de 65° , b) angle de départ de 80° .

Un angle de départ de 65° permet de ralentir sensiblement la vitesse de chute du minéral. D'après les opérateurs miniers, elle facilite aussi la fermeture du rideau de chaînes.

7 Contraintes dues au minerai

Il est important de bien évaluer les contraintes exercées par le minerai sur les infrastructures des chutes. La capacité structurale des infrastructures doit permettre à celles-ci de résister aux contraintes statiques exercées par le minerai dans la cheminée et aux contraintes dynamiques causées par son mouvement (comme, par exemple, les chocs par impact). Pour une analyse détaillée de la conception des structures d'acier, il est suggéré de se référer à Achilleoudes et Krige (2005).

7.1 Évaluation de la contrainte statique

Beus et al. (2001) proposent la relation suivante afin d'évaluer la contrainte verticale moyenne exercée par un matériau dans une cheminée à minerai :

$$\sigma_v = \left(\frac{\gamma \left(\frac{A}{P} \right) - cM}{M \tan(\phi)} \right) \left\{ 1 - \exp \left[- zM \tan(\phi) \left(\frac{A}{P} \right) \right] \right\}$$

où :

- σ_v = contrainte verticale moyenne (kPa)
- γ = poids volumique du matériau (kN/m³)
- A = aire de la section transversale de la cheminée (m²)
- P = périmètre de la section transversale de la cheminée (m)
- c = cohésion (kPa)
- M = $1/[1+2 \tan(\phi)]$
- ϕ = angle de friction entre le matériau et la paroi
- z = hauteur de la colonne de minerai sous-jacente

La Figure 7.1 présente les contraintes verticales moyennes évaluées avec l'équation 7-1 pour des cheminées carrées de dimension D égale à 1.5, 2.5, 3.5 et 4.5 m. Un angle de friction de 45°, une cohésion nulle et un poids volumique, typique de sulfures massifs, de 36 kN/m³ ont été considérés dans l'analyse.

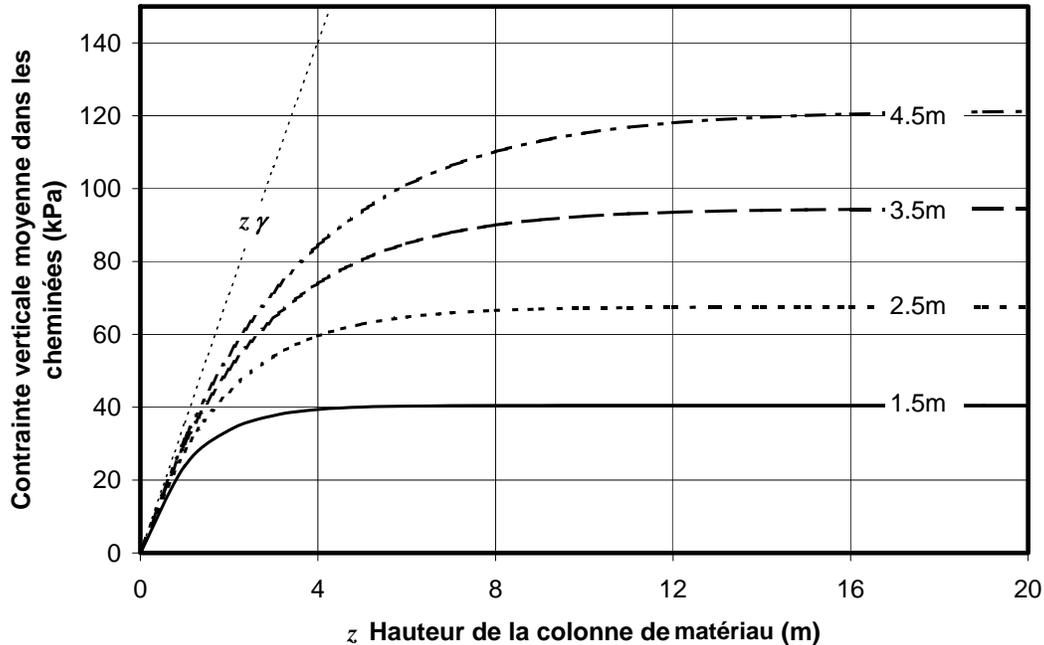


Figure 7.1. Pression verticale dans des cheminées carrées de 1.5 à 4.5 m de côté.

La Figure 7.1 montre l'influence de la dimension des cheminées sur la contrainte verticale moyenne dans celles-ci. On peut remarquer un effet d'arche significatif dû aux parois. Dans l'ordre de grandeur des cheminées rencontrées dans la base de données, soit 1.5 à 4.5 m, la contrainte verticale moyenne, σ_v , atteint une valeur maximale dès que le niveau du matériau est supérieur à 2.5 fois la dimension du silo.

7.1.1 Cas d'un matériau sous forme de pulpe

Dans le cas où le matériau est constitué d'une forte proportion de fines (utilisation de remblai en pâte, etc.) et que l'on suspecte la présence d'eau en grande quantité dans la cheminée, il est nécessaire de prévoir la possibilité que le matériau puisse se retrouver sous forme de pulpe (slurry). Dans ce cas, Achilleoudes et Krige (2005) recommandent d'évaluer la contrainte hydrostatique (p_n) par la relation suivante:

$$p_n = \rho g h_b$$

où:

- ρ = masse volumique du matériau sous forme de pulpe
- g = accélération gravitationnelle (9.81 m/s²)
- h_b = hauteur du matériau dans la cheminée jusqu'à concurrence de 30 m.
(poser $h_b = 30$ m si la hauteur du matériau >30 m).

La contrainte statique exercée par un matériau sous forme de pulpe est beaucoup plus grande que celle prédite par Beus et al. (2001) pour un matériau sec ou humide. Cela démontre bien l'importance de minimiser les sources d'infiltration d'eau dans les cheminées et de bien gérer l'utilisation de l'eau lors des opérations de déblocage dans les chutes et les cheminées.

7.2 Contraintes dynamiques

Goodwill et al (1999) suggère d'évaluer les contraintes dynamiques à l'impact (σ_{imp}) dans une cheminée verticale par la relation suivante:

$$\sigma_{imp} = \frac{wV}{gA}$$

où:

- w = débit massique du matériau
- V = vitesse au point d'impact
- g = accélération gravitationnelle (9.81 m/s²)
- A = aire au point d'impact

Goodwill et al. (1999) suggère 60 m/s comme estimateur de la vitesse au point d'impact des fragments rocheux tombant dans une cheminée vide.

Cette relation permet d'évaluer la contrainte dynamique maximale à l'impact, c'est-à-dire lorsque la cheminée est vide.

Blight et Haak (1994) ont effectué des tests d'impact sur les chutes. Ils ont démontré que les contraintes dynamiques peuvent être estimées à quatre fois les contraintes statiques dans le cas d'une cheminée verticale. Ce rapport diminue avec l'inclinaison de la cheminée pour atteindre 1.1 dans le cas d'une cheminée inclinée à 50°.

D'après Beus et Iverson (2000), la contrainte dynamique à l'impact diminue rapidement avec la hauteur de matériau dans la cheminée pour devenir négligeable après que 3 à 5 godets de chargeuse-navette d'une capacité de 6 verges cube aient été déversés dans la cheminée. Le matériau au-dessus de la chute agit comme un coussin qui amorti les chocs par impact.

Il est possible de réduire l'ampleur des contraintes dynamiques sur les chutes en instaurant une procédure spéciale de remplissage lorsque la cheminée est vide. Il s'agit simplement de remplir graduellement la cheminée de stérile concassé jusqu'à quelques mètres au-dessus de la poutre de tête. Pour une cheminée de dimension typique (2.1 m x 2.1 m), l'équivalent de 5 godets de 6 verges cube, déversés par coup de quart de godet, devrait suffire.

8 Système de monitoring du niveau de matériau

Une gestion efficace du niveau de matériau dans les cheminées va de concert avec l'implantation d'un programme de monitoring. La connaissance en continu du niveau de matériau dans les cheminées est souhaitable afin de ne jamais permettre une vidange complète et ainsi protéger les chutes. Le monitoring du niveau en continu est habituellement réalisé à l'aide de mesures de distance au laser. Les succès sont toutefois mitigés étant donné les conditions environnantes hostiles rencontrées dans les cheminées. Le brouillard et la poussière nuisent au bon

fonctionnement du laser. L'expérience semble indiquer que les succès sont associés aux cheminées dont la longueur est inférieure à 30 m. Des systèmes sonar commencent à faire leur apparition. Ces systèmes seraient moins sensibles à la poussière.

Selon les résultats de modélisations numériques réalisées, une chute située dans une monterie de transfert connectée à une cheminée, Figure 5.1b, permet l'installation d'un système de monitoring plus efficace dans les cheminées inclinées. L'angle de mouvement du minéral dans la configuration présentée à la

Figure 8.1a fait en sorte qu'il est difficile d'évaluer adéquatement la hauteur du minéral en cours de soutirage. La configuration illustrée à la

Figure 8.1b permet une lecture beaucoup plus précise du niveau afin de prévenir une vidange complète de la cheminée. Dans le cas d'une cheminée verticale, les deux configurations permettront une bonne lecture du niveau de minéral.

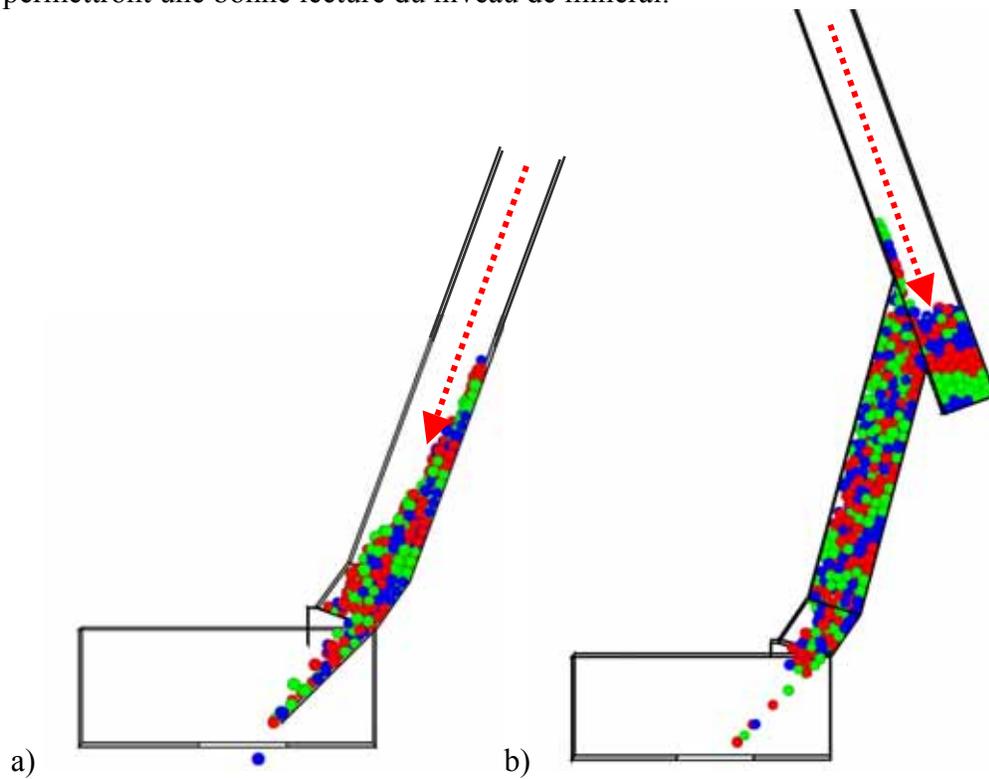


Figure 8.1. Ligne de visée d'un système laser dans une cheminée inclinée à 70°: a) configuration typique b) monterie de déversement connectée à la cheminée.

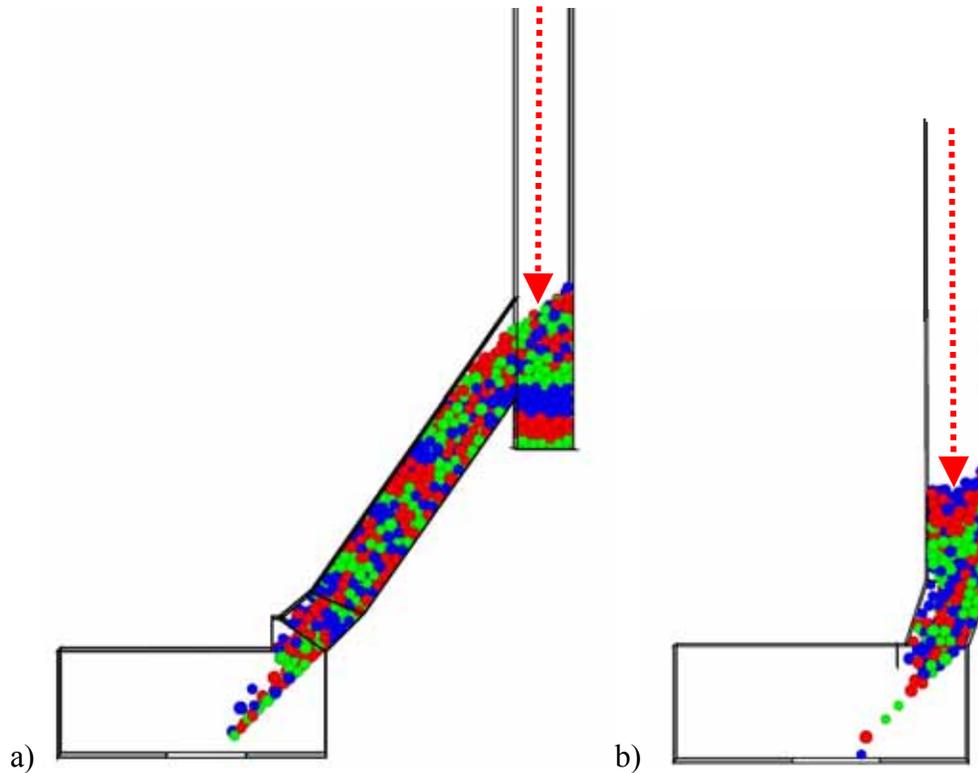


Figure 8.2. Ligne de visée d'un système laser dans une cheminée inclinée à 90° : a) monterie de déversement connecté à la cheminée b) configuration typique.

9 Consignes opérationnelles

9.1 Maintien d'un niveau de matériau dans la cheminée.

Afin de prévenir la compaction dans les chutes et de protéger les infrastructures, un niveau minimum de minerai au-dessus de la poutre de tête équivalent à 5 ou 6 godet de 6 verges cube devrait être laissé en tout temps dans une cheminée dont l'inclinaison est comprise entre 80° et 90° . Pour les cheminées dont l'inclinaison est comprise entre 60° et 70° , le coussin requis devrait être de 10 à 11 godets afin de s'assurer que le minerai recouvre la poutre de tête malgré l'angle de repos. Le minerai en place forme aussi un bouchon empêchant l'air de passer d'un niveau à l'autre et évite ainsi les court-circuits dans le réseau de ventilation.

Le maintien d'un niveau prédéterminé de matériau n'est pas vraiment possible sans l'installation d'un système de monitoring. Idéalement, la porte contrôlant l'ouverture de la chute devrait se refermer automatiquement pour empêcher une vidange complète de la cheminée. Il est donc important de planifier l'installation d'un tel système si un contrôle efficace du niveau de matériau est souhaité.

9.2 Prévention de la consolidation du matériau

Un minerai comportant une importante proportion de fines risque de se consolider. Un niveau de matériau bas dans la cheminée minimise le phénomène de consolidation, mais augmente la compaction dans les chutes. À l'inverse, un niveau élevé minimise la compaction, mais peut augmenter la consolidation.

De manière préventive, un soutirage fréquent (i.e. plus d'un soutirage par quart de travail) est une solution simple et efficace pour minimiser la consolidation du matériau. Par contre, étant donné différentes contraintes, la production d'une mine ne provient pas toujours des mêmes niveaux. Il peut donc être difficile d'atteindre un équilibre entre la nécessité de soutirer fréquemment le minerai d'une cheminée et celle de garder un niveau minimum au-dessus des chutes. Dans ces cas, une solution préventive n'est pas vraiment envisageable.

Une autre solution, plus coûteuse mais plus efficace, consiste en l'installation d'un système de soufflerie dans les chutes de même que dans la zone de matériau passif, Figure 9.1. Un tel système force le mouvement du matériau dans la zone passive, prévenant ainsi sa consolidation. L'air comprimé permet aussi de faciliter le déblocage d'éventuelles arches cohésives dans la chute, causées par la consolidation ou par la compaction. La mise en place d'un tel système est relativement aisée à condition d'être planifiée lors de la construction du système de chute. Le réseau de tuyaux est installé avant de couler les structures de béton de la chute. Plusieurs sorties d'air devraient être installées dans la zone d'écoulement en bouchon (funnel flow).



Figure 9.1. Système de soufflerie typique.

L'installation d'une chute à glissière vibrante est une autre méthode permettant de forcer le mouvement du matériau cohésif. À la connaissance des auteurs, cette méthode est rarement utilisée dans l'industrie minière québécoise. La construction typique des chutes dans les cheminées à minerai, c'est-à-dire la construction sur le roc de plancher et de mur de béton, rend difficile l'installation d'un système vibratoire. Par contre, l'installation d'un tel système serait possible dans le cas de chutes à chargement latéral, Figure 3.3, ou à chargement en ligne, Figure 3.4.

10 Déblocage des chutes

Une conception adéquate des chutes à minerai devrait réduire considérablement l'occurrence des blocages par enchevêtrements rocheux. Un système de soufflerie, jumelé à une bonne gestion du minerai dans les cheminées devrait prévenir la formation d'arches cohésives. Il est toutefois possible, malgré tout, d'observer la formation de blocage. Les méthodes de déblocage suggérées par Hadjigeorgiou et Lessard (2004b) sont reproduites ici.

10.1 Déblocage par ajout d'eau

Cette méthode est utilisée lorsqu'un blocage ou une accumulation de matériau est situé dans les infrastructures de contrôle du soutirage du minerai tel les chutes ou les chaînes de contrôle. La zone de blocage est alors lavée par un opérateur à l'aide d'un boyau muni d'une lance.

L'arrosage permet généralement de réduire les forces de friction internes du minerai et ainsi d'éliminer le blocage ou l'accumulation. Cette méthode est illustrée à la Figure 10.1.

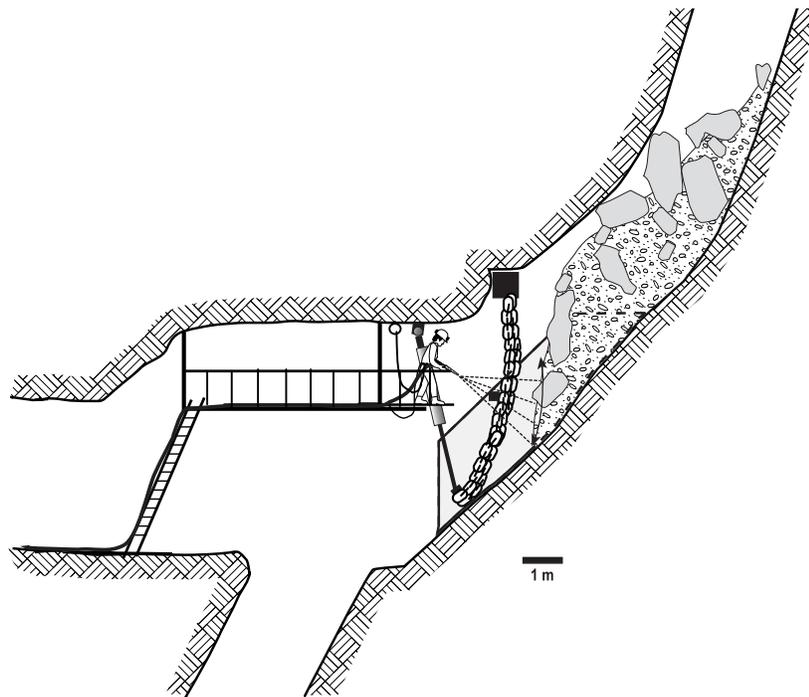


Figure 10.1. Méthode de déblocage par lavage par un point plus bas que le blocage.

10.1.1 Applicabilité

L'utilisation de cette méthode doit être limitée aux blocages dans les infrastructures de contrôle du mouvement du minerai. Cette méthode doit être utilisée uniquement quand les travailleurs affectés aux opérations de déblocage peuvent se positionner de façon sécuritaire, par exemple sur une passerelle. Le travailleur doit pouvoir procéder au lavage sans risque de se faire heurter par la roche dans le cas où le blocage céderait subitement.

Cette dernière méthode ne doit pas être utilisée si une tentative infructueuse de déblocage par ajout d'eau par-dessus le blocage a été entreprise précédemment. Dans ce dernier cas, un délai suffisant doit permettre à l'eau de se drainer afin d'éliminer les risques de coulées de boue. Il est primordial d'établir des procédures strictes concernant la quantité maximale d'eau pouvant être introduite dans la cheminée, en particulier si l'eau peut continuer de s'écouler dans la cheminée, telle qu'illustrée à la Figure 10.1.

10.1.2 Efficacité

L'efficacité du lavage à l'aide d'un boyau d'arrosage est dépendante du type de blocage rencontré. La plupart des opérations minières utilisent cette méthode en premier lieu dans le cas de blocage dans les infrastructures de contrôle du mouvement du minerai. Cette méthode est généralement considérée efficace dans plus de 50% des cas. Le lavage à l'aide d'un boyau est particulièrement efficace dans le cas des blocages par arches cohésives. Le lavage serait également efficace dans le cas des blocages par enchevêtrements rocheux. Le lavage permet de dégager la portion fine du minerai entre les blocs rocheux et ainsi augmenter le degré de liberté de mouvement de ceux-ci, ce qui permet habituellement le déblocage.

10.2 Déblocage à l'aide de perches et de charges explosives

10.2.1 Description

Cette méthode consiste à placer une charge explosive près du blocage à l'aide de perches de bois ou d'aluminium. La charge explosive est simplement fixée aux baguettes et celles-ci sont assemblées les unes aux autres jusqu'à ce que la charge atteigne la zone d'obstruction. Un chariot rudimentaire est souvent utilisé afin de faciliter le positionnement de la charge près de l'accrochage, Figure 10.2. Une illustration de cette méthode est présentée à la

Figure 10.3.

L'utilisation de cette technique est sécuritaire pour l'opérateur dans la mesure où celui-ci a la possibilité de se protéger afin de ne pas être atteint par le minerai qui se décrocherait subitement lors du hissage de la charge.

10.2.2 Applicabilité

L'utilisation de cette méthode est limitée aux accrochages situés au maximum à 20 m au-dessus des chaînes de contrôle.

10.2.3 Efficacité

Cette méthode est plus efficace dans le cas des enchevêtrements rocheux. Pour les arches cohésives, son efficacité est discutable puisqu'elle peut entraîner la compaction du minerai et rendre ainsi plus difficile le déblocage.

Il est fréquent que l'utilisation de plusieurs charges successives soit requise. Le hissage de charges supplémentaires, dans le cas où l'accrochage demeure, doit être effectué en tenant compte du fait que la masse de roche peut céder à tout moment. Le désavantage principal de cette méthode est qu'elle est susceptible d'endommager les chutes.

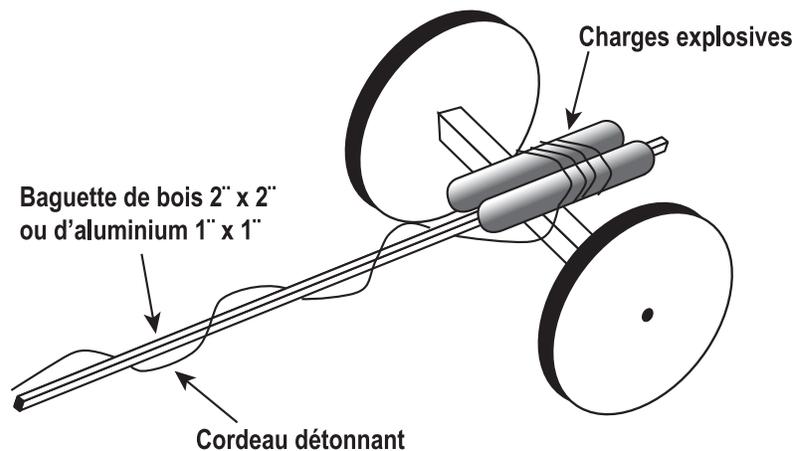


Figure 10.2. Chariot pour hisser les perches et les charges explosives.

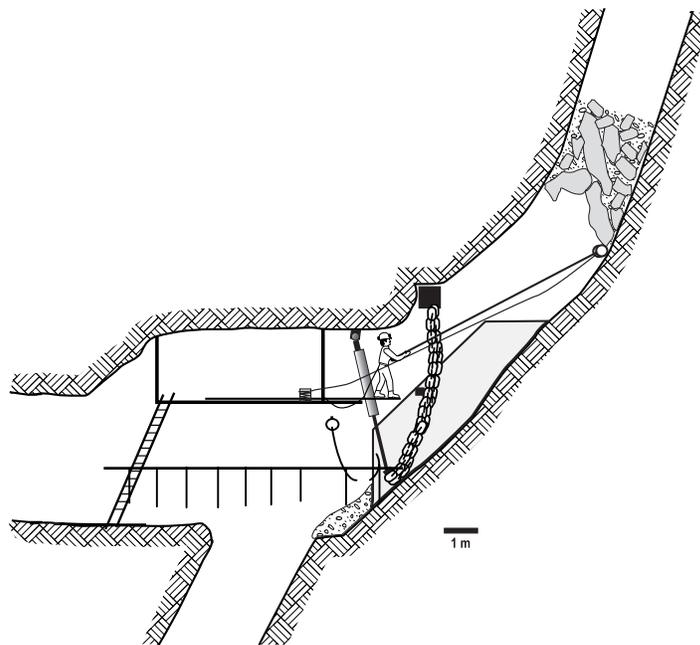


Figure 10.3. Utilisation de perches et d'explosifs.

11 Références

- Achilleoudes S. & Krige G.J. The Influence of Rockpass Excavation and Operation on the Structural Design of Box Fronts. *Journal of South African Institute of Mining and Metallurgy*, vol 105 765-770 (2005).
- Beus M.J., Pariseau W.G., Stewart B.M. & Iverson S.R. Design of Ore Passes. *Underground Mining Methods*, SME, Chapter 71, 627-634 (2001)
- Beus M.J., Iverson S.R., Dreschler A. & Scott V. Static and Dynamic Loads in Ore and Waste Rock Passes in Underground Mines. *Proceedings of the 37th U.S. Rock Mech. Symp.*, Vail, Colorado, 489-495 (1999).
- Goodwill D.J., Craig D.A. & Cabrejos F. Ore Pass Design for Reliable Flow, *Bulk Solids Handling*, Vol 19, no.1: 13-21 (1999)
- Hadjigeorgiou J. & Lessard J.F. Dimensionnement des chutes à minerai. Rapport final soumis à l'IRSST, en cours de publication. (2007).
- Hadjigeorgiou J. & Lessard J.F. Guide de déblocage des cheminées à minerai et à stérile. IRSST, Rapport no RG2-380. 17 p. (2004a).
- Hadjigeorgiou J. & Lessard J.F. Conception des cheminées à minerai et à stérile. IRSST, Rapport no R-380. 24 p. (2004b).
- Kvapil R. Gravity Flow of Granular Material in Hoppers and Bins in mines – II Coarse Material. *Int. J. Rock Mech. Mining Sci.* **2**, 277-304 (1965).
- Lessard J.F. & Hadjigeorgiou J. Guide de conception des cheminées à minerai et à stérile. IRSST, Rapport no A-380. 23p. (2004).
- Pariseau W.G. The Gravity Induced Movement of Materials in Ore Passes Analyzed As a Problem in Coulomb Plasticity. Ph.D. Thesis University of Minnesota (1966).
- Poxleitner R., Darling G., & Nylund E. Adapting Kiruna Chutes. 13th CIM Mine Operators Conference, Sudbury, (1997).

12 Liste sommaire des fabricants de chutes préfabriquées

Nordic Mine Technology.
35 Glenbourne Park Drive
Markham, Ontario
Canada, L6C 1H5
(905) 887-1232
(905) 887-1235

Wabi Iron and Steel corp.
330 Broadwood avenue
P.O. Box 1510
New Liskeard, On
Canada, P0J 1P0
(705) 647-4383

Dorr-Oliver Eimco – Mines Division
174 West St. South,
Orillia, On
Canada, L3V 6L4
Office: (705) 325-6181
Fax: (705) 325-2347
www.glv.com

Mining Technologies International Inc.
1147 Des Foreurs,
Val d'Or, Qc.
Canada, J9P 6X9
Tel: (819) 824-3156 Fax: (819) 824-3257
www.mti.ca