

2005

Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises

Charles Gagnon
Université Laval

Kostas Fytas
Université Laval

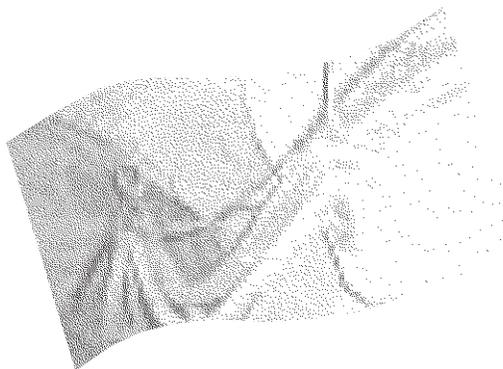
Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: <https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique>

Citation recommandée

Gagnon, C. et Fytas, H. (2005). *Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises* (Rapport n° R-432). IRSST.

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

**Développement d'une banque
de données de facteurs
de friction de ventilation
pour les mines québécoises**

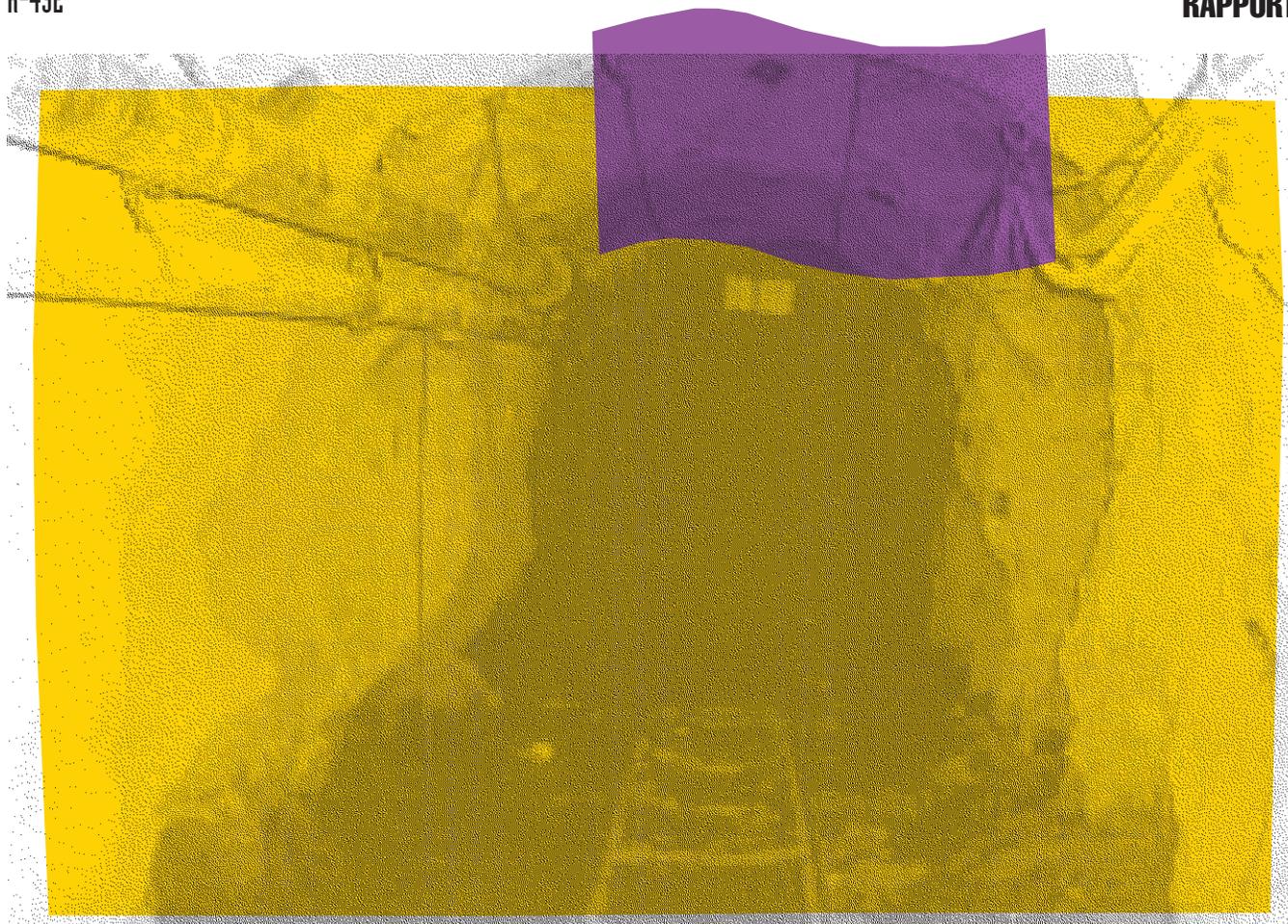


**ÉTUDES ET
RECHERCHES**

Charles Gagnon
Kostas Fytas

R-432

RAPPORT





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 *travaillent pour vous !*

MISSION

- ▶ 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

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,
septembre 2005

Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises

Charles Gagnon et Kostas Fytas

Département de génie des mines, de la métallurgie et des matériaux, Université Laval

ÉTUDES ET RECHERCHES

RAPPORT

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca



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

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

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

IRSSST -	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	i
----------	---	---

Sommaire

Ce rapport est une synthèse des résultats obtenus dans le cadre d'une campagne de cueillette de facteurs de friction « K » dans les mines métalliques souterraines québécoises. L'objectif principal de ce projet était la mise sur pied d'une banque de données détaillée des facteurs K calculés lors de cette campagne et d'y inclure l'ensemble des facteurs K qui ont été publiés dans le passé ailleurs dans le monde. De ce fait, 137 facteurs K ont été mesurés dans 10 mines métalliques du Québec : Beaufor (Val-Senneville), Bell-Allard (Matagami), Bouchard-Hébert (Rouyn-Noranda), Doyon, (Rouyn-Noranda), Laronde (Cadillac), Louvicourt (Louvicourt), Géant-Dormant (Amos), Mouska (Rouyn-Noranda), Niobec (St-Honoré), Raglan (Katinniq). De plus, 244 facteurs K calculés ailleurs dans le monde ont été annexés à la banque de données, dont les suivants : Prosser et Wallace (1999), McPherson (1993), Fytas et Garant (1988), Gangal et Notley (1985), Billette (1984), CANMET, Romensky (1969), Frost (1946), Devillez (1939), Greenwall (1939), McElroy (1930), Cooke et Statham (1928-29) et Murgue (1893-94).

En ce qui a trait aux facteurs K mesurés à l'intérieur de ce projet de recherche, les résultats ont été répertoriés selon plusieurs paramètres pouvant affecter leurs valeurs : le type d'ouverture, le type de soutènement, l'aspérité des parois, le type de géologie et le degré de courbure. De plus, des indications sur les obstacles et les conditions propres à chaque section étudiée sont mentionnées. Ce qui décrit le mieux l'aspect pratique de cette banque de données est la possibilité de visionner une photographie et dans certains cas, le patron de forage de développement des emplacements où les relevés ont été effectués. Ainsi, l'utilisateur de la banque de données peut voir les conditions in-situ de l'ouverture, ce qui facilite le choix du facteur K approprié.

Des 137 facteurs calculés, 28 ont été mesurés dans des petites galeries (gisements filoniens), 45 dans des grandes galeries (gisements poly-métalliques), 16 dans des rampes en spirale, 34 dans des rampes droites, 12 dans des cheminées de ventilation et 2 dans des puits.

Table des Matières

Sommaire	i
Table des Matières	iii
Liste des Tableaux.....	iv
Liste des illustrations.....	iv
Liste des figures	v
Liste des graphiques	v
1. Introduction	1
2. Rappel de la problématique, de l'état des connaissances et des objectifs de recherche.....	1
3. Méthodologie et calculs	3
3.1. Masse volumique (ρ) de l'air et humidité relative (Φ).....	4
3.2. L'aire (A) et le périmètre (P).....	5
3.3. La longueur (L)	5
3.4. La vitesse de l'air (V).....	5
3.5. Les pertes par friction et par chocs (H)	7
4. Exemples de calculs	9
4.1. Relevé effectué à la mine Beaufor dans une petite galerie (niveau 12)	9
4.2. Technique du saute-mouton	9
4.3. Situation de la galerie et des stations	10
4.4. Premières mesures et observations.....	10
4.5. Aire et périmètre.....	12
4.6. Propriétés de l'air	13
4.7. Perte de charge	14
4.8. Calcul des facteurs K.....	16
4.9. Observations sur les résultats	17
5. Résultats	19
5.1. Grandes galeries :	19
5.2. Petites Galeries :	21
5.3. Rampes Droites :	22
5.4. Rampes en Spirale :	24
5.5. Cheminées de ventilation :	26
6. Discussion	29
6.1. Analyse quantitative des caractéristiques physiques.....	32
6.2. Comparaison entre les facteurs K mesurés et ceux tirés de la littérature	34
7. Applicabilité des résultats	38
8. Conclusion.....	41
9. Retombées éventuelles	43
Bibliographie.....	44
ANNEXE A :	48
Calcul de l'humidité relative et de la masse volumique de l'air	48
ANNEXE B :	49
Détermination du rapport de densité (DR).....	49
ANNEXE C :	50
Détermination du facteur de conversion (FC).....	50
ANNEXE D.....	51

iv	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

Tableau synthèse des facteurs K mesurés lors de la campagne de l'Université Laval, 2003	51
ANNEXE E	57
Facteurs K de références	57

Liste des Tableaux

Tableau 1 : relevées, mine Beaufor galerie niveau 12	11
Tableau 2 : aire et périmètre des stations	13
Tableau 3 : calculs des propriétés psychrométriques de l'air ambiant	14
Tableau 4 : détermination des pertes de charges entre les stations de mesures	15
Tableau 5 : calcul des facteurs K entre les stations de mesure	16
Tableau 6: détail des résultats du relevé de mesure des facteurs K	18
Tableau 7 : synthèse des facteurs K mesurés dans les grandes galeries	19
Tableau 8: synthèse des facteurs K de la situation type de base pour les grandes galeries	20
Tableau 9 : synthèse des facteurs K mesurés dans les petites galeries (gisements filoniens)	21
Tableau 10 : synthèse des facteurs K de la situation type de base pour les petites galeries	22
Tableau 11 : synthèse des facteurs K pour les rampes droites	22
Tableau 12 : synthèse des facteurs K de la situation type de base pour les rampes droites	24
Tableau 13 : synthèse des facteurs K mesurés dans les rampes en spirale	24
Tableau 14 : synthèse des facteurs K de la situation type de base pour les rampes en spirale	25
Tableau 15 : synthèse des facteurs K mesurés dans les cheminées de ventilation	27
Tableau 16 : regroupement des facteurs K recueillis dans les cheminées de ventilation	28
Tableau 17 : regroupement de facteurs K selon l'état physique des ouvertures	33
Tableau 18 : regroupement des facteurs K issus de la littérature récente	35
Tableau 19 : comparaison des données de Prosser et Wallace et celles de la présente campagne	37
Tableau 20 : comparaison des facteurs K moyens de Gangal et Notley et ceux de la présente campagne	38
Tableau 21 : résumé des précisions relatives aux appareils et aux méthodes de mesure	40

Liste des illustrations

Illustration 1 : exemple de photographies prises en vue de déterminer l'aire de la galerie	5
Illustration 2 : exemple de digitalisation faite à partir de l'illustration 1	5
Illustration 3 : exécution d'un balayage	6
Illustration 4 : anémomètre	6
Illustration 5 : photo d'un altimètre	8
Illustration 6 : photographie prise sur la section de la galerie du niveau 12 en vue de déterminer l'aire et le périmètre	12
Illustration 7 : vue de la galerie de la mine Beaufor niveau 12	17
Illustration 8 : vue d'une cheminée de ventilation; creusage par RBM	27
Illustration 9 : paroi très lisse	30
Illustration 10 : paroi très lisse	30
Illustration 11 : paroi « lisse »	30

IRSSST -	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	v
----------	---	---

Illustration 12 : paroi « lisse ».....	30
Illustration 13 : paroi « moyennement lisse ».....	31
Illustration 14 : parois « moyennement lisse ».....	31
Illustration 15 : paroi « rugueuse ».....	31
Illustration 16 : paroi « rugueuse ».....	31
Illustration 17 : paroi « très rugueuse ».....	32
Illustration 18: paroi « très rugueuse ».....	32

Liste des figures

Figure 1 : tracé effectué lors d'un balayage.....	7
Figure 2 : méthode de relevé de pression en simultané (saute-mouton).....	10
Figure 3 : vue en plan de la galerie et des stations de mesure (source : mine Beaufor, Richmond Inc.).....	10
Figure 4 : digitalisation de l'image 6.....	12
Figure 5 : superposition des 5 digitalisations.....	13
Figure 6 : vue isométrique d'une rampe droite (source mine Louvicourt, Aur resources Inc.).....	22
Figure 7 : vue aérienne (plan) d'une rampe spirale (source : mine Bell-Allard, Noranda Inc.).....	24
Figure 8 : détermination graphique du rapport de densité à partir de l'humidité relative et de la température sèche (source : Hartman 1992).....	49

Liste des graphiques

Graphique 1 : histogramme des facteurs K mesurés dans les grandes galeries.....	20
Graphique 2 : histogramme des facteurs K mesurés dans les petites galeries.....	21
Graphique 3: histogrammes des facteurs K mesurés dans les rampes droites.....	23
Graphique 4 : histogramme des facteurs K mesurés dans les rampes spirales.....	25

IRSSST -	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	1
----------	---	---

1. Introduction

Pour planifier un réseau de ventilation souterrain, le responsable de la ventilation doit estimer plusieurs paramètres nécessaires à la simulation. Le plus important est sans doute le facteur de friction K . Ce dernier est la quantification de la résistance (par friction) des parois de la galerie au passage de l'air. Le département du génie des mines, de la métallurgie et des matériaux de l'Université Laval a bénéficié d'une subvention de l'IRSSST pour mettre en place une banque de données de facteurs K en vue de l'annexer au logiciel de simulation de ventilation minière EoLaval. Une base de données de type « utilitaire » a été développée. Pour faciliter l'utilisation de cette banque de données, nous avons également pris soin d'y insérer des facteurs K qui ont été mesurés par le passé ailleurs dans le monde. Ainsi, l'utilisateur aura le choix de la provenance des facteurs de friction qu'il utilisera lors de ses simulations. Toutefois, les facteurs K calculés dans le présent rapport incluent non seulement la friction entre l'air et les parois mais également les pertes par chocs. Il s'agit de pertes dues à différents éléments : changement d'aire de l'ouverture, présence d'ouvertures (baie de sécurité, station électrique, station d'aiguillage, points de soutirage, puisard, etc.) et à la présence d'obstacles tels que des tuyaux, fils électriques, boiseries, machinerie, etc. Il est à noter que tous les éléments susceptibles d'influencer chaque facteur K ont été identifiés sur le terrain et pris en considération lors de l'analyse des résultats. De plus, pour aider l'utilisateur de la banque de données informatisée à mieux visualiser les conditions retrouvées sur le terrain lors de la prise des données, nous avons inclu des photos des parois ainsi que le patron de forage de développement associé au type d'ouverture lorsque celui-ci était disponible. Ainsi, l'utilisateur bénéficiera de plusieurs outils pour faciliter le choix des facteurs K à associer à la simulation d'un réseau de ventilation. Il est important de mentionner que la banque de données est un moyen empirique d'associer un facteur K à un type d'ouverture souterraine. La banque de données doit être utilisée seulement lorsqu'il est impossible d'obtenir une valeur mesurée localement parce que le technicien ou l'ingénieur en ventilation ne dispose pas de l'instrumentation nécessaire à son calcul ou que la mine est au stade de développement.

2. Rappel de la problématique, de l'état des connaissances et des objectifs de recherche

La disponibilité de logiciels de simulation des réseaux de ventilation permet maintenant aux ingénieurs miniers d'effectuer des simulations de réseaux très complexes. La précision des résultats de telles simulations repose en grande partie sur l'exactitude des données initiales utilisées; le facteur de friction K est l'un de ces paramètres. Lorsque le facteur K ne peut être mesuré sur place parce que les instruments nécessaires ne sont pas disponibles ou que le réseau est encore au stade de la planification, celui-ci doit être estimé.

Selon la pratique industrielle courante au Québec, les ingénieurs ou techniciens en ventilation utilisent les valeurs de facteurs K disponibles dans la littérature. La référence principale en ce qui concerne les facteurs de friction K est malheureusement le résultat de vieux travaux du dernier siècle alors que le boisage était utilisé comme mode principal de soutènement (Rahim, 1976). Ceci a pour effet de surévaluer les facteurs K pour les mines modernes où l'on

2	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
---	---	---------

utilise le boulonnage comme moyen de support. D'autres facteurs K présents dans la littérature font référence aux mines de charbon (Kharkar, 1972 ; Ramani, 1977 ; Martinson, 1987 ; Wala, 1991) qui sont inexistantes au Québec. Les plus importantes campagnes de relevés de facteurs K effectuées précédemment un peu partout dans le monde se résument ainsi :

- Aux États-Unis, une étude systématique sur les facteurs K a été effectuée dans les années 1923-1924 dans la ville de Butte au Montana. En effet, en coopération avec « Anaconda Copper Mining Co. », G.E. McElroy procéda à un projet de recherche considérable sur ce sujet. Cent quarante-quatre facteurs K furent mesurés dans des petites galeries à rail et répertoriés selon le type de roche, le degré d'irrégularités, de sinuosité et d'obstruction de l'ouverture. Les résultats de cette étude représentent sans aucun doute l'ouvrage de référence le plus consulté sur ce sujet et ils sont toujours utilisés et cités dans les livres et les articles de référence en ventilation minière. McElroy publia deux ouvrages portant sur cette étude (McElroy, 1927 ; 1935). Ensuite, au milieu des années 50, il publia un article expliquant comment réaliser des relevés de pression sous terre avec des altimètres. Cet article a été une référence pour le présent projet de recherche puisque la méthode (indirecte) de prélèvement avec des altimètres a été utilisée (McElroy, 1954).
- En 1993, M.J. McPherson publia un livre sur la ventilation minière qui incorporait les facteurs K qu'il mesura au cours des années précédentes (McPherson, 1993). Durant les années 80, McPherson dirigea des études sur la résistance des puits et des galeries sur l'écoulement de l'air (McPherson, 1985, 1987, 1988). Notons qu'il participa de façon importante à l'expansion des connaissances sur le facteur de friction. Dans les années 70, il écrivit deux articles théoriques sur le sujet. Le premier, paru en 1971, justifiait l'utilisation du système international comme système d'unités du facteur K en démontrant qu'il est plus simple d'utiliser des unités cohérentes lors de calculs en ventilation minière (McPherson, 1971). Le second, datant de 1975, discutait de l'importance et des besoins liés aux facteurs K en ventilation minière (McPherson, 1975).
- La plus récente étude publiée sur le facteur K date de 1999 et fut effectuée par B.S. Prosser et K.G. Wallace. Ils mesurèrent des facteurs K pour des galeries, des rampes, des travers-bancs et des cheminées de ventilation. Les auteurs publièrent leurs résultats sous forme de statistiques en les présentant selon les valeurs mesurées maximums, minimums et moyennes (Prosser, 1999).

Les responsables de la ventilation minière n'ont d'autre choix que d'utiliser les facteurs K énumérés précédemment et cela même s'ils ne sont pas précis pour les conditions des mines modernes québécoises. Dans d'autres cas, ils estiment le facteur de friction d'une ouverture en fonction de l'expérience du responsable de la ventilation. Lorsque les résultats de la simulation ne concordent pas avec la réalité, le facteur K est ajusté en conséquence, ce qui peut être très long et fastidieux et peut mener à une fausse interprétation. À l'exception de quelques mesures évaluées sporadiquement dans le passé, il n'y a jamais eu de campagnes systématiques de mesure des facteurs de friction de ventilation au Québec.

La principale référence sur les techniques employées en vue de réaliser la campagne d'envergure dont il est question dans le présent rapport a été le livre de Hartman portant sur la

IRSST -	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	3
---------	---	---

climatisation en milieu minier et sur la ventilation minière. Dans ce volume de référence (Hartman, 1997), tout y est mentionné et démontré : la théorie sur les équations du facteur K ainsi que les techniques et les instruments à utiliser pour effectuer ce genre de prélèvement. Également, Raja V. Ramani publia les équations reliées à la conservation de l'énergie dans une conduite adaptée aux mines dans le *SME, Mining and Engineering Handbook*, ouvrage de référence multidisciplinaire pour les ingénieurs miniers (Ramani, 1992).

Cette campagne de mesure a été réalisée dans le but d'aider les responsables de ventilation à mieux estimer les facteurs K, c'est-à-dire, de leur permettre d'affecter un facteur de friction se rapprochant le plus de la réalité des mines modernes québécoises. Pour ce faire, il a fallu fixer des objectifs au projet :

- Mesurer systématiquement des facteurs K dans l'ensemble des mines souterraines québécoises (mines modernes à gisement polymétallique et mines à gisement filonien) pour informer l'utilisateur de la banque de données sur les valeurs des facteurs K calculés dans des conditions similaires à celles retrouvées dans la mine où il travaille. Des sous objectifs ont également été réalisés dans la façon de présenter les résultats obtenus :
 - Des photographies des parois ont été annexées pour permettre de voir les conditions réelles des ouvertures souterraines étudiées.
 - Lorsque possible, des patrons de forage ont également été joints pour montrer les techniques de fonçage utilisées lors de l'excavation.
 - Des descriptions des éléments obstructifs pouvant avoir affecté la valeur du facteur K.
- Créer une banque de données de facteurs K contenant l'ensemble des facteurs K mesurés jusqu'à aujourd'hui (excluant ceux mesurés dans les mines de charbon) pour permettre aux usagers de comparer toutes les valeurs disponibles, même celles issues des vieilles campagnes de mesure.

3. Méthodologie et calculs

La technique utilisée pour la mesure du facteur K est la technique indirecte par altimétrie (Mancha, 1946 ; McElroy, 1957 ; Ramani, 1992 ; Hartman, 1997)

Pour déterminer le facteur K, la formule utilisée est celle développée par Atkinson (équation 1) (Ramani, 1992 ; Hartman, 1997) :

$$H = \frac{KLPV^2}{A} \dots\dots\dots \text{Équation 1}$$

Où

H : pertes par friction et pertes par chocs entre les deux points du relevé de ventilation (Pa) ;

K : facteur de friction (kg/m³) ;

L : distance entre les deux points de mesure (m) ;

P : périmètre moyen de la galerie entre les deux points de mesure (m) ;

4	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
---	---	---------

V : vitesse moyenne de l'air entre les deux points de mesure (m/s) ;
 A : surface de la galerie entre les deux points de mesure (m²).

En isolant « K » la formule suivante est obtenue :

$$K = \frac{HA}{LPV^2} \dots\dots\dots \text{Équation 2}$$

Tous ces paramètres furent mesurés et calculés selon les méthodes décrites dans les prochains paragraphes : un exemple complet de calcul de facteur K est inclus plus loin dans le texte.

3.1. Masse volumique (ρ) de l'air et humidité relative (Φ)

La masse volumique de l'air et l'humidité relative ne sont pas des paramètres directs de l'équation d'Atkinson (équation 1). Par contre, ces paramètres sont essentiels pour ajuster les lectures prises avec les appareils de mesure aux conditions réelles que l'on rencontre sous terre. En effet, les conditions extrêmes et particulières (humidité relative et pression barométrique élevées) que l'on peut observer dans les mines peuvent fausser les données de vitesse de l'anémomètre et d'altitude de l'altimètre dû aux instruments de mesure calibrés pour des conditions normalisées (conditions psychrométriques de l'air humide relatives au niveau de la mer : masse volumique de l'air humide de 1,2 kg/m³ (0,075 lb/pi³) à une température sèche de 21 °C (70 °F) et une pression barométrique de 101,325 Kpa (29,92 po. Hg). Ainsi, à chaque station de mesure, les températures sèche et humide sont prises à l'aide d'un psychromètre. Ensuite, la masse volumique de l'air et l'humidité relative sont calculées. Pour ce faire, la méthode utilisée est définie à l'annexe A.

Afin de pouvoir comparer les facteurs K entre eux et de les utiliser plus adéquatement, il était nécessaire de convertir les facteurs K mesurés aux conditions spécifiques du terrain (K_s) aux conditions normalisées (K_n). Ainsi, une comparaison devient possible malgré les conditions différentes (température, pression barométrique) d'une mine à l'autre puisque tous les facteurs ont été ramenés aux conditions « normales » du niveau de la mer. Pour effectuer une simulation d'un réseau de ventilation, l'utilisateur de la banque de facteurs de friction devra corriger le facteur K sélectionné pour refléter les conditions spécifiques de l'endroit où l'air sera acheminé (K_s). Pour ce faire, l'utilisateur devra connaître la masse volumique de l'air ambiant. Pour les situations où la masse volumique n'est pas connue, un outil permettant d'estimer le facteur K corrigé à partir de l'altitude ou de la pression barométrique, de la température et de l'humidité relative a été inclus dans l'utilitaire. Voici la relation permettant de convertir le facteur K (Ramani, 1992 ; Hartman, 1997) :

$$K_n = K_s * \rho_{hn}/\rho_{hs} \dots\dots\dots \text{Équation 3}$$

Où :

K_n : facteur K normalisé

K_s : facteur K spécifique (in situ)

ρ_{hn} : masse volumique ou densité de l'air humide normalisée = 1,2 kg/m³ (0,075 lb/pi³)

IRSSST -	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	5
----------	---	---

ρ_{hs} : masse volumique de l'air humide spécifique

3.2. L'aire (A) et le périmètre (P)

Ces deux paramètres sont déterminés à partir d'une technique simple et très précise utilisée en 1985 par K.R. Notley de l'Université Queen's (Notley, 1985) mais inventée bien avant par E.L.J. Potts en 1945 (Potts, 1945-46). Il s'agit de prendre une photographie de la station. Lors de la prise de cette photo, le diaphragme de l'appareil doit être ouvert et le contour de la section doit être tracé avec une lampe de poche ; un objet de référence (une règle par exemple) doit être inséré. L'image obtenue est ensuite numérisée sur un logiciel tel qu'Autocad et permet ainsi de déterminer avec une bonne précision l'aire et le périmètre de l'ouverture.

La précision exacte de la technique fut difficile à évaluer puisque l'instrument le plus précis pour obtenir l'aire et le périmètre était le CMS et il a été impossible d'en obtenir un pour comparer les résultats d'une méthode avec l'autre. Le CMS requiert aussi une manipulation particulière nécessitant plus d'espace et de temps. La technique par imagerie, légère et compacte, permettait d'obtenir des résultats rapidement. Un exemple d'utilisation de cette méthode est présenté ci-bas par les illustrations 1 et 2 :

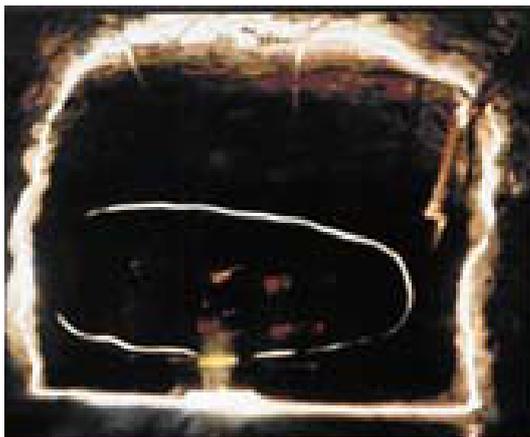


Illustration 1 : exemple de photographie prise en vue de déterminer l'aire de la galerie

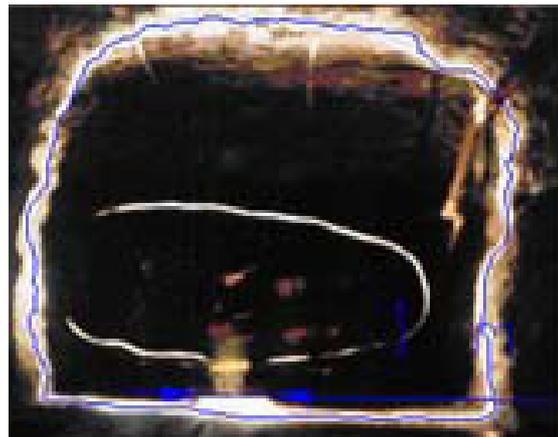


Illustration 2 : exemple de numérisation faite à partir de l'illustration 1

3.3. La longueur (L)

Il suffit de mesurer la distance entre nos deux points de mesure avec un ruban à mesurer pour déterminer la longueur.

3.4. La vitesse de l'air (V)

La vitesse de l'air est déterminée à l'aide d'un anémomètre électronique de marque Extech Instrument (illustration 4). À chaque station, la mesure de la vitesse de l'air est réalisée en effectuant un balayage sur la section complète de l'endroit (illustration 3 et figure 1). La technique du balayage est effectuée en minimisant le plus possible les erreurs dues à la distance entre le corps de l'observateur et l'appareil ainsi qu'à l'angle de déviation entre l'appareil et la

6	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
---	---	---------

direction du courant d'air. Ainsi, l'anémomètre est attaché au bout d'un bâton télescopique de 12 pieds de longueur afin de garder une distance maximale entre le corps de l'observateur et l'appareil. Durant le balayage, on garde aussi l'appareil perpendiculaire à la direction du courant d'air.



Illustration 3 : exécution d'un balayage



Illustration 4 : anémomètre

La technique du balayage consiste à capter la vitesse en continu de l'ensemble du courant d'air passant à l'intérieur de la section de la galerie où les lectures sont prises. Pour ce faire, l'opérateur fait parcourir au moulinet le tracé illustré à la figure 1 afin de couvrir l'intégralité de la section. Le tracé débute après que le moulinet ait été préalablement placé au point de départ et qu'il ait eu le temps d'atteindre sa vitesse de croisière (10 secondes). Par la suite, l'appareil enregistre les lectures prises en continu au cours du tracé. Une fois le tracé terminé, l'instrument fournit à l'utilisateur une moyenne des vitesses atteintes durant le tracé. Puisque l'appareil fait une moyenne pondérée en fonction du temps, il est important d'effectuer le tracé lentement et à vitesse constante pour que le gradient de vitesse de la section soit bien interprété sur la donnée finale et ainsi ne biaise pas la lecture obtenue.

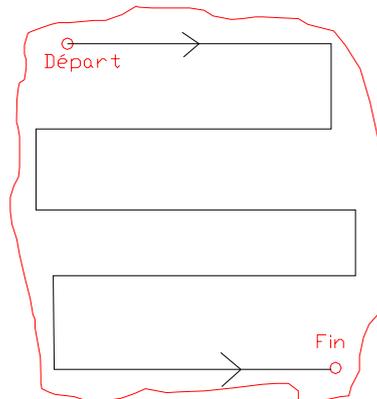


Figure 1 : tracé effectué lors d'un balayage

Il est important de mentionner que la lecture de l'anémomètre est corrigée selon la densité réelle de l'air puisque les anémomètres sont calibrés pour une masse volumique standard de 1,2 kg /m³. Ainsi, la valeur lue par l'appareil doit être multipliée par un facteur de correction traduit par la relation suivante (Hartman, 1997) :

$$\text{Facteur_de_correction_des_anémomètre } s = \sqrt{\frac{\rho_{hs}}{1.2}} \dots\dots\dots \text{Équation 4}$$

Où :

ρ_{hs} : masse volumique spécifique de l'air humide au point de mesure (trouvée selon les calculs présentés à l'annexe A)

En multipliant ce facteur par la vitesse moyenne mesurée, la vitesse corrigée de l'air (V_C) est obtenue.

3.5. Les pertes par friction et par chocs (H)

Deux altimètres modernes de marque SETRA 370 (illustration 5) sont utilisés pour déterminer la différence altimétrique entre deux points. L'altitude est lue en pieds pour obtenir la plus grande précision possible. Ensuite, connaissant l'élévation réelle et la vitesse de l'air à l'endroit où la lecture sur les altimètres a été déterminée, il est possible d'évaluer la perte de charge entre ces deux points. Il est alors possible d'effectuer un bilan d'énergie spécifique entre nos deux points et d'appliquer l'équation de Bernouilli. Cette dernière se traduit par l'expression représentée par l'équation 5 (Hartman, 1997):



Illustration 5 : photo d'un altimètre

Pertes :

$$H_{1,2,1} = (H_{s_2} - H_{s_1}) + (H_{v_2} - H_{v_1}) + (H_{z_2} - H_{z_1}) \dots \dots \dots \text{Équation 5}$$

Où :

- H_{s_2} et H_{s_1} : énergie statique en ces points (relevé altimétrique) ;
- H_{z_2} et H_{z_1} : énergie potentielle en ces points (élévation réelle) ;
- H_{v_2} et H_{v_1} : énergie cinétique en ces points (relevé de vitesse) ;
- $H_{1,2,1}$: pertes de charge entre les deux points de mesure.

Les pertes se traduisent par des pertes par friction et par chocs le long de l'ouverture (H). Ramani a transformé l'équation de Bernouilli de façon à intégrer les valeurs des altimètres, de l'altitude et de la vitesse ainsi que leurs facteurs de correction respectifs (Ramani, 1992 Hartman, 1997). Ces derniers éléments sont primordiaux puisque les valeurs des altimètres et de l'altitude sont influencées par la différence de la masse volumique de l'air. Ainsi, la formule suivante fut utilisée pour déterminer les pertes par friction et par chocs entre nos deux points de mesure :

$$H = \frac{- \left[(A_2 - A_1) - \frac{(Z_2 - Z_1)}{DR} \right]}{FC} + \frac{\rho (Vc_2^2 - Vc_1^2)}{2} \dots \dots \dots \text{Équation 6}$$

Où

- A_2 et A_1 : les deux lectures de l'altimètre en simultané aux points 1 et 2 (m) ;
- Z_2 et Z_1 : les altitudes réelles des points 1 et 2 (m) ;
- Vc_2 et Vc_1 : les vitesses de l'air corrigées aux points 1 et 2 (m/s) ;
- DR : le rapport de densité que l'on détermine avec la température sèche et la masse volumique de l'air. Son calcul est présenté en annexe B ;
- FC : le facteur de conversion qui permet de transformer les valeurs en mètres d'air en mm d'eau. Son calcul est présenté à l'annexe C ;
- ρ : la masse volumique de l'air humide (kg/m^3) (annexe A).

4. Exemples de calculs

4.1. Relevé effectué à la mine Beaufor dans une petite galerie (niveau 12)

L'exemple de calcul suivant provient de la galerie du niveau 12 de la mine Beaufor (illustrée à la figure 2). Des stations ont été créées à tous les 35 m à 60 m le long de la galerie. À chaque station, les relevés suivants ont été effectués :

1. pression barométrique (altimètre - baromètre) ;
2. altitude en simultané (altimètre - baromètre) ;
3. vitesse du vent (anémomètre électronique) ;
4. températures sèche et humide (psychromètre) ;
5. photo de la section pour déterminer l'aire.

Le long de chaque section de galerie, des irrégularités pouvaient être présentes et faire varier les valeurs des facteurs K calculées. Ces anomalies pouvaient se présenter sous diverses formes: ouvertures (baie de sécurité et forage), obstacles (entrepôts, tuyaux), courbes, agrandissements, aspérité variable des parois et diminutions de section rencontrées entre les stations. Dans certain cas, ces particularités ont pu augmenter considérablement le facteur K étant donné les pertes par chocs qu'elles entraînaient. De ce fait, les sections sans irrégularités ou celles affectées par des pertes par choc ayant peu d'effet comme les baies de sécurité par exemple ont été étudiées.

4.2. Technique du saute-mouton

La méthode utilisée pour mesurer les pressions avec les altimètres est une variation de la méthode du saute-mouton (*leap-frogging method*, Hartman, 1997, Ramani, 1992). Elle est illustrée à la figure 2 et elle consiste d'abord à prendre les mesures simultanément sur les deux altimètres placés aux deux premières stations. Ensuite, l'observateur situé à la station inférieure prend l'altimètre et le transporte en passant la station supérieure pour l'emmener vers la prochaine station. Ainsi, la station supérieure à la première étape devient la station inférieure pour la prochaine section. Cette procédure est répétée pour chaque station successive. Pour le présent projet de recherche, deux lectures doivent être prises à chaque station (sauf pour la première et la dernière). Prenons la station 1 par exemple: une lecture est prise en simultané avec la station 0 pour déterminer la perte de charge entre les stations 0 et 1 et une autre lecture en simultané est prise avec la station 2 pour évaluer la perte entre les stations 1 et 2 et le même scénario se reproduit avec la station 2. Ainsi, la méthode permet d'éviter les changements potentiels dans les conditions de l'air tout en conservant un bon degré de précision. Par contre, la technique est lente puisque l'on doit prendre deux lectures par station.

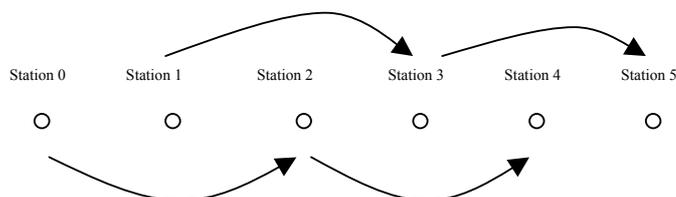


Figure 2 : méthode de relevé de pression en simultané (saute-mouton)

4.3. Situation de la galerie et des stations

Une fois les relevés effectués, il a été possible de procéder au calcul du facteur K de chaque tronçon de la galerie. Prenons, par exemple, une galerie (figure 3) de la mine Beaufor (niveau 12) où neuf stations ont été créées (0 à 8) ; La figure 3 ci-contre illustre comment les stations ont été intégrées à la galerie.

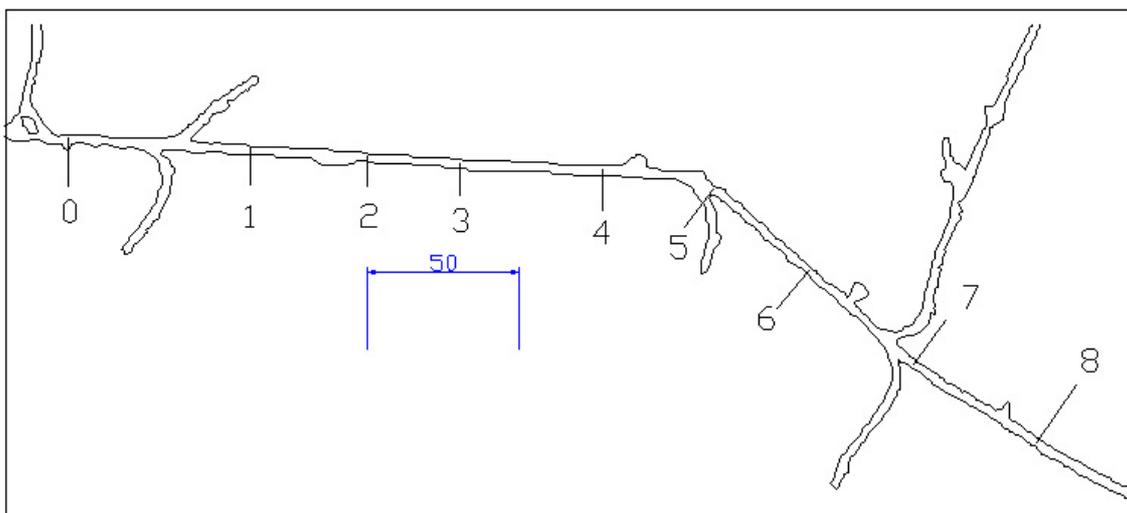


Figure 3 : vue en plan de la galerie et des stations de mesure (source : mine Beaufor, Richmond Inc.)

4.4. Premières mesures et observations

Sur place, les mesures nécessaires pour le calcul du facteur K ont été prises. De plus, des notes sur les aspects qualitatifs qui pouvaient influencer la valeur du facteur K ont été transcrites. Voici le tableau des données prises sur place :

station	Distance	Lecture des Altimètres		Température Humide		Température Sèche		Pression barométrique		Vitesse de l'air (V)		Soutènement	Aspérité	Géologie	Courbure	Obstacles	Ouverture et changement de surface
		(pi)		(°C)		(°C)		(Pa)		(m/s)							
		A	B	A	B	A	B			A	B						
(0-1)	59,9	-410	-410	4	2	7	5	102 834	102 787	2,5	3,8	grillage sur le toit et boulons	lisse	granodiorite fraîche	droite	Tuyaux : 4" et 6". Fils électriques.	2 accès fermés
(1-2)	37,8	-399	-397	4	4	5	5	102 782	102 784	3,8	2,8		Moyenne		droite		station d'aiguillage
(2-3)	30,1	-398	-396	4	4	5	4	102 793	102 776	2,8	3,2		lisse		droite		aucun
(3-4)	46,0	-396	-393	4	4	4	5	102 773	102 751	3,2	3,0		Moyenne		droite		2 baies de sécurité
(4-5)	37,0	-389	-387	4	4	5	5	102 751	102 735	3,0	2,1		Moyenne		légère		1 baie de sécurité et 1 accès fermé
(5-6)	39,5	-387	-384	4	4	5	5	102 737	102 729	2,1	3,1		Moyenne		droite		aucun
(6-7)	47,0	-381	-378	4	4	5	5	102 721	102 702	3,1	2,3		Moyenne		droite		2 accès fermés
(7-8)	46,3	-382	-381	4	4	5	5	102 718	102 720	2,3	2,0		lisse		légère		aucun

Tableau 1 : relevés, mine Beaufor galerie niveau 12

Il a été expliqué à la section sur la méthodologie les techniques utilisées pour mesurer ces paramètres. Or, le nombre de prises de données n'a pas été abordé. Dans le but de diminuer le décalage dans l'enregistrement des données et de stabiliser les appareils, les lectures des altimètres ont été effectuées à quatre reprises par station. Dans la majorité des cas, les différences entre ces quatre lectures étaient similaires, sinon, le relevé était repris jusqu'à ce que l'affichage des appareils soit stabilisé. En ce qui a trait aux données de températures, elles ont été prises une fois par station puisque des psychromètres manuels ont été utilisés et il fallait les faire tourner pendant une minute avant de prendre la lecture, ce qui permettait aux thermomètres de se conditionner aux conditions locales. La pression barométrique n'a aussi été prise qu'une seule fois après les lectures altimétriques. Les balayages effectués avec l'anémomètre étaient réalisés à deux reprises au début de la campagne; cependant, les observations des valeurs moyennes sur les deux valeurs mesurées indiquaient dans la majorité des cas une valeur similaire. De ce fait, un seul balayage par station était effectué pour les relevés effectués en fin de campagne. Néanmoins, il ne faut pas considérer les valeurs obtenues des vitesses de l'air à 100% précises puisque la vitesse de l'air est un paramètre très difficile à évaluer et que plusieurs éléments viennent perturber sa lecture. Nonobstant cette dernière remarque, les balayages effectués ont été exécutés en respectant le plus possible les règles de mesure et en minimisant les aspects suivants :

- Angle de déviation entre l'anémomètre et le courant d'air.
- Espace occupé par l'observateur.
- Éléments en aval du courant d'air pouvant perturber celui-ci.
- Variation de la vitesse de balayage (trop vite à un endroit ou pas assez vite à un autre - ne respectant pas ainsi les gradients de vitesse).

12	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

4.5. Aire et périmètre

Deux paramètres mesurés sur place n'ont pas été mentionnés dans le tableau précédent ; il s'agit de l'aire et du périmètre de la galerie. Comme expliqué précédemment, l'aire et le périmètre ont été déterminés à partir de photographies prises en traçant le contour de la station à la lampe de poche. Voici la démonstration de la méthode pour l'exemple de la mine Beaufor :

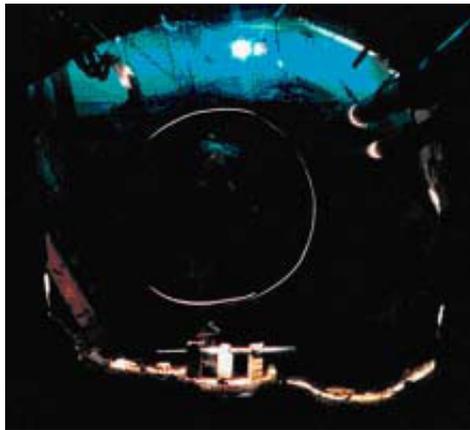


Illustration 6 : photographie prise sur la section de la galerie du niveau 12 en vue de déterminer l'aire et le périmètre.

L'illustration 6 est la photographie qui a été prise en vue de déterminer l'aire de la galerie. En regardant attentivement, le mètre de référence et le contour fait avec la lampe de poche peuvent être distingués.

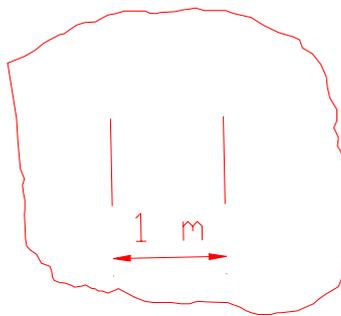


Figure 4 : numérisation de l'image 6

La numérisation de l'image 6 fait avec le logiciel Autocad est représentée sur la figure 4. La longueur de référence était de 1 mètre. Le jeu d'échelle et le contour numérisé peuvent être visualisés sur cette même figure.

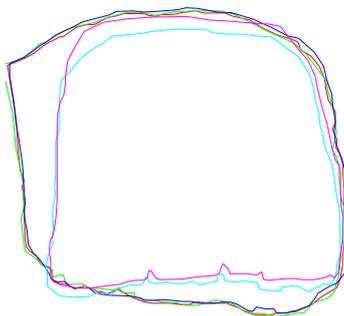


Figure 5 : superposition des 5 numérisations

La superposition des numérisations des 5 photographies des stations 0 et 1 de la galerie pour déterminer l'aire moyenne entre les deux points est représentée sur la figure 5. Ainsi, l'aire et le périmètre ont été obtenus pour chacune des stations. La moyenne de l'aire des 2 stations a été calculée pour obtenir l'aire moyenne et le périmètre moyen du tronçon de la galerie étudiée. Le tableau 2 présente les résultats obtenus :

Stations	Aire	Périmètre
(-)	(m ²)	(m)
0	6,9	9,9
1	5,4	9,3
2	6,5	9,9
3	6,1	9,7
4	6,1	9,7
5	6,0	10,5
6	6,2	9,9
7	6,5	10,0
8	5,8	9,3

Tableau 2 : aire et périmètre des stations

Il est important de mentionner que pour augmenter la précision de la technique et pour s'assurer que le jeu d'échelles sur « Autocad » était bien effectué ; deux photographies ou plus ont été prises par station. La moyenne de celles-ci figurent comme résultats des surfaces et des périmètres dans le tableau 2. Il est même possible de voir sur la figure 5 les trois contours (les plus grands) pour la station 1 et les deux autres (plus petits) pour la station 0.

4.6. Propriétés de l'air

Pour corriger certaines valeurs telles que les vitesses de l'air, les élévations réelles et les facteurs K, il était essentiel de connaître les propriétés psychrométriques de l'air ambiant. Pour ce faire, un psychromètre a été utilisé pour prendre les lectures des températures sèche et humide de l'air ambiant (tableau 3). Ainsi, les paramètres nécessaires au calcul de la masse volumique de l'air ambiant ont pu être calculés. Les étapes de ces calculs sont présentées à l'annexe A. Voici les résultats obtenus :

14	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

Stations	T _{Seche} moyenne	T _{Humide} moyenne	P _b moyenne	ρ _{sec}	P _s	P _h	P _u	P _v '	W	ρ _h	φ
(-)	(°C)	(°C)	(Pa)	(kg/m ³)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(Pa)	(-)	(kg/m ³)	(%)
(0-1)	6,0	3,0	102 811	1,284	935	757	559	0,92	0,00340	1,288	59,78
(1-2)	5,0	4,0	102 783	1,288	872	813	747	1,24	0,00455	1,294	85,64
(2-3)	4,5	4,0	102 785	1,290	842	813	780	1,29	0,00475	1,297	92,62
(3-4)	4,5	4,0	102 762	1,290	842	813	780	1,29	0,00476	1,296	92,62
(4-5)	5,0	4,0	102 743	1,287	872	813	747	1,24	0,00455	1,294	85,64
(5-6)	5,0	4,0	102 733	1,287	872	813	747	1,24	0,00455	1,293	85,64
(6-7)	5,0	4,0	102 712	1,287	872	813	747	1,24	0,00456	1,293	85,64
(7-8)	5,0	4,0	102 719	1,287	872	813	747	1,24	0,00455	1,293	85,64

Tableau 3 : calculs des propriétés psychrométriques de l'air ambiant

T_{Seche} : température sèche mesurée sur place (°C) ;

T_{Humide} : température humide mesurée sur place (°C) ;

P_b : pression barométrique mesurée sur place (Pa) ;

ρ_{sec} : masse volumique de l'air sec (kg/m³) ;

P_s : pression de vapeur de saturation à la température sèche (Pa) ;

P_h : pression de vapeur de saturation à la température humide (Pa) ;

P_u : pression de vapeur réelle à la température ambiante (Pa) ;

P_v' : pression de vapeur à la température de point de rosée de l'air ambiant (Pa) ;

W : humidité absolue ;

ρ_h : masse volumique de l'air humide (air ambiant) (kg/m³) ;

φ : humidité relative (%).

4.7. Perte de charge

La masse volumique de l'air ayant été établie, les facteurs K pour chaque tronçon de la galerie étudiée ont pu être calculés. Pour ce faire, la perte de charge entre les deux points a dû être évaluée avec l'équation de Ramani mentionnée précédemment (équation 6):

$$H = - \left[\frac{(A_2 - A_1) - \frac{(Z_2 - Z_1)}{DR}}{FC} \right] + \frac{\rho(Vc_2^2 - Vc_1^2)}{2}$$

A₂ et A₁ : les deux lectures de l'altimètre en simultané aux points 1 et 2 (m) (tableau 1) ;

Z₂ et Z₁ : les altitudes réelles des points 1 et 2 (m) (tableau 4) ;

Vc₂ et Vc₁ : les vitesses corrigées de l'air aux points 1 et 2 (m/s) (tableau 1) ;

DR : le rapport de densité que l'on détermine avec la température sèche et la masse volumique de l'air. Son calcul est présenté en annexe B de ce présent rapport (tableau 4) ;

FC : le facteur de conversion qui permet de transformer les valeurs en mètres d'air en millimètres d'eau. Son calcul est présenté à l'annexe C de ce présent rapport (tableau 4) ;

ρ_h : la masse volumique de l'air humide (kg/m³) (annexe A) (tableau 3).

Stations	Masse volumique	Lecture des altimètres		Élévations réelles		Vitesse de l'air corrigée		DR	FC	Pertes de charges
		(kg/m ³)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)			
(-)	(ρ _n)	A ₁	A ₂	Z ₁	Z ₂	V _{C1}	V _{C2}	(-)	(-)	(Pa)
(0-1)	1,288	-124,97	-124,97	2668,94	2668,96	2,59	3,94	0,989	0,0791	5,91
(1-2)	1,294	-121,62	-121,01	2668,96	2669,27	3,95	2,91	0,987	0,0788	-8,41
(2-3)	1,297	-121,31	-120,70	2669,27	2669,66	2,91	3,33	0,985	0,0786	-0,99
(3-4)	1,296	-120,70	-119,79	2669,66	2669,82	3,33	3,12	0,985	0,0787	-10,44
(4-5)	1,294	-118,57	-117,96	2669,82	2670,00	3,11	2,18	0,987	0,0788	-8,57
(5-6)	1,293	-117,96	-117,04	2670,00	2670,13	2,18	3,22	0,987	0,0788	-6,37
(6-7)	1,293	-116,13	-115,21	2670,13	2670,18	3,22	2,39	0,987	0,0788	-13,93
(7-8)	1,293	-116,43	-116,13	2670,18	2670,81	2,39	2,08	0,987	0,0788	3,32

Tableau 4 : détermination des pertes de charges entre les stations de mesures

Les altitudes réelles (Z_1 et Z_2) ont été obtenues à partir des plans d'arpentage de la mine et ont été déterminées au centimètre près. Le rapport de densité (DR, voir les paramètres de calcul à l'annexe B) a permis de ramener les valeurs d'élévation obtenues à partir des plans aux mêmes conditions que celles de l'altimètre. Le facteur de conversion (CF) a permis d'obtenir la perte de charge (H) en Pascals puisque les données d'altitude sont obtenues en mètre d'air (le calcul détaillé est montré à l'annexe C). Notons également que les vitesses obtenues sur place ont aussi été ramenées aux conditions standards de l'air (densité 1,2 kg/m³, 21°C et 101,325 kPa) (V_C). Le tableau 4 présente les résultats pour l'obtention des pertes de charge entre chaque station.

Les valeurs des pertes de charge obtenues varient relativement entre elles et plusieurs raisons peuvent expliquer cette dispersion :

- les distances entre les stations varient passablement;
- les élévations ne suivent pas une évolution constante le long de la galerie;
- des erreurs de lectures (simultanéité et fluctuation), d'analyse des élévations réelles et de prises de vitesses ont pu survenir lors de la prise de données.

Les faibles valeurs obtenues pour la perte de charge peuvent induire par ailleurs une non-applicabilité de celle-ci sur le facteur K puisque « H » est le résultat de calculs effectués à partir de l'équation 6 et que celle-ci correspond à la différence de pression entre deux stations découlant des corrections pour les changements de la pression atmosphérique, les changements de la perte de pression de vitesse et de la perte due à la différence d'élévation entre ces deux points. Or, ces changements pouvaient s'éliminer entre eux ou être si faibles qu'ils pouvaient donner lieu à de faibles valeurs pour les pertes de charge. Comme pour la situation des stations (2-3), les valeurs de H faibles ont tout de même été jointes à la banque de données, le but étant d'inclure l'ensemble des facteurs K mesurés. Cependant, il importe d'informer le lecteur de cette situation et d'établir une non-pertinence possible pour ces données.

16	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

4.8. Calcul des facteurs K

Stations	Perte de charge	Aire moyen	Périmètre moyen	Longueur	Vitesse moyenne	Masse volumique de l'air humide	Facteur K spécifique	Facteur K normalisé
(-)	(H)	(A)	(P)	(L)	(V _c)	(ρ _h)	(K _s)	(K _n)
(-)	(Pa)	(m ²)	(m)	(m)	(m/s)	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(kg/m ³) X 10 ⁻⁴
(0-1)	5,91	6,12	9,59	59,90	3,26	1,284	0,0059	55
(1-2)	-8,41	5,93	9,58	37,80	3,43	1,288	0,0117	108
(2-3)	-0,99	6,25	9,78	30,10	3,12	1,297	0,0022	20
(3-4)	-10,44	6,07	9,67	46,00	3,22	1,290	0,0137	127
(4-5)	-8,57	6,05	10,06	37,00	2,65	1,287	0,0198	184
(5-6)	-6,37	6,10	10,19	39,50	2,70	1,287	0,0132	123
(6-7)	-13,93	6,34	9,97	47,00	2,80	1,287	0,0240	223
(7-8)	3,32	6,12	9,67	46,30	2,23	1,287	0,0093	86

Tableau 5 : calcul des facteurs K entre les stations de mesure

À l'aide de tous les paramètres déterminés précédemment, les facteurs K ont pu être calculés à l'aide de l'équation d'Atkinson (équation 2):

$$K = \frac{HA}{LPV_c^2}$$

Le facteur K ainsi obtenu est le facteur K spécifique (K_s) calculé à partir des conditions de l'air ambiant, à l'endroit où celui-ci a été mesuré. Comme mentionné précédemment, le facteur K_s a dû être normalisé de façon à pouvoir le comparer et l'analyser. Le facteur K normalisé (K_n) est obtenu à l'aide de l'équation 3:

$$K_n = K_s * 1,2 / \rho_{hs}$$

Les galeries minières réservent parfois des surprises lorsque vient le temps de procéder aux relevés de pression et de vitesse, ou de déterminer les aires et les périmètres. La présence de jonctions de galeries, de baies de sécurité ou de courbes nuisent aux repérages précis dans l'espace et expliquent que des facteurs K aient été déterminés sur des distances aussi courtes que 30 mètres. Il est certain que de fournir des résultats recueillis sur de courtes distances implique que dans certains cas, il y a une faible perte de pression entre ces distances et qu'il pourrait sembler déraisonnable de les annexer à la banque de données. Cependant, il a été jugé que ces facteurs K devaient quand même être joints à la banque de données en mentionnant que la perte de charge est le fruit d'un calcul symbolisé par des corrections qui en se succédant ont induit des valeurs pouvant être faibles et que malgré cela (notez que seulement 4 facteurs sont inférieurs à 1

pascal), ça ne signifie pas que les lectures altimétriques n'ont pas été insensibles à cette faible perte. La section 7.1.1. démontre qu'une incertitude liée à l'erreur possible sur la perte de charge est omniprésente mais n'a pas pu être calculée.

L'étude présente une certaine quantité de résultats sur de courtes longueurs, selon les mesures dictées par la réalité des mines québécoises. Les auteurs du présent document ont cru bon de fournir ces résultats (sur de courtes distances) séparément (au lieu de fournir qu'un seul facteur K pour l'ensemble d'une galerie) puisque la réalité d'une galerie minière présente des changements distinctifs entre chaque section d'une ouverture ; l'aspérité des parois d'une place à l'autre peut changer radicalement, les baies de sécurité (forage) n'apparaissent pas toujours à des distances constantes le long d'une ouverture et plusieurs éléments peuvent venir perturber la valeur finale d'un facteur de friction. Toutefois, il n'y a rien qui empêche l'utilisateur de les combiner ensemble sur de grandes longueurs. La présente étude met l'accent sur les informations fournies avec les valeurs de facteurs K : les degrés d'aspérité, de sinuosité, d'obstruction et le type de soutènement. Tous les éléments précédents influencent les valeurs des facteurs de friction et peuvent changer radicalement d'un endroit à l'autre. De plus, l'outil de recherche informatisé fournit à l'utilisateur des images de parois où le facteur K a été mesuré, ce qui permet une plus grande autonomie de l'utilisateur.

4.9. Observations sur les résultats

En regardant la vue en plan de la galerie étudiée (figure 3), les valeurs des facteurs K obtenues ont pu être associées aux propriétés physiques de la galerie. Par exemple, le facteur K le plus élevé est de $223 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$: ce facteur K a été calculé entre les stations (6 et 7) et à cet endroit, il y a deux ouvertures qui ont causé des pertes par chocs. Ces accès étaient fermés et il n'y avait pratiquement aucune perte de matière (air) par ces embouchures. Ce facteur K est valable mais il faut être conscient que sa valeur élevée est directement reliée aux pertes par chocs engendrées par les accessoires utilisés pour colmater les ouvertures en question.



Illustration 7 : vue de la galerie de la mine Beaufor niveau 12

L'illustration 7 permet d'observer les conditions de la galerie étudiée. Toutes les images prises lors de la mesure des facteurs K sont annexées à la base de données. Ainsi, l'utilisateur de la banque de données peut associer plus facilement les ouvertures pour lesquelles il veut faire des simulations avec celles incluses dans la banque de données. En plus des images, les obstacles

18	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

rencontrés sur le terrain ont été notés et retranscrits dans la banque de données pour consultation. Le tableau 6 montre la structure des données fournies à l'utilisateur pour l'exemple cité. À l'annexe D, tous les facteurs K retenus dans le cadre de la présente étude sont répertoriés dans un tableau synthèse de même format.

Station	Type d'ouverture	Facteur K normalisé (K _n)	Facteur K normalisé (K _n)	Soutènement	Aspérité	Géologie	Courbure	Obstacles
(-)	(-)	(kg/m ³) x 10 ⁻⁴	(lb • min ² / ft ⁴) x 10 ⁻¹⁰	(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
(0-1)	Petite Galerie	55	30	Grillages et boulons	Lisse	Granodiorite fraîche	Droite	Accès fermés (2)
(1-2)	Petite Galerie	108	58	Grillages et boulons	Moyenne	Granodiorite fraîche	Droite	Station d'aiguillage
(2-3)	Petite Galerie	19	10	Grillages et boulons	Lisse	Granodiorite fraîche	Droite	Aucun
(3-4)	Petite Galerie	127	68	Grillages et boulons	Moyenne	Granodiorite fraîche	Droite	Baies de sécurité (2)
(4-5)	Petite Galerie	184	99	Grillages et boulons	Moyenne	Granodiorite fraîche	Légère	Baie de sécurité (1) et accès fermé (1)
(5-6)	Petite Galerie	123	66	Grillages et boulons	Moyenne	Granodiorite fraîche	Droite	Aucun
(6-7)	Petite Galerie	223	120	Grillages et boulons	Moyenne	Granodiorite fraîche	Droite	Accès fermés (2)
(7-8)	Petite Galerie	86	47	Grillages et boulons	Lisse	Granodiorite fraîche	Légère	Aucun

Tableau 6: détail des résultats du relevé de mesure des facteurs K

5. Résultats

Pour analyser les résultats obtenus, les facteurs K mesurés ont été répertoriés par type d'ouverture: grandes galeries (gisements poly métalliques), petites galeries (gisements filoniens), rampes droites, rampes en spirale et cheminées de ventilation. Cette section présente les résultats sous forme d'histogrammes et de tableaux pour chaque type d'ouverture. De plus, un regroupement plus restreint et plus représentatif des conditions typiquement retrouvées sous terre a été établi pour chaque type d'ouverture. Ce rassemblement de données a été effectué dans le but d'éliminer les valeurs extrêmes et ainsi diminuer l'écart type afin de présenter des regroupements plus représentatifs de la réalité. Toutefois, il ne faut pas oublier que les valeurs regroupées sont toujours spécifiques à l'endroit mesuré. Lors de simulations de réseaux de ventilation, l'affectation d'un facteur K doit être effectuée en tenant compte de toutes les caractéristiques pouvant affecter sa valeur. Notez que tous les facteurs K mesurés durant cette campagne sont présentés à l'annexe D.

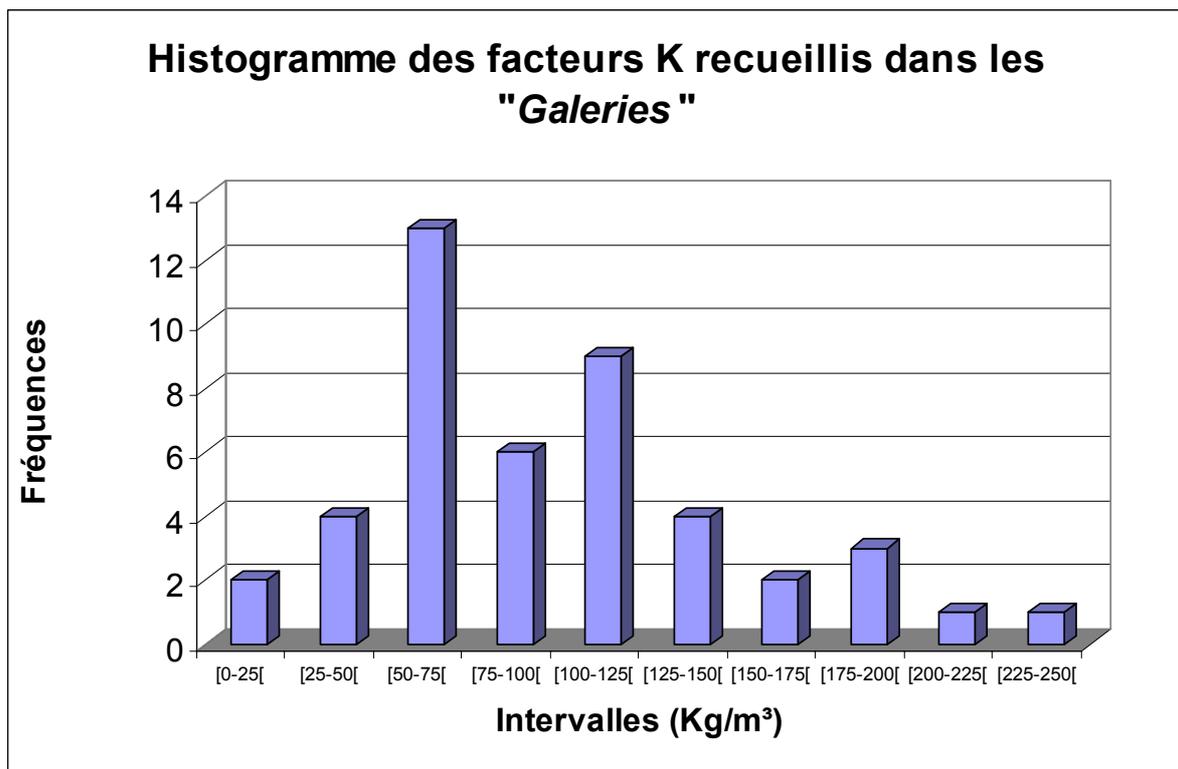
5.1. Grandes galeries :

5.1.1. Ensemble des données

Dû aux différences (soutènement, dimension, équipement de transport) qui existent entre les galeries des mines à gisement filonien et celles à plus grand déploiement, il a été jugé bon de séparer ces deux types d'ouvertures sous les catégories « grandes galeries » et « petites galeries ». Les grandes galeries ont des dimensions variant entre 4 - 5 m par 4 - 5 m.

Valeur moyenne (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Valeur minimale (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Valeur maximale (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Écart type (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Nombre de valeurs (#)
97	16	239	51,8	45

Tableau 7 : synthèse des facteurs K mesurés dans les grandes galeries



Graphique 1 : histogramme des facteurs K mesurés dans les grandes galeries

Une observation approfondie du graphique 1 permet de remarquer que 62 % des facteurs K mesurés dans les galeries se retrouvent entre 50 et 125 x 10⁻⁴ kg/m³.

5.1.2. Situation type de base

Une situation type de base pour les grandes galeries regroupe les facteurs K correspondant aux conditions suivantes :

- Mode de soutènement : grillage et boulons ;
- Aspérité des parois : lisse et moyennement lisse ;
- Type de courbure : galeries droites ou légèrement courbées ;
- Obstructions : galeries pas ou peu obstruées (une baie de sécurité).

Valeur moyenne (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Valeur minimale (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Valeur maximale (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Écart type (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Nombre de valeurs (#)
107	59	151	32	13

Tableau 8: synthèse des facteurs K de la situation type de base pour les grandes galeries

Cet échantillon représente 29 % des facteurs K mesurés dans les grandes galeries. La moyenne liée à ce sous-groupe est plus élevée; ceci s'explique par le fait que les facteurs K éliminés comportaient une paroi très lisse et donc, un facteur K plus bas. L'écart type est pour sa part inférieur étant donné l'élimination des valeurs extrêmes.

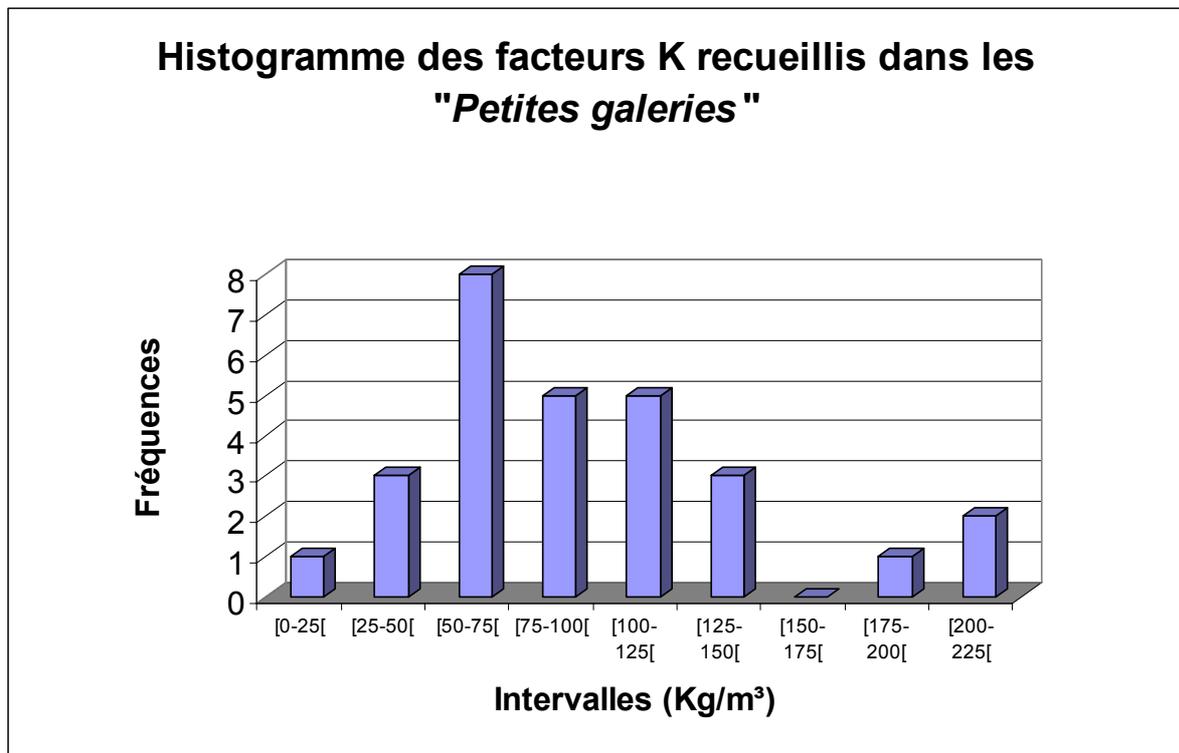
5.2. Petites Galeries :

5.2.1. Ensemble des données

Les petites galeries se distinguent des grandes galeries par leurs dimensions (2 - 2,5 m X 2 - 2,5 m). Elles sont souvent liées aux gisements filoniens et sont composées d'un type de soutènement de moins grande envergure que celui que l'on retrouve dans les grandes galeries. De plus, les petites galeries sont munies de chemins de fer servant à la manutention du minerai.

Valeur moyenne (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Valeur minimale (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Valeur maximale (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Écart type (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Nombre de valeurs (#)
95	20	222	49,7	28

Tableau 9 : synthèse des facteurs K mesurés dans les petites galeries (gisements filoniens)



Graphique 2 : histogramme des facteurs K mesurés dans les petites galeries

22	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

5.2.2. Situation type de base

Il est à noter que 64% des facteurs K mesurés dans les petites galeries se situent entre 50 et $125 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$. Les conditions types de base pour les petites galeries sont les mêmes que celles des grandes galeries énumérées précédemment. Les valeurs correspondantes à ces caractéristiques sont les suivantes :

Valeur moyenne (kg/m^3) $\times 10^{-4}$	Valeur minimale (kg/m^3) $\times 10^{-4}$	Valeur maximale (kg/m^3) $\times 10^{-4}$	Écart type (kg/m^3) $\times 10^{-4}$	Nombre de valeurs (#)
97	46	144	34	10

Tableau 10 : synthèse des facteurs K de la situation type de base pour les petites galeries

Les caractéristiques typiques recherchées pour les petites galeries sont présentes pour 36% des facteurs K mesurés. La moyenne de ce sous-groupe est légèrement plus élevée dû au fait que 7 données mesurées ne présentaient pas de grillage; seuls des boulons étaient employés en guise de soutènement. L'absence de grillage diminue la valeur du facteur K puisqu'une résistance plus faible est appliquée sur l'écoulement de l'air. L'écart type est également moins élevé car le regroupement correspondant aux conditions types de base entraîne une diminution de la dispersion donnée.

5.3. Rampes Droites :

5.3.1. Ensemble des données

Comme leur nom l'indique, les rampes droites se différencient des rampes en spirale par leur courbure. Les rampes droites peuvent être considérées comme une combinaison de galeries inclinées. La figure 6 représente une rampe droite et inclinée. Il y a différenciation de ces deux types d'ouvertures pour démontrer l'influence de l'effet de la courbure sur le facteur de friction. La majorité des rampes étudiées avaient une pente de 15%.

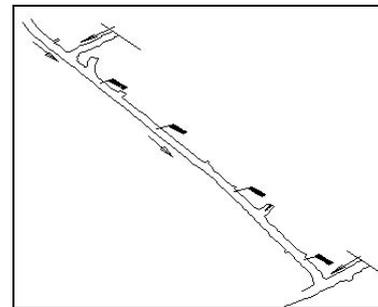
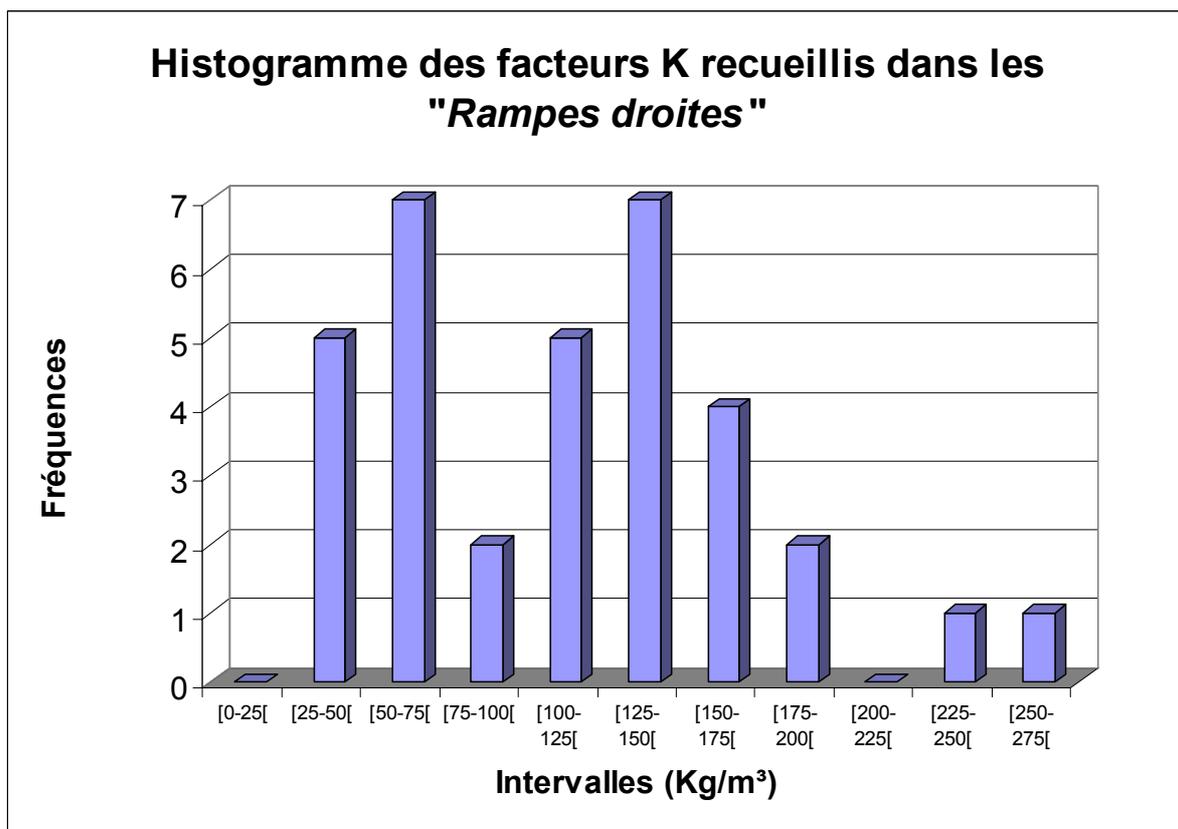


Figure 6 : vue isométrique d'une rampe droite (source mine Louvicourt, Aur resources Inc.)

Valeur moyenne (kg/m^3) $\times 10^{-4}$	Valeur minimale (kg/m^3) $\times 10^{-4}$	Valeur maximale (kg/m^3) $\times 10^{-4}$	Écart type (kg/m^3) $\times 10^{-4}$	Nombre de valeurs (#)
112	30	257	59	34

Tableau 11 : synthèse des facteurs K pour les rampes droites



Graphique 3: histogrammes des facteurs K mesurés dans les rampes droites

Le graphique 3 fait ressortir deux regroupements de facteurs K : 41 % se situent entre 25×10^{-4} et 99×10^{-4} kg/m³ et 47 % se retrouvent entre 100×10^{-4} et 174×10^{-4} kg/m³. Ceci est explicable par le fait que les données ont été recueillies sous des conditions très variées. Par exemple, seulement 54% des données sont issues de rampes droites ayant comme type de soutènement un grillage et des boulons, comparativement à 64% pour les petites galeries et 80% pour les grandes galeries.

5.3.2. Situation type de base

Le regroupement selon les caractéristiques types de base pour les rampes droites n'a permis de regrouper que 6 facteurs K dont le mode de soutènement était un grillage et des boulons, dont l'aspérité des parois était « moyenne » et « lisse » et dont les rampes n'étaient pas ou à peu près pas obstruées.

Valeur moyenne (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Valeur minimale (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Valeur maximale (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Écart type (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Nombre de valeurs (#)
96	59	146	29	6

24	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

Tableau 12 : synthèse des facteurs K de la situation type de base pour les rampes droites

Seulement 18% des facteurs K mesurés dans les rampes droites correspondent aux caractéristiques du sous-groupe; ceci est dû au petit nombre de données et à la grande variété des conditions rencontrées. La moyenne et l'écart type sont beaucoup plus faibles que pour l'ensemble des données.

5.4. Rampes en Spirale :

5.4.1. Ensemble des données

Les rampes en spirale présentent une courbe prononcée (figure 7). Ce type de rampe est creusé de façon à descendre les niveaux de la mine en suivant un rayon de courbure tout en demeurant proche du gisement afin de ne pas trop s'éloigner des chantiers de production.

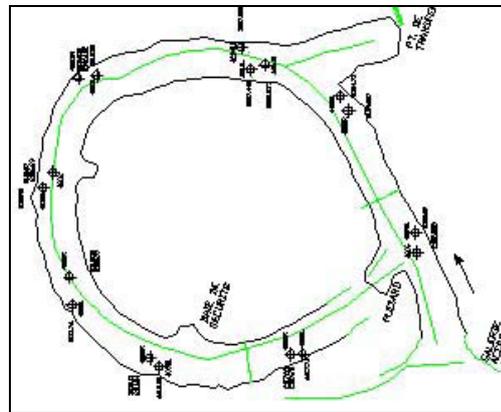
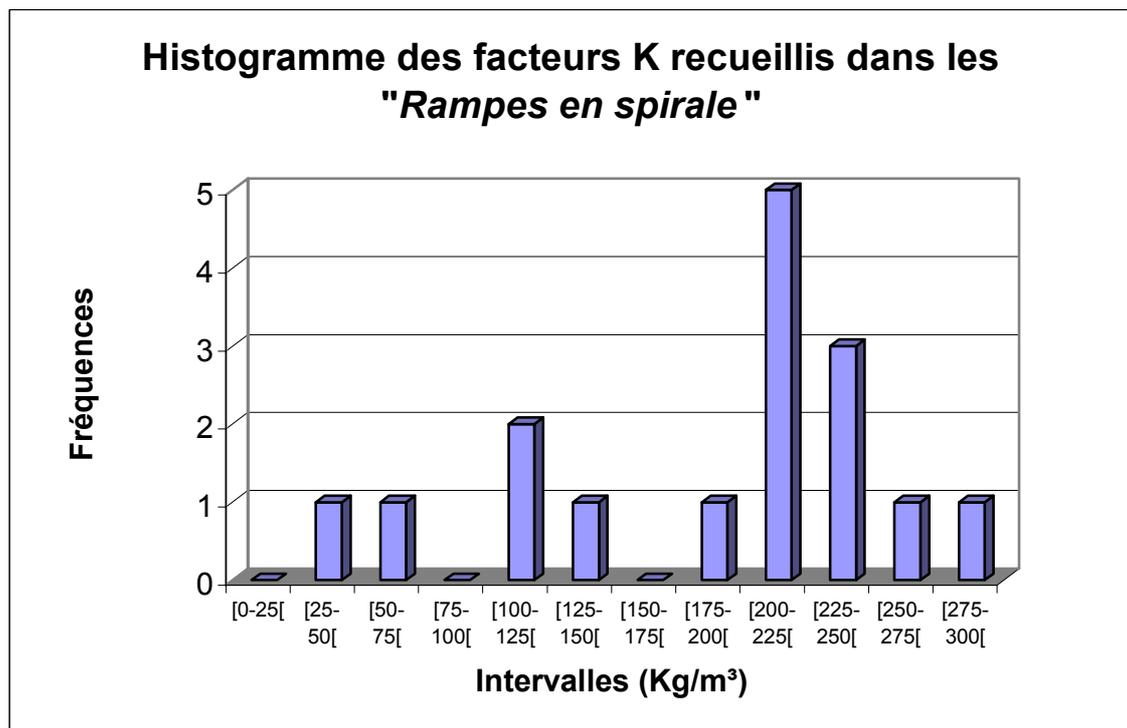


Figure 7 : vue aérienne (plan) d'une rampe spirale (source : mine Bell-Allard, Noranda Inc.)

Valeur moyenne (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Valeur minimale (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Valeur maximale (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Écart type (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Nombre de valeurs (#)
187	40	279	72	16

Tableau 13 : synthèse des facteurs K mesurés dans les rampes en spirale



Graphique 4 : histogramme des facteurs K mesurés dans les rampes spirales

Pour les facteurs K mesurés dans les rampes en spirale, les valeurs recueillies sont très dispersées. Comme pour les rampes droites, les caractéristiques des ouvertures étudiées étaient très variées. Malgré cette grande étendue, 56 % des facteurs K se retrouvent entre 175×10^{-4} et $249 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$. Il faut aussi mentionner que les rampes en spirale présentent des facteurs K plus élevés que ceux des rampes droites; une analyse quantitative plus approfondie des impacts de la courbure sur le facteur K est présentée dans l'analyse des résultats.

5.4.2. Situation type de base

Voici les résultats tirés d'une situation type de base pour les rampes en spirale :

Valeur moyenne (kg/m^3) $\times 10^{-4}$	Valeur minimale (kg/m^3) $\times 10^{-4}$	Valeur maximale (kg/m^3) $\times 10^{-4}$	Écart type (kg/m^3) $\times 10^{-4}$	Nombre de valeurs (#)
221	150	278	42	9

Tableau 14 : synthèse des facteurs K de la situation type de base pour les rampes en spirale

La situation type de base pour les rampes en spirale regroupe 56% des valeurs mesurées dans ce type d'ouvertures minières. Ces ouvertures sont définies par les conditions suivantes :

26	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

grillage et boulons comme mode de soutènement, aspérité lisse à moyenne pour les parois, degré de courbure prononcé et ouvertures pas ou peu obstruées.

L'inclusion des ouvertures peu obstruées dans les situations typiques est justifiée par la deuxième partie de l'article 43 de l'alinéa 2 (Voies de circulation) de la section III portant sur l'aménagement des lieux de travail de la loi sur la santé et sécurité au travail dans les mines qui stipule que « *des baies de sécurité doivent être aménagées dans les parois de la voie à au moins tous les 30 mètres (98,4 pieds)...* ». La présence des baies de sécurité dans les voies de circulation telles que les rampes est donc inévitable et doit être prise en considération lors de l'élaboration d'une situation type de base et lors de l'estimation d'un facteur de friction.

5.5. Cheminées de ventilation :

Les cheminées de ventilation se distinguent des autres types d'ouverture par leur fonction primaire qui est d'acheminer ou d'évacuer l'air d'un niveau à un autre. Les cheminées de ventilation sont verticales et parfois légèrement inclinées. Elles sont, dans la plupart des cas, le lien principal entre les ventilateurs primaires et les premiers niveaux de la mine. Parfois, les cheminées peuvent servir de sortie de secours à la mine et comportent alors des paliers et des échelles, ce qui augmente considérablement le facteur K. La longueur des cheminées peut être très grande et même correspondre à la profondeur totale de la mine. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour leur construction; trois de ces méthodes ont été rencontrées lors de la présente campagne:

- **la méthode par tranche montante sur plate-forme mécanisée :**

L'équipement le plus utilisé est la plate-forme suédoise « Alimak ». Un guide qui fait office de rail est attaché à la paroi; une plate-forme s'y accroche et peut se déplacer du bas vers le haut de la cheminée vers la face de travail. Les travailleurs se placent sur la plate-forme. On ajoute un morceau de rail pour chaque section excavée ; les travailleurs s'appuient sur la plate-forme pour forer les trous. Ce procédé permet de créer des ouvertures de grande longueur.

- **la méthode par tranche montante sur paliers et échelles en bois :**

Ce type de cheminée a trois compartiments :

- la chute où la roche excavée s'écoule ;
- un compartiment pour le palan ;
- un compartiment pour les paliers et échelles.

À partir du bas de la cheminée, un palier en bois est construit pour chaque section excavée en montant. Les travailleurs montent par les échelles qui sont protégées et s'appuient sur la roche excavée pour forer les trous. Lorsque l'excavation est terminée, les échelles et paliers sont laissés en place, ce qui cause des pertes par choc sur l'écoulement de l'air. De telles ouvertures ne sont pas les plus efficaces pour l'écoulement de l'air.

- la méthode par foreuse descendante (**Raise boring machine** ou **Machine Roger**) :

A l'aide d'une foreuse de type « RBM » ou « Machine Roger », on creuse à partir du haut ou du bas de la cheminée une ouverture circulaire. Pour des raisons techniques, le diamètre de telles cheminées est limité. La méthode est très sécuritaire et de plus en plus utilisée, une cheminée foncée avec cette méthode est présentée sur l'illustration 8 ci-bas :



Illustration 8 : vue d'une cheminée de ventilation; creusage par RBM.

5.5.1. Ensemble des données

Il est important de mentionner que, dépendamment du mode de construction utilisé, le facteur K peut être grandement influencé. La banque de données indique la technique de construction utilisée pour chaque facteur K mesuré dans de ce type d'ouvertures.

Valeur moyenne (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Valeur minimale (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Valeur maximale (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Écart type (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Nombre de valeurs (#)
132	15	359	99	14

Tableau 15 : synthèse des facteurs K mesurés dans les cheminées de ventilation

L'écart type de 99×10^{-4} kg/m³ indique très clairement que les conditions rencontrées dans les cheminées de ventilation sont très variables et influencent considérablement les facteurs de friction. Certaines présentaient des échelles et des paliers alors que d'autres n'en avaient pas. Certaines possédaient des parois très lisses, d'autres très rugueuses. C'est pour cette raison et aussi parce que le nombre de données est faible (14) que l'histogramme et la situation type de base n'ont pas été pas élaborés. Néanmoins, il est intéressant de visualiser les situations possibles sous forme de tableau en vue de les comparer avec d'autres :

28	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

Type de cheminée et mode de construction	Soutènement	Échelles et paliers	Aspérité	Valeur moyenne	Valeur minimale	Valeur maximale	Écart type	Nombre de valeurs
				(kg/m ³) x 10 ⁻⁴	(#)			
Tranche montante – plate- forme mécanisée	Ciment	non	Très lisse	61	-	-	-	1
	Boulons		Lisse	35	-	-	-	1
			Rugueuse	186	169	209	20	3
	Grillages et boulons		Moyenne	64	-	-	-	1
Tranche montante sur paliers et échelles en bois	Aucun	oui	Moyenne	156	-	-	-	1
		non	Lisse	24	-	-	-	1
	Boulons		Lisse	70	-	-	-	1
			Rugueuse	308	257	359	72	2
Foreuse descendante	Aucun	non	Très lisse	15	-	-	-	1
Puits avec cage et skip	Ciment	oui		143	-	-	-	1
Puits sans cage et skip		oui		115	-	-	-	1

Tableau 16 : regroupement des facteurs K recueillis dans les cheminées de ventilation

Dans le tableau 16, deux situations se répètent :

- tranche montante plate-forme mécanisée, boulons, sans échelles et paliers et parois rugueuses (3 valeurs);
- tranche montante sur palier et échelles en bois, boulons, sans échelles et paliers, parois rugueuses (2 valeurs).

Les responsables de la ventilation pourront établir une relation entre la technique de fonçage envisagée et les valeurs transcrites dans ce tableau. Il faut cependant être très vigilant puisque le faible nombre de données pourrait fausser l'estimation du facteur de friction.

6. Discussion

À la lumière des histogrammes illustrés précédemment, les facteurs K calculés d'un endroit à l'autre, pour un même type d'ouverture, s'étalent sur un intervalle étendu. Cette dispersion s'explique par la multitude d'impondérables rencontrés sous terre. Les situations types de base permettent au lecteur de mieux situer le facteur de friction dans un contexte plus rationnel et réaliste et d'éviter d'appliquer un cas extrême à une simulation. Cependant, il faut s'assurer que les caractéristiques de ces regroupements sont les mêmes que sur le terrain. Le type de soutènement, l'aspérité des parois, les obstructions ainsi que le degré de courbure sont tous des paramètres que le responsable en ventilation doit connaître ou prédire. Il est impératif de tenir compte de tous les éléments susceptibles de faire varier la valeur du facteur K. Le moteur de recherche fourni avec la banque de données permet de chercher un facteur K pour des conditions souhaitées. De plus, l'utilisateur peut voir, par le biais d'images, les conditions de l'ouverture où le facteur K a été calculé. Les patrons de forage, lorsque disponibles, permettent à l'utilisateur d'avoir un aperçu des techniques d'excavation ainsi que les dimensions théoriques de l'ouverture. Les responsables de la ventilation minière bénéficient de commentaires sur les obstacles présents ainsi que l'aspérité des parois, le type soutènement, la géologie et le degré de courbure.

L'aspérité des parois fut un élément extrêmement délicat à évaluer puisque aucune quantification de celle-ci n'a été effectuée. La détermination d'une aspérité très lisse, lisse, moyenne, rugueuse et très rugueuse a été effectuée au meilleur des connaissances des opérateurs et cela, en fonction des parois observées d'un endroit à l'autre (méthode comparative). Il est certain que cette manière d'affecter un degré d'aspérité n'était pas la plus efficace puisque la subjectivité des observations restait la seule référence à l'affectation d'un degré de rugosité. Cependant, il a été jugé bon de composer la banque de données à partir de ces critères subjectifs. Il est certain que les cas extrêmes d'aspérité étaient faciles à évaluer et que le problème résidait dans la classification des aspérités moyennes (i.e. lisse à rugueuse). C'est pour cette raison que, pour les analyses et les comparaisons de données qui suivent, les aspérités moyenne et lisse sont souvent regroupées ensemble et cela, malgré le fait qu'elles ont été distinguées lors de leur évaluation sur le terrain. C'est en quelque sorte la raison pour laquelle les images des parois étudiées ont été annexées à la banque de données : l'utilisateur peut se faire sa propre idée des conditions des parois qu'il recherche sans nécessairement se fier sur l'analyse subjective faite par les opérateurs. Cependant, il importe de situer le lecteur sur l'approche employée pour affecter un degré d'aspérité et cela même si la technique est considérée comme étant subjective.

Après avoir établi une première classification des aspérités, une série de photographies des parois a été prise. En comparant les images des différents endroits et en se basant sur les indications initiales, on a pu évaluer les irrégularités présentes sur la surface en s'appuyant sur les images obtenues. Voici deux exemples pour chacune des cinq catégories d'aspérités.

**Illustration 9 : paroi très lisse****Illustration 10 : paroi très lisse**

Sur les illustrations 9 et 10, les irrégularités sont pratiquement inexistantes (image 10) où se présentent sous forme de bosses très arrondies (image 9). Ces deux situations définissent la catégorie « *très lisse* ».

**Illustration 11 : paroi « lisse »****Illustration 12 : paroi « lisse »**

Les deux images précédentes représentent des exemples de la catégorie « *lisse* ». Les formes arrondies des irrégularités sont peu profondes, mais plus accentuées que celles de parois qualifiées de « *très lisse* ».



**Illustration 13 : paroi
« moyennement lisse »**



**Illustration 14 : paroi « moyennement
lisse »**

La catégorie des illustrations 13 et 14, est « *moyennement lisse* » ; l'irrégularité des parois étant encore plus accentuée. Des discontinuités commencent à être observées et la profondeur des concavités est plus accentuée que celles observées sur les parois de la catégorie « lisse ».



Illustration 15 : paroi « rugueuse »



Illustration 16 : paroi « rugueuse »

Les parois illustrées par les images 15 et 16 sont définies comme étant des parois « *rugueuses* ». Les irrégularités sont très rapprochées et la profondeur des discontinuités est accentuée.



Illustration 17 : paroi « très rugueuse » Illustration 18: paroi « très rugueuse »

Sur les illustrations 17 et 18, les irrégularités sont très concentrées et leurs formes sont peu arrondies. Ces discontinuités sont fréquentes et régulières. Ces deux situations définissent le cas d'une aspérité qualifiée de « *très rugueuse* ».

6.1. Analyse quantitative des caractéristiques physiques

Lorsque le nombre de facteurs K mesurés dans une situation était suffisant et en vue d'obtenir des éléments comparatifs entre les différentes caractéristiques, un rapprochement des situations regroupant les mêmes propriétés exceptée une qui varie (soutènement, degré d'aspérité des parois, degré de courbure ou le degré d'obstruction) a été effectué. C'est ce qu'on appelle le pourcentage d'ajout. En premier lieu, il y a agencement sous forme statistique, à l'intérieur d'un tableau (tableau 17), de l'ensemble des facteurs K mesurés dans des conditions spécifiques.

Type d'ouverture	Soutènement	Aspérité	Valeur moyenne	Valeur minimale	Valeur maximale	Écart type	Nombre de valeurs
			(kg/m ³) x 10 ⁻⁴	(#)			
Grande galerie droite	grillages et boulons	très lisse	44	16	63	16	11
		lisse	85	53	112	20	9
		moyenne	117	66	151	30	10
		Situation type de base (tableau 8)	107	59	151	32	13
Petite galerie droite	grillage et boulons (situation type de base tableau 10)	lisse à moyenne	97	46	144	34	10
	boulons		69	37	125	28	8
Rampe droite	grillage et boulons (situation type de base tableau 12)	lisse à moyenne	96	59	146	29	6
	aucun		52	29	69	21	3
Rampe en spirale	grillage et boulons (situation type de base tableau 14)	lisse à moyenne	221	150	278	42	9
	ciment projeté		167	121	221	52	4

Tableau 17 : regroupement de facteurs K selon l'état physique des ouvertures

À la lumière du tableau 17, il est possible de commenter et de calculer des pourcentages d'ajout entre les différentes situations. Premièrement, les résultats recueillis dans les grandes galeries permettent d'établir des relations entre les degrés d'aspérité. Pour le même mode de soutènement (grillage et boulons), il y a une augmentation du facteur K de l'ordre de 41×10^{-4} kg/m³ (93%) entre une aspérité « très lisse » et « lisse » et une hausse de 32×10^{-4} kg/m³ (37%) entre l'aspérité « lisse » et « moyenne ». Le passage d'une aspérité « très lisse » à « moyenne », donne une augmentation de 73×10^{-4} kg/m³ (165%). Il est important de mentionner que les aspérités ont été établies selon une évaluation subjective ; elles pourraient être évaluées différemment d'un individu à un autre. Il y a également les pertes par choc ; les cas de galeries composées d'au plus deux baies de sécurité ont été conservés en raison de la loi sur la santé et sécurité des mines et ainsi mieux refléter la réalité des mines. Cependant, l'augmentation des valeurs d'une situation à une autre offre au lecteur un bon indice de l'influence du degré d'aspérité sur la valeur finale d'un facteur K.

En deuxième lieu, dans les petites galeries, il y a eu deux situations principales ayant des modes de soutènement différents : grillage et boulons ou boulons seulement. Pour les valeurs reliées aux galeries avec boulons seulement, un facteur K moyen de 69×10^{-4} kg/m³ a été calculé tandis que pour les valeurs calculées avec grillage et boulons un facteur K moyen de 97×10^{-4}

34	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

kg/m³ a été obtenu. Il s'agit d'une hausse de 28×10^{-4} kg/m (41%). Ainsi, selon les résultats obtenus, l'influence du mode de soutènement sur le facteur K est appréciable.

La troisième analyse a été effectuée dans les rampes droites. Un facteur K moyen de 52×10^{-4} kg/m³ a été obtenu pour les rampes sans soutènement et un facteur K de 96×10^{-4} kg/m³ a été obtenu pour les rampes avec grillage et boulons. Il s'agit d'une hausse de 85%. La différence entre les deux valeurs moyennes est impressionnante mais très cohérente si l'on considère que le mode de soutènement influence grandement la valeur finale du facteur K.

Quatrièmement, les mesures dans les rampes en spirale ont permis de calculer trois facteurs K dans des ouvertures où le ciment projeté recouvrait les parois. Dans ces conditions, un facteur K de 167×10^{-4} kg/m³ a été calculé tandis que dans des conditions standards de soutènement (grillage et boulons), la moyenne est de 221×10^{-4} kg/m³, soit une différence de 54×10^{-4} kg/m³ (32%).

Cinquièmement, une observation intéressante peut être faite : la comparaison entre les rampes droites et rampes en spirale dans des conditions de soutènement identiques (grillage et boulons) donne une idée sur l'influence d'une courbe prononcée sur la valeur du facteur K. Ainsi, 96×10^{-4} kg/m³ est la valeur moyenne des facteurs K obtenus dans les rampes droites comparativement à 221×10^{-4} kg/m³ dans les rampes en spirale. Une hausse de 125×10^{-4} kg/m³ soit une augmentation de l'ordre de 130% est observée.

Finalement, à titre indicatif, une comparaison peut être faite entre les données typiques recueillies dans les grandes galeries et celles des petites galeries. Un facteur K moyen de 107×10^{-4} kg/m³ est attribué aux grandes galeries tandis qu'un facteur K moyen de 97×10^{-4} kg/m³ est affecté aux petites galeries. Selon les résultats obtenus, et contrairement aux attentes, les grandes galeries typiques présenteraient une résistance un peu plus élevée (10%) au passage de l'air que les petites galeries. Ces résultats s'expliquent par le fait que ces deux situations types (grandes et petites galeries) fusionnaient les facteurs K aux parois lisses et moyennement lisses. De ce fait, ils n'ont pas été regroupés en respectant les mêmes proportions de facteurs K correspondant à des aspérités lisses et moyennes. C'est à dire que le nombre de facteurs K qui constitue la situation typique des petites galeries (6 lisses, 4 moyennes) avaient plus de facteurs de frictions ayant des parois lisses que ceux des grandes galeries (5 lisses, 8 moyennes). Il reste que, néanmoins, les conditions entre ces deux types d'ouvertures ne sont pas les mêmes (méthode de forage et mode de manutention du minerai) et qu'il faut les étudier séparément indépendamment des caractéristiques physiques qui les composent.

6.2. Comparaison entre les facteurs K mesurés et ceux tirés de la littérature

La banque de données inclut 244 facteurs K supplémentaires provenant d'autres campagnes. Seuls les facteurs K mesurés dans les mines métalliques ont été retenus. Ceux provenant des mines de charbon ont été exclus. L'utilisateur de la banque de données aura le choix de consulter ou non ces données lors de sa recherche. Contrairement aux facteurs K issus de la campagne de l'Université Laval, ces valeurs ne sont pas très détaillées. Parfois, les informations concernant les conditions in situ sont très limitées et l'utilisateur n'a que très peu

d'indications sur les états physiques de l'endroit où les facteurs K ont été mesurés. Évidemment, les photographies et les patrons de forage pour ces facteurs de frictions ne sont pas disponibles. Au même titre que les facteurs K issus de la campagne 2003, ces facteurs K de références sont inclus dans le rapport à l'annexe E. Également, les facteurs K mesurés dans le passé (Murgue 1893, McElroy 1930, Clive 1939) ne correspondent pas à la réalité des mines modernes. Même si McElroy a calculé 144 facteurs K au début du siècle dernier, il ne n'est pas réaliste de les comparer avec les valeurs actuelles puisque son objectif était d'établir une relation entre les formations géologiques en place et la valeur du facteur K, alors que le soutènement était principalement le boisage et non le grillage et les boulons. Un tableau synthèse des facteurs K issus de la littérature récente et correspondant aux mêmes conditions de mesure que celles mesurées dans notre campagne est présenté ci-dessous :

Auteurs	Type d'ouverture	Soutènement	Aspérité	Valeur moyenne	Valeur minimale	Valeur maximale	Écart-type	Nombre de valeurs
				(kg/m ³) x 10 ⁻⁴	(#)			
McPherson	Puits	Ciment	Très lisse	65	-	-	-	1
		Aucun	Lisse à moyenne	83	30	120	47	3
		Grillage et boulons	Nd	140	-	-	-	1
	Grande galerie	Aucun	Lisse	90	-	-	-	1
			Moyenne	120	-	-	-	1
Prosser et Wallace	Galerie	Grillage et boulons	Nd	88	47	128	24	40
	Rampe			116	70	174	31	20
	Cheminée de ventilation (plate-forme mécanisée)	Nd		113	87	157	33	5
	Cheminée de ventilation (creusage en continu)			47	23	70	15	10
Gangal et Notley	Grande galerie	Boulons	78	63	93	21	2	
		Grillage et boulons	101	85	121	18	4	
		Ciment projeté	109	-	-	-	1	
	Petite galerie	Grillage et boulons	108	-	-	-	1	
Romensky	Grande galerie	Aucun	Lisse	110	100	120	14	2
			Rugueuse	180	130	220	39	4

Tableau 18 : regroupement des facteurs K issus de la littérature récente

36	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

6.2.1. M.J. McPherson :

McPherson mesura plusieurs facteurs de friction dans les puits (5 valeurs). En se référant au tableau 18, une seule situation de mesure correspond à un cas similaire à McPherson. Une valeur de $143 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ a été obtenue dans un puits rectangulaire revêtu de ciment comparativement à $65 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ pour McPherson. Notez que les conditions du puits dans lesquelles ce dernier a calculé ce facteur de friction ne sont pas connues et dépendamment des conditions rencontrées, la valeur peut en être grandement affectée.

McPherson a également calculé deux facteurs K dans des grandes galeries sans soutènement. Cette dernière situation ne correspond à aucune condition retrouvée dans la présente campagne de mesure.

6.2.2. B.S. Prosser et K.G. Wallace

Vers la fin des années quatre-vingt-dix, Prosser et Wallace ont effectué des relevés de facteurs de friction dans treize mines métalliques autour du monde ; 40 valeurs ont été mesurées dans des galeries, 20 dans des rampes, 10 dans des cheminées de ventilation excavées selon la méthode par foreuse descendante et 5 selon la méthode par tranche montante sur plate-forme mécanisée. L'article dans lequel Prosser et Wallace ont publié leurs résultats précise qu'ils ont mesuré leurs facteurs K dans des galeries de différentes dimensions et où la sinuosité des rampes était variable. Les auteurs n'ont spécifié, ni le degré d'aspérité, ni les obstructions présentes. Pour faire une comparaison valable, les valeurs des grandes et des petites galeries (tableaux 7 à 10) ont été fusionnées. Les facteurs K des rampes droites (tableaux 11 et 12) et des rampes en spirale (tableaux 13 et 14) ont aussi été regroupés. Le tableau 19 présente les données de Prosser et Wallace (PW) et celles de la campagne actuelle (UL) regroupées tel que mentionné ci-haut pour l'ensemble de celles-ci et selon les situations types de base.

	Campagne (UL-PW) ¹	Valeur moyenne	Valeur minimale	Valeur maximale	Écart-type	Nombre de valeurs
		(kg/m ³) x 10 ⁻⁴	(#)			
Galeries (sans distinctions entre petites et grandes)	UL (E)	96	16	239	50	73
	UL (T)	103	46	151	33	23
	PW	88	47	128	24	40
Rampes (sans distinctions entre droites et spirales)	UL (E)	136	29	279	72	50
	UL (T)	171	59	279	73	15
	PW	116	70	174	31	20
Cheminées (tranche montante – plate-forme mécanisée)	UL (E)	120	35	209	75	6
	PW	113	87	157	33	5
Cheminées (foreuse descendante)	UL (E)	15				1
	PW	47	23	70	15	10

Tableau 19 : comparaison des données de Prosser et Wallace et celles de la présente campagne

Prosser et Wallace obtiennent un facteur K moyen de $88 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ dans les galeries comparativement à un facteur K moyen de $96 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ (9%) pour l'ensemble des données et de $103 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ (15%) pour la situation type de notre campagne. Les auteurs ont également calculé un facteur K moyen de $116 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ pour les rampes comparativement à $136 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ (17%) pour l'ensemble des données et de $171 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ (47%) pour la situation type de base de l'étude actuelle. Un facteur K moyen de $113 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ a été obtenu par Prosser et Wallace dans les cheminées de ventilation tandis qu'un facteur de $120 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ (6%) a été obtenu avec la campagne actuelle.

Mis à part le facteur K moyen de la situation type de base des galeries, les écarts-types des mesures de Prosser et Wallace sont beaucoup plus faibles que ceux de notre campagne. Cela démontre que les conditions physiques (obstructions, sinuosités, aspérités) des ouvertures où les mesures ont été prises étaient moins variables que celles de notre étude (jumelage des rampes spirales et droites). Le peu d'informations sur les conditions physiques des ouvertures étudiées par Prosser et Wallace ne permettent pas de faire des relations précises entre les deux séries de valeurs. Néanmoins, leurs données indiquent des moyennes plus faibles que celles de l'actuelle campagne, ce qui porte à croire que les conditions physiques des ouvertures qu'ils ont étudiées, offraient une résistance plus faible au passage de l'air.

¹ UL (E) : campagne actuelle de relevé de facteurs K (ensemble des données, tableaux 7 et 9 pour les galeries et 11 et 13 pour les rampes), Université Laval, Québec 2003

UL (T) : campagne actuelle de relevé de facteurs K (situation type de base, tableaux 8 et 10 pour les galeries et 12 et 14 pour les rampes), Université Laval, Québec 2003

PW : campagne de relevé de facteurs K, Prosser et Wallace, 1999

38	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

6.2.3. Gangal et Notley

Quatre situations de mesure réalisées par Gangal et Notley s'apparentent à quelques situations rencontrées lors de notre campagne. Toutefois, les valeurs fournies par les auteurs manquent de précision sur les états physiques des galeries étudiées. Les données sont répertoriées selon le type d'ouverture et le mode de soutènement des parois, ce qui ne permet que deux comparaisons entre les valeurs types de bases des grandes et des petites galeries.

	Campagne	Soutènement	Valeur moyenne	Valeur minimale	Valeur maximale	Écart-type	Nombre de valeurs
			(kg/m ³) x 10 ⁻⁴	(#)			
Grandes galeries	UL, tableau 8	Grillage et boulons	107	59	151	32	13
	Gangal et Notley		101	85	121	18	4
Petites galerie	UL tableau 10		97	46	144	34	10
	Gangal et Notley		108	-	-	-	1

Tableau 20 : comparaison des facteurs K moyens de Gangal et Notley et ceux de la présente campagne (UL)

Les données moyennes de Gangal et Notley sont relativement proches des valeurs types de base (tableaux 8 et 10). Le facteur K moyen obtenu dans les grandes galeries est supérieur de $6 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ (6%) tandis que le facteur K que les auteurs ont mesuré dans une petite galerie est supérieur de $11 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^3$ (11%).

7. Applicabilité des résultats

La détermination de l'incertitude relative des facteurs K s'est avérée impossible à calculer puisque trop d'éléments ont pu venir perturber leurs valeurs concrètes. Bien que les opérateurs aient pris soin de mesurer adéquatement les paramètres primaires de calcul, de petites choses ont pu faire varier ces valeurs et fausser leurs lectures. Il fut ainsi impossible d'affecter une valeur juste représentant ces erreurs potentielles et par conséquent, d'établir le degré d'incertitude des facteurs K. Néanmoins, il est primordial d'informer le lecteur de la nature possible de ces erreurs ainsi que des précautions prises pour minimiser ces erreurs.

7.1.1. Perte de charge (H) :

Il a été mentionné que le fait d'obtenir de petites pertes de charges peut engendrer des facteurs K non représentatifs. Cependant, de faibles pertes de charges jumelées à des paramètres représentatifs de cette faible perte donnent des facteurs K proportionnels à ces données, c'est le principe de l'équation d'Atkinson. Néanmoins, les faibles valeurs n'étaient pas désirées a priori puisque les risques d'erreurs associés à leur mesure sont plus élevés que ceux de valeurs plus représentatives. Les valeurs des pertes de charge peuvent avoir subi les erreurs suivantes :

- Les lectures variaient durant la lecture
- Mauvaise coordination entre les opérateurs

- Mauvais positionnement dans l'espace
- Mauvaise évaluation de la masse volumique de l'air
- Mauvaise évaluation de la vitesse

À la lumière de l'énumération ci-contre, il est évident que les risques d'obtenir une perte de charge biaisée sont considérables et que les facteurs K issus de ces calculs ne fournissent pas des facteurs K précis à 100%. Cependant, des précautions sur le terrain ont été prises pour essayer de minimiser la faible valeur de la perte de charge et pour minimiser les erreurs de lectures :

- Vitesse de l'air supérieure à 2 m/s pour faire un relevé
- Distance supérieure à 35 mètres entre les deux stations de mesure
- Aucune perte d'air entre les deux points de mesure
- Quatre mesures altimétriques ont été prises et la différence entre ceux-ci se devait d'être constante.

Malgré toutes ces précautions pour obtenir des pertes de charges précises, les prélèvements de pressions ont été effectués par des êtres humains; les risques d'erreurs possibles étaient omniprésents tout au long de la campagne. Or, une évaluation sporadique de l'incertitude sur cette valeur n'a pas été possible puisque les erreurs ne sont pas vraiment quantifiables. Cependant, le lecteur doit être avisé que cette incertitude est présente et que sa valeur est considérable.

7.1.2. Vitesse de l'air

La vitesse de l'air est un paramètre très difficile à évaluer. La technique utilisée est celle du balayage en continu et celle-ci, comme toutes les autres techniques (smoke tube, séries de points ponctuels), entraînent des erreurs possibles de manœuvre qui peut engendrer une erreur supplémentaire sur le facteur K. Cette méthode a été choisie parce qu'elle est simple, facile à effectuer et qui, lorsque bien exécutée, tient compte du gradient de vitesse lors de l'évaluation de la vitesse moyenne sur une section. Les manœuvres réalisées durant le balayage qui ont pu produire des erreurs sont les suivantes :

- Mauvais positionnement du manipulateur
- Interférence en aval du courant d'air
- Mauvais positionnement du moulinet de l'anémomètre
- Mauvaise manœuvre de l'opérateur lors du balayage (vitesse d'exécution)

Bien que les opérateurs aient tenu compte de ces erreurs potentielles et que les balayages ont été effectués avec minutie, les erreurs reliées aux lectures de vitesses étaient incontournables et considérables. De ce fait, il ne faut pas négliger leurs effets sur la valeur moyenne de la vitesse sur une section et les répercussions sur la valeur finale du facteur K. Encore une fois, affecter des valeurs sur chaque élément de risque s'est avéré impossible mais il importe de les mentionner au lecteur et de prévoir une incertitude importante sur ces lectures.

7.1.3. Aire et Périmètre

Bien que des méthodes plus précises existent (tel que le CMS) pour déterminer l'aire et le périmètre d'une section, la technique par imagerie a été retenue pour les raisons mentionnées à la

40	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

section 3.2. La détermination du degré de précision de cette méthode fut impossible encore une fois puisque aucune section n'a été évaluée avec une autre méthode. Par contre, des tests effectués sur une galerie laboratoire à l'Université Laval ont permis d'obtenir des valeurs extrêmement précises (0,5% d'erreur). Ces tests n'ont pu être utilisés pour les surfaces évaluées sous-terre puisque les parois des ouvertures souterraines sont très accidentées et que les parois de la galerie laboratoire étaient tout à fait droites. Cependant, Potts (1945-46) détermina que la technique était précise (la plus précise à ce moment) et que les moyens d'aujourd'hui (informatique, numérisation) permettent d'obtenir une meilleure précision qu'à cette époque. La méthode est quand même soumise à des erreurs possibles :

- Mauvaise évaluation de l'échelle avec le mètre de référence
- Mauvaise liaison des points entre eux (parois accidentées)
- Mauvais traçage à la lumière (non perpendicularité avec la galerie)

Parmi tous les paramètres de l'équation d'Atkinson évalués durant cette campagne, l'aire et le périmètre sont probablement ceux dont les auteurs sont les plus confiants avec les données recueillies. Bien qu'il n'ait pas été possible de les comparer avec une autre méthode, les erreurs reliées à leur évaluation restent quand même moins considérables, bien que présent, que les autres paramètres. De plus, deux images et plus par section ont été prises pour s'assurer que le jeu d'échelle s'est bien effectué et que la liaison des points s'effectuait avec une très grande minutie.

7.1.4. Longueur

Lorsque l'on détermine des distances à partir d'un ruban à mesurer, les erreurs possibles sont toujours présentes et doivent être considérées. Parmi celles-ci on retrouve :

- Erreurs de lectures sur le ruban
- Mauvaise tension du ruban

Parmi les paramètres de l'équation d'Atkinson, la longueur est sûrement celui qui permet une évaluation juste de cette erreur puisqu'elle est évaluée au centimètre près et qu'une mauvaise extension du ruban peut-amener des erreurs partiellement quantifiables (environ 50 cm au maximum).

Ainsi, au risque de le répéter, pour l'ensemble des raisons mentionnées précédemment, l'attribution d'une incertitude sur le facteur K s'est avérée impossible. Cependant, quelques éléments d'erreurs sont connus et ont été répertoriés dans le tableau ci-bas :

	Altimètre SETRA 370	Anémomètre Extech instrument	Ruban à mesurer	Méthode pour déterminer le périmètre
Paramètre de K	(H)	(V)	(L)	(P)
Précision relative (%)	0,02%	1%	1%	2%

Tableau 21 : résumé des précisions relatives aux appareils et aux méthodes de mesure

IRSSST -	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	41
----------	---	----

Ces données sont fournies par les appareils de mesure et correspondent à la précision de chacun d'eux. Ces valeurs seules ne suffisent pas à fournir une valeur réelle d'incertitude puisqu'ils ne considèrent pas les éléments mentionnés préalablement.

Malgré l'impossibilité d'établir l'incertitude relative des facteurs K, le lecteur doit quand même considérer le travail minutieux des opérateurs pour amoindrir les erreurs de mesures et de calculs.

8. Conclusion

Le but de cette étude était de développer une banque de données détaillée de facteurs de friction (K). Pour ce faire, 137 valeurs ont été mesurées dans une dizaine de mines souterraines du Québec et 244 valeurs, tirées de la littérature, ont été jumelées à la banque de données. Cette banque permet de parcourir l'ensemble des facteurs K répertoriés jusqu'ici et facilite le choix de valeurs K appropriées aux situations étudiées.

Malgré l'incertitude relative présente, les résultats obtenus durant la campagne de relevés sont satisfaisants. Les procédures de mesure sur le terrain expliquées à la section 7 ont permis de réduire partiellement les erreurs de dispersions et de manipulations. Le meilleur moyen de remédier à l'incertitude reliée à cette banque de facteurs K, compte tenu du fait que chaque mine possède des conditions propres et différentes, serait d'effectuer des relevés de ventilation sur place. Or, la banque de facteurs K répond à un besoin des responsables de la ventilation minière qui manquent de temps et d'équipement pour procéder à ce type de mesure. Ces responsables doivent garder à l'esprit que les données recueillies s'accompagnent d'une incertitude relative et que les résultats des simulations effectuées à l'aide de ces données doivent être interprétés comme des tendances permettant d'identifier les zones contraignantes d'un réseau ainsi que les choix initiaux des ventilateurs et des régulateurs.

Dans une campagne similaire qui aurait lieu dans le futur, il serait fortement recommander d'établir une série de relevés à plusieurs reprises au même endroit pour quantifier l'erreur réelle du facteur K. Cela n'a pas été fait et une estimation juste de l'incertitude aurait donné plus d'assurances aux facteurs K calculés.

À partir du tableau 17, des relations ont pu être établies entre les divers types de soutènement, les degrés de sinuosité, les degrés d'aspérité et les facteurs K. Les pourcentages d'ajout calculés pour refléter l'influence de ces paramètres démontrent clairement les corrélations possibles. Toutefois, il faut souligner que chaque cas doit être évalué indépendamment en considérant toutes ses particularités. Parmi ces pourcentages d'ajout calculés, celui qui compare les rampes droites aux rampes en spirale est sans doute le plus évocateur. Pour les situations types des ces deux ouvertures, une augmentation de l'ordre de 130% est enregistrée sur le facteur K des rampes en spirale. Or, plusieurs mines au Québec se servent des rampes pour faire circuler des quantités d'air importantes. Il serait intéressant de vérifier les données de facteurs K qu'ils ont établies pour ce type d'ouverture ; il est probable que l'on constaterait une sous-estimation de l'influence d'une courbe prononcée puisque la sinuosité des ouvertures n'a jamais fait l'objet

42	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

d'études approfondies et les études similaires antérieures n'ont jamais distingué ces deux types de rampes.

Une particularité de notre étude est le détail des conditions des ouvertures où chaque facteur K a été mesuré. Ainsi, il est possible d'effectuer des recherches de facteurs K dans la banque de données selon les paramètres désirés : type d'ouverture, mine, degré d'aspérité des parois, degré de sinuosité, type de géologie et le mode du soutènement. Pour chaque valeur de facteur K, les descriptions des obstructions, les images des parois et les plans de forage sont disponibles à l'utilisateur.

Les études antérieures ne sont pas aussi détaillées que la nôtre et dans certains cas, les auteurs ne distinguent pas les grandes des petites galeries, ni les rampes droites des rampes en spirale. Comme le démontre la section 5 traitant des résultats du présent rapport, le fait d'avoir calculé des facteurs K dans plusieurs situations différentes a fait en sorte que les données obtenues sont très dispersées; conséquemment, les écarts-types sont élevés. Cette dispersion se remarque aussi dans les facteurs K des autres études. Le tableau 18 résume ces résultats et la section 6.2 établit des relations entre nos valeurs et celles des autres auteurs. Il y a une similitude entre nos données et celles de la littérature sans toutefois y porter une grande attention puisque les autres chercheurs ont fourni peu d'informations sur les conditions physiques des ouvertures et que le nombre de valeurs calculées est peu élevé comparativement à ceux de la présente campagne.

Les situations types de base exposées à la section 5 (résultats) du présent rapport peuvent être utilisées si le responsable en ventilation n'a aucune idée des conditions de l'ouverture dont il souhaite estimer le facteur de friction. Cependant, il est fort conseillé d'estimer les paramètres qui influencent le facteur K (aspérité, courbe, soutènement) avant de commencer la recherche et ensuite, en utilisant la banque de données, de visualiser chaque facteur K pour faire sa propre analyse selon les conditions spécifiques de l'ouverture minière. Cette démarche est la plus efficace et celle qui répondra aux besoins propres de la mine. Les conditions que l'on rencontre dans une galerie minière sont spécifiques et l'influence que ces conditions peuvent avoir sur la valeur finale du facteur K est non-négligeable.

IRSST -	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	43
---------	---	----

9. Retombées éventuelles

Les responsables de la ventilation des mines souterraines québécoises ont maintenant à leur disposition un outil pour évaluer un facteur K sans avoir à effectuer des travaux manuels sous-terre. La banque de données créée, permet d'estimer un facteur K rapidement ce qui donnera plus de temps aux responsables de ventilation pour bien effectuer les simulations des réseaux de ventilations et d'émettre des conclusions initiales sur les tendances de ces réseaux. Également, les choix de ventilateurs ou de régulateurs pourront se faire plus facilement. Du même coup, cet outil entraînera des gains de temps, d'argent et aura comme conséquence de favoriser l'organisation d'un milieu de travail souterrain plus sain. Cet outil est aussi utile pour l'affectation de facteurs K lorsque la mine n'existe pas encore ou pour un projet d'agrandissement, dans ces situations, il est impossible d'avoir une mesure sur place du facteur de friction, par contre, plusieurs éléments de la zone à être développée sont connus et serviront de paramètres de recherche dans la banque de données. La précision des simulations en sera ainsi améliorée.

44	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

Bibliographie

- Barcza, M., (1995), *Relationship between Air Velocity and Friction Factor*, Journal of the Mine Ventilation Society of South-Africa. Vol.45, No.8, pp. 159-160.
- Billette N., (1984), Simulation du réseau de ventilation des mines d'or Kiena, rapport technique, Université Laval
- Bromilov, J-G., (1960), The Estimation and the Reduction of the Aerodynamic Resistance of Mine Shaft, Transactions the Institution of Mining Engineers, Vol. 119, No.8.
- Clive, R., Hay, D., Statham, C.F., (1939) *Mine Ventilation, a Review of Present Theory and Practice* (10th Report of the Midland Institute Comittee on Mine Ventilation, Transactions of the Institution of Mining Engineers, Vol. XC (VIII), pp 20-56
- Caliza F., You, K., McPherson, M.J.,(1991), *The Flow of Air Over Rough Surfaces in Simulated Mine Openings*, Proceeding of the 5th US Mine Ventilation Symposium. Chapter 56, pp. 447-457.
- Caliza F., You, K., McPherson, M.J., Mousset-Jones, P., (1990), *The effect of Flow Direction on Friction Factor in Simulated Mine Openings*, Proceeding of the 8th Annual Workshop Generic Mineral Technology Center Mine Systems Design and Ground Control. Reno, Nevada., pp. 181-191.
- Cooke, W.E., Statham, I.C.F., (1928-29), *The resistance to airflow in bends and straight airways*, (6th Report of the midland institute on ventilation of mines, Loc-Cit, Vol.LXXVII, 188.
- Deen, J.B., (1991), *Field Verification of Shaft Resistance Equations*, Proceedings of the 5th US Mine Ventilation Symposium.
- Fytas, K., *Ventilation Minière*, Note de cours pour le cour Ventilation minière, GMN-10466, été 2000, Université Laval, Québec. 265 pp.
- Fytas, K., Garant J., 1988, *simulation du réseau de ventilation de la mine Doyon*, rapport technique, Université Laval
- Gangal, M.K., Notley, K.R., Archibald, J.F., (1985), *Analysis of Friction Factors in Mine Ventilation Systems*, Mine Ventilation, Pierre Mousset Jones Edition, pp. 707-713
- Publication du Gouvernement du Québec, (2004) Loi sur la santé et la sécurité au travail dans les mines, Règlement sur la, R.Q. S-2.1, r.19.1, Éditeur officiel du Québec
- Hardcastle, S.G., Grenier, M.G., Butter, K.C., (1993), *Electronic Anemometry Recommended Instruments & Methods for Routine Mine Airflow Measurements*, 6th US Mine Ventilation Symposium.

IRSSST -	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	45
----------	---	----

- Hartman, H.L., Mutmansky J.M., Ramani R.V., Wang Y.J., (1997), *Mine Ventilation And Air Conditioning*, 3rd Edition, Wiley-Interscience
- Hodkinson, J.R., Leach, J.,(1959), *Some observations of the Law of Airflow Resistance*, Colliery Engineering, No. 1, Vol. XXXVI, pp.526-528.
- Kharkar, R., Ramani, R.V., Stefenko, R., (1972), *Analysis of Leakage and Friction Factors in Coal Mine Ventilation Systems*, An Investigation Conducted Under the Auspices of the Department of Commerce of the Commonwealth of Pennsylvania, Contract Number CR-98U, Special Research Report, Number SR-99
- Konduri, I.M., Caliza, F., Mousset-Jones, P., Danko, G., (1993), *Surface Roughness Characterization For a Mine Airway in the Sunshine Mine*, Proceeding of the 6th US Mine Ventilation Symposium.
- Le May A., (1992), *Le rapport d'expérimentation en sciences*, Collection notes de cours, édition révisée, Éditions Beauchemin ltée.
- Lemy, Frank, (2002), *Caractérisation des réseaux de discontinuités par analyse d'images*, Thèse, Ph.D., Université Laval, Québec.
- Mancha, R., (1946), *Surveys of underground Mine Pressure*, Trans. AIME, Vol. 168, pp 106-118
- Martinson, M.J., Larsen, J.R., Andrews, J.W., (1987), *Measurement of Airway Resistance Factors in a Green-River(Wyoming) Trona Mine*, Proceeding of the 3th U.S. Mine Ventilation Symposium, pp. 486-492
- Martinson, M.J., (1987), *Factors Affecting Aerodynamic Resistance of Airways in Bord and Pillar Workings*, Underground Mining Methods and Technology. Edited by A.B. Szwilski and M.J. Richards, Elsevier Science publisher B.V., Amsterdam.
- McDonald, A., Fox, W.R., *Incompressible In viscid Flow*, Chapter 6.3-6.6 of Introduction to Fluid Mechanics, School of Mechanical Engineering, Purdue University, John Wiley & Sons, Inc. pp 237-259.
- McElroy, G.E., Engineering (1935) *Factors in the Ventilation of Metal Mines*, U.S. Department of the Interior, Bulletin 385. Bureau of Mine, United States Government Printing Office,
- McElroy, G.E., Kingery, D.S., (1957), *Making Ventilation-Pressure Surveys With Altimeters*, USBM I.C. No. 7809, United States Department of the interior.
- McElroy, G.E., Richardson, A.S., (1927), *Resistance of metal-mine airways*. Bureau of mines, bulletin no. 260, USBM, Herbert Hoover, Scott Turner, 149 pages
- McPherson, M.J, (1971), *The Metrication and Rationalization of Mine Ventilation Calculations*, The Mining engineer. V.130, N.131, pp 729-738.

46	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

- McPherson, M.J., (1975), *The Resistance of Mine Airways*, Journal of the Mine Ventilation Society of South Africa. V.43. N.10., pp 191-195.
- McPherson, M.J., (1976), *The application of computers to environmental planning for Underground Mines*, Application of Computer Methods in the Mineral Industry, Proceeding of the 14th Symposium. Society of Mining Engineers of American Institute of Mining, Metallurgical, and Petroleum Engineers, Inc. New York. Pp. 481-493
- McPherson, M.J., (1985), *The Resistance to Airflow on a Longwall Face*, Proceeding of the 2nd U.S. Mine Ventilation Symposium, pp. 531-542.
- McPherson, M.J., (1987), *The Resistance to Airflow of Mine Shafts*, Proceeding of the 3rd U.S. Mine Ventilation Symposium, pp. 465-477
- McPherson, M.J., (1988), *An Analysis of the Resistance and Airflow Characteristics of Mine Shafts*, Proceeding of the 4th International Mine Ventilation Symposium. Pp. 85-92
- McPherson, M.J., (1993), *Subsurface Ventilation and Environmental Engineering*, Chapitre 5, incompressible flow relationships. Chapman and Hall, pp. 134-174.
- Mistra, G.B., *Model Studies on the Resistance of Airways Supported with Round Sets*, Society of Mining Engineers, AIME Transactions, Vol. 250, March 1971- no. 45.
- Mistra, G.B., *Model Studies on the Resistance of Airways Supported with Timber Sets*, Society of Mining Engineers, AIME Transactions, Vol. 250, December 1971.
- Murgue, D., (1893), *Experimental Investigations on the Logs of Head*, American Institute of Mining Engineer (AIME) Transactions, Vol 23, August, pp. 63-112.
- Notley, K.R., (1985), *A Study to Determine Friction Factors of Mine Airways* (final report), Department of Mining Engineering Queen's University, pp. 102
- Perry, G., (2001), *Visual Basic en 21 jours*, Les Éditions Campus Press, Collection le Programmeur.
- Petroutsos, E., (2000), *Mastering Database Programming With VB6*, Alameda, CA, SYBEC Inc. 821 pp.
- Potter, M.C., Wiggert, D.C., Introduction to Fluids in Motion, Chapter 3 in Mechanics of Fluids, second Edition, Prentice Hall, Upper Saddle River, pp. 100-116
- Potts, E.L.J., (1945-46), *Ventilation surveying technique*, Transactions of the Institution of Mining Engineers, Vol. 105, pp. 631-654.

IRSSST -	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	47
----------	---	----

- Prosser, B.S., Wallace, K.G., (1999), *Practical Values of Friction Factors*, Proceedings of the 8th US Mine Ventilation Symposium.
- Rahim, M-O., Patnaik, N.K., Banerjee, S.P., (1976), *Determination of the Frictional Coefficient of Mine Airways with Lining and Support Systems*, J. Mines Metals Fuels, Calcutta, Vol. 24, No. 7, pp 222-229.
- Ramani, R.V., (1977), *Assessment of the Importance of Leakage in Coal Mine Ventilation Systems*, Journal of Mines, Metals and Fuels, Vol 25. No.4, pp 101-106
- Ramani, R.V., 1992, *Mine Ventilation*, Chp. 11.6 in SME, Mining Engineering Handbook, 2nd Edition, H.L. Hartman, sr. ed., SME, Littleton, Co, p.1056.
- Ramani, R.V., Stenfanko, R., Luxbacher, G.W., (1977), *Advancement of mine ventilation network analysis from art to science.*, Vol. IV, Sensitivity of leakage and friction factors. Washington: Bureau of Mines.
- Richardson, A.S., Butte, E.M., *Ventilation of Butte Mines of Anaconda Copper Mining Co.*, Transactions of the Institution of Mining Engineers, Vol. 68, February 1922, pp 33-60
- Skochinsky, A., Komarov, V., Mine ventilation, chapter 8 : *Aerodynamic Resistance of Mine Working*, appendixes 1-6, Values of coefficient in mining airways”, MIR publisher, Mocow 1969.
- Unrug, Kot, F., (1992), *Construction of Development openings*, Chapter 17.4 of the SME Mining Engineering Handbook, Littleton, Colorado. pp. 1580-1612.
- Vujec, S., (1970), *Determination of resistance in mine airways*, Mining and metallurgy quaterly. (Rudasko-Metalurski zborny), No.1, pp.71-83, Slovenie, Belgrade, Yugoslavia.
- Wala, A.M., (1991), *Determination of Friction Factor for Kentucky's Coal Mines*, SME Annual Meeting Papers for the Presentation, pp. 91-117
- Wala, A.M., (1991), *Studies of Friction Factors for Kentucky's Coal Mines*, Proceeding of the 5th U.S. Mine Ventilation Symposium, Y.J. Wang, ed., SME, Littleton, Co., pp. 675-684.
- Walter S. W., (1926), *Ventilation of Mines*, Mcgraw-Hill Book Company, Inc., NY & London, 228 pp.
- Williams, S. J., *Basic Equations of Fluid Mechanics*, Chapter 3 of Introduction to Fluids Mechanics, Memphis State University, PWS Publishing Company, Boston, pp. 134-165

ANNEXE A :

Calcul de l'humidité relative et de la masse volumique de l'air

(Hartman 1992)

L'air ambiant est un mélange d'air sec et de vapeur d'eau. Ces deux éléments se comportent pratiquement comme des gaz parfaits. Les changements d'état de l'air dont les vapeurs d'eau entraînent des modifications dans l'état d'équilibre de l'air ambiant. Ainsi, étudier le comportement du mélange air-vapeur d'eau requiert l'application de principes thermodynamiques. Pour ce faire, trois éléments sont nécessaires pour connaître l'état d'équilibre de l'air :

1. la pression barométrique (P_b) lue par l'altimètre. Ce dernier peut servir également de baromètre (Pa);
2. la température sèche (t_s) mesurée par un thermomètre conventionnel au mercure ($^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{F}$);
3. la température humide (t_h) mesurée avec un thermomètre dont le bulbe est recouvert d'un cordon de coton imbibé d'eau distillée. La température humide est définie comme étant le taux d'évaporation d'eau dans l'air ($^{\circ}\text{C}$ ou $^{\circ}\text{F}$).

À partir de ces trois derniers paramètres, il est possible de calculer les propriétés de l'air saturé aux températures mesurées :

- Pression de vapeur de saturation à la température sèche (P_s) en kPa

$$P_s = 0.6105 \exp\left(\frac{17.27t_s}{t_s + 237.3}\right)$$

- Pression de vapeur de saturation à la température humide (P_h) en kPa :

$$P_h = 0,6105 \exp\left(\frac{17,27t_h}{t_h + 237,3}\right)$$

Ensuite, le calcul des propriétés de l'air à l'état d'équilibre peut être effectué:

- Pression de vapeur réelle dans la température ambiante (P_u) en kPa :

$$P_u = P_h - 0,000644 P_b(t_s - t_h)$$

- Humidité relative (ϕ) en % :

$$\phi = \frac{P_u}{P_s} * 100$$

- Poids volumique de l'air sec (ρ) en kg/m^3 :

$$\rho = \frac{P_b}{0,287 * T_s}$$

- Humidité absolue (W) :

$$W = 0,622 \left(\frac{P_u}{P_b - P_u} \right)$$

- Poids volumique de l'air humide (ρ_h) en kg/m^3 :

$$\rho_h = \rho(W + 1)$$

ANNEXE B :

Détermination du rapport de densité (DR)

(Hartman 1992)

Le rapport de densité (density ratio) donne le rapport du poids spécifique de l'air sec à 50 oF (10 oC) et du poids spécifique de l'air ambiant de la mine à la même pression barométrique. Le DR corrige la hauteur de la colonne d'air entre les deux stations de mesures pour une hauteur de colonne d'air équivalente à la température sèche de 50°F (10°C). En fait, il s'agit de normaliser nos données pour qu'elles puissent être comparées à partir d'un même point de référence. Il y a deux méthodes pour déterminer le DR : la méthode graphique et la méthode manuelle.

1. LA METHODE GRAPHIQUE :

Il s'agit de lire sur le graphique ci-contre la valeur du DR interceptant les valeurs de l'humidité relative et de la température sèche.

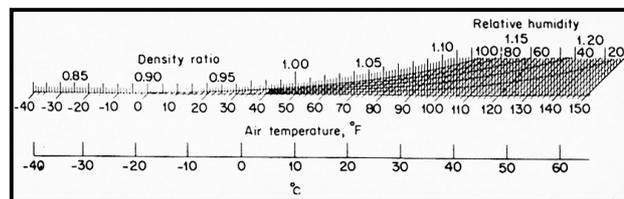


Figure 8 : détermination graphique du rapport de densité à partir de l'humidité relative et de la température sèche (source : Hartman 1992)

2. LA METHODE MANUELLE :

Il s'agit de calculer le DR à partir de la formule suivante :

$$DR = \frac{\left(\frac{P_b}{0.287 (273 + 10)} \right)}{\left(\frac{P_b - 0.378 p'_v}{0.287 (273 + t_s)} \right)}$$

Où :

P_b : la pression barométrique de l'air ambiant de la mine

t_s : température sèche de l'air ambiant de la mine

p'_v : pression de vapeur à la température du point de rosée de l'air ambiant de la mine

À partir des relations suivantes, il faut déterminer la seule valeur inconnue de l'équation haute :

$$W = \frac{1}{0.287 \times T_s} (P_b - 0.378 p'_v)$$

En isolant p'_v la relation suivante est obtenue:

$$p'_v = \frac{W(0.287 \times T_s) - P_b}{-0.378}$$

Où :

W : le poids spécifique de l'air ambiant ou le poids volumique de l'air humide (kg/m³)

T_s : la température sèche en Kelvin

P_b : la pression barométrique

50	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

ANNEXE C :

Détermination du facteur de conversion (FC)

(Hartman 1992)

Le facteur de conversion (FC) sert à convertir les lectures des altimètres et d'altitudes réelles en pression. Bref, les données en mètres sont transformées en Pascals (SI). D'abord, il faut changer les unités en mètres d'air en millimètres d'eau.

Selon cette méthode, il faut tenir compte des masses volumiques des deux fluides mis en cause, soit l'eau (1000 kg/m³) et l'air (calculé à l'annexe A). Ainsi, selon l'équation qui suit, une valeur très précise du facteur de correction est obtenue

$$H_{eau} \times \rho_{eau} = H_{air} \times \rho_{air}$$

Où :

- H_{eau} est la hauteur de la colonne d'eau en mm d'eau = 1 mm
- H_{air} est la hauteur de la colonne d'air en mm d'air
- ρ_{eau} est la masse volumique de l'eau = 1000 kg/m³
- ρ_{air} est la masse volumique de l'air (voir annexe A)

Donc, le CF sera égal à :

$$H_{air} = \frac{H_{eau} \times \rho_{eau}}{\rho_{air}}$$

Une valeur en mm d'air, que l'on peut transformer en mètre (1/1000) est obtenue. Le facteur de conversion qui transforme des mètres d'air en mm d'eau (1 mm d'eau = x m d'air). Par la suite, il faut transformer les valeurs en mm d'eau obtenues en Pascals avec l'aide de la relation suivante : 1 mm d'eau = 9.807 Pa. Ainsi, le FC sera égal à :

$$FC = H_{air (m)} / 9,807$$

ANNEXE D

Tableau synthèse des facteurs K mesurés lors de la campagne de l'Université Laval, 2003

Mine	Type d'ouverture	Facteur K _n (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Facteur K _n (lb•min ² / ft ⁴) x 10 ⁻¹⁰	Soutènement	Aspérité	Géologie	Courbure	Obstacles et descriptions
(-)	(-)			(-)	(-)	(-)	(-)	(-)
Bouchard-Hébert	Petite galerie	62	33	Boulons	Lisse	Rhyolite	Droite	Station d'aiguillage
Bouchard-Hébert	Petite galerie	46	25	Boulons	Lisse	Rhyolite	Droite	Baie de sécurité
Bouchard-Hébert	Petite galerie	95	51	Boulons	Lisse	Rhyolite	Droite	Baie de sécurité
Bouchard-Hébert	Petite galerie	37	20	Boulons	Lisse	Rhyolite	Droite	Station d'aiguillage
Bouchard-Hébert	Petite galerie	115	62	Boulons	Lisse	Rhyolite	Droite	Poudrière fermée
Bouchard-Hébert	Petite galerie	52	28	Boulons	Lisse	Rhyolite	Droite	Rien
Bouchard-Hébert	Grande galerie	101	54	Grillage et boulons	Lisse	Rhyolite	Droite	Baie de sécurité et dépôt de détonateurs
Bouchard-Hébert	Grande galerie	148	80	Grillage et boulons	Moyenne	Rhyolite	Droite	Baie de sécurité
Bouchard-Hébert	Grande galerie	59	32	Grillage et boulons	Lisse	Rhyolite	Droite	Rien (petite baie de sécurité)
Louvicourt	Grande galerie	219	118	Grillages et boulons	Rugueuse	Diorite	Droite	Station électrique et baie de forage
Louvicourt	Grande galerie	63	34	Grillages et boulons	Très lisse	Tuff	Très légère	baie de forage
Louvicourt	Grande galerie	16	9	Grillages et boulons	Très lisse	Tuff	Légère	baie de forage
Louvicourt	Grande galerie	85	46	Grillages et boulons	Lisse	Tuff	Droite	baie de forage
Louvicourt	Grande galerie	22	12	Grillages et boulons	Très lisse	Tuff	Droite	baie de sécurité
Louvicourt	Rampe droite	95	51	Grillages et boulons	Moyenne	Tuff	Droite	baie de chargement
Louvicourt	Grande galerie	53	28	Grillages et boulons	Très lisse	na	droite	1 dépôt d'explosif et 1 dépôt de détonateurs
Louvicourt	Rampe spirale	243	131	Grillages et boulons	Moyenne	na	prononcée	3 baies de sécurité
Louvicourt	Rampe spirale	239	129	Grillages et boulons	Moyenne	na	prononcée	1 baie de sécurité et 1 baie de chargement
Louvicourt	Grande galerie	125	67	Grillages et boulons	Très rugueuse	volcanique-sédimentaire	droite	rebuts, refuge

Louvicourt	Puits	115	62	Ciment	Très lisse	na	Droite	Ancien puits d'exploration servant de cheminée de ventilation. Le puits est séparé en deux parties distinguées séparés d'un grillage de sécurité. Une partie représentant environ le quart de la section du puits sert aux installations de sortie d'urgence (échelles et paliers). Également tous les éléments nécessaires à la mine y sont présents (Tuyaux d'air comprimé, électricité, eau potable, eau à foreuse, retour d'eau). De l'autre côté le trou est ouvert et l'air utilise cette section du puits pour circuler.
Mouska	Petite Galerie	66	36	Grillages et boulons	Lisse	Diorite	Droite	2 baies de sécurité et 1 baie de forage
Mouska	Petite Galerie	63	34	Grillages et boulons	Lisse	Diorite	Droite	3 baies de sécurité, 1 baie de forage et une station d'aiguillage
Mouska	Petite Galerie	136	74	Grillages et boulons	Moyenne	Diorite	Droite	2 baies de sécurité et une station d'aiguillage
Mouska	Petite Galerie	201	109	Grillages et boulons	Rugueuse	Diorite	Droite	3 baies de sécurité
Mouska	Petite Galerie	104	56	Grillages et boulons	Lisse	Diorite	Droite	2 baies de sécurité, une station d'aiguillage. Sillage dans la forme de l'ouverture
Mouska	Petite Galerie	77	41	Grillages et boulons	Lisse	Diorite	Droite	2 baies de sécurité
Mouska	Petite Galerie	47	25	Grillages et boulons	Lisse	Diorite	Droite	6 baies de sécurité, 2 stations d'aiguillages
Mouska	Cheminée de ventilation	156	84	Aucun	Moyenne	nd	Droite	Cheminée de ventilation principale avec sortie de secours : paliers et échelles séparés du trou ouvert par un grillage de sécurité. Écoulement d'eau et parois altérées. 2,4 m X 2,4 m
Raglan	Grande galerie	151	82	Grillages et boulons	Moyenne	gabro	légère	Baie de sécurité.
Raglan	Grande galerie	68	36	Boulons et ceintures de soutènement	Lisse	péridodite	légère	Baie de sécurité.
Raglan	Grande galerie	40	21	Grillages et boulons	Très lisse	gabro	légère	Baie de sécurité.
Raglan	Grande galerie	73	39	Boulons et ceintures de soutènement	Lisse	péridodite	légère	Baie de sécurité.
Raglan	Grande galerie	52	28	Boulons et ceintures de soutènement	Lisse	péridodite	légère	Baie de sécurité.
Raglan	Rampe droite	59	32	Boulons	Lisse	gabro	droite	agrandissement (24%), baie de sécurité
Raglan	Rampe droite	28	15	Grillages et boulons	Très lisse	gabro	droite	diminution de surface (31%)
Raglan	Rampe droite	138	74	Boulons	Moyenne	gabro	droite	dépôt de détonateurs,
Raglan	Rampe droite	158	85	Grillage, boulons et ceintures de soutènement	Moyenne	péridodite	droite	2 baies de sécurité
Raglan	Rampe droite	158	85	Grillages et boulons	Moyenne	péridodite	Moyenne	2 baies de sécurité
Raglan	Rampe droite	100	54	Grillages et boulons	Lisse	gabro	Droite	Baie de sécurité.
Raglan	Rampe droite	59	32	Grillages et boulons	Lisse	gabro	Droite	Baie de sécurité.
Beaufor	Petite Galerie	55	30	Grillage et boulon	Lisse	granodiorite fraîche	droite	2 accès fermés
Beaufor	Petite Galerie	109	59	Grillage et boulon	Moyenne	granodiorite fraîche	droite	station d'aiguillage

Beaufor	Petite Galerie	20	11	Grillage et boulon	Très lisse	granodiorite fraîche	droite	aucun
Beaufor	Petite Galerie	127	69	Grillage et boulon	Moyenne	granodiorite fraîche	droite	2 baies de sécurité
Beaufor	Petite Galerie	184	99	Grillage et boulon	Moyenne	granodiorite fraîche	légère	1 baie de sécurité et 1 accès fermé.
Beaufor	Petite Galerie	123	66	Grillage et boulon	Moyenne	granodiorite fraîche	droite	aucun
Beaufor	Petite Galerie	223	120	Grillage et boulon	Moyenne	granodiorite fraîche	droite	2 accès fermés
Beaufor	Petite Galerie	85	46	Grillage et boulon	Lisse	granodiorite fraîche	légère	aucun
Doyon	Grande galerie	149	80	Grillage et boulons	Moyenne	leuco-tonalite-intrusive	droite	Aucun
Doyon	Grande galerie	66	36	Grillage et boulons	Moyenne	leuco-tonalite-intrusive	droite	Aucun
Doyon	Grande galerie	179	97	Grillage et boulons	Lisse	leuco-tonalite-intrusive	droite	Station électrique et accès à un chantier fermé
Doyon	Rampe Droite	258	139	Grillage et boulons	Rugueuse	leuco-tonalite-intrusive	droite	Baie de sécurité
Doyon	Rampe Spirale	207	112	Grillage et boulons	Lisse	leuco-tonalite-intrusive	accentuée	Aucun
Doyon	Rampe Droite	107	58	Grillage et boulons	Très lisse	leuco-tonalite-intrusive	droite	aucun
Doyon	Rampe Droite	150	81	Boulons	Très lisse	leuco-tonalite-intrusive	faible	baie de sécurité
Doyon	Rampe Droite	106	57	Boulons	Très lisse	leuco-tonalite-intrusive	droite	aucun
Doyon	Grande galerie	127	69	Grillage et boulons	Moyenne	leuco-tonalite-intrusive	droite	Baie de forage
Doyon	Grande galerie	112	60	Grillage et boulons	Lisse	leuco-tonalite-intrusive	droite	Baie de forage, baie de soutirage
Doyon	Grande galerie	178	96	Grillage et boulons	Moyenne	leuco-tonalite-intrusive	droite	Station électrique, accès à un chantier fermé
Doyon	Grande galerie	104	56	Grillage et boulons	Lisse	leuco-tonalite-intrusive	droite	Aucun

Doyon	Rampe Spirale	40	21	Grillage et boulons	Très lisse	leuco-tonalite-intrusive	accentuée	Baie de sécurité
Doyon	Rampe Droite	65	35	Boulons	Très lisse	leuco-tonalite-intrusive	droite	Baie de sécurité
Doyon	Cheminée de ventilation	24	13	Aucun	Lisse		Droite	Libre
Doyon	Cheminée de ventilation	70	38	Boulons	Lisse		Droite	Libre
Doyon	Cheminée de ventilation	257	138	Boulons	Rugueuse		Droite	Libre
Doyon	Cheminée de ventilation	359	194	Boulons	Rugueuse		Droite	Boulons ayant subis les contre coups de sautages
Géant Dormant	Petite galerie	67	36	Boulons	Moyenne	Dyke de gabbro	Droite	
Géant Dormant	Petite galerie	125	67	Boulons	Moyenne	Dacite	Légère	
Géant Dormant	Petite galerie	100	54	Boulons	Lisse	Dacite	Légère	
Géant Dormant	Petite galerie	72	39	Boulons	Moyenne	Dacite	Légère	
Géant Dormant	Petite galerie	83	45	Grillage et Boulons	Lisse	Dyke de gabbro	Droite	Boisage. Toilette.
Géant Dormant	Petite galerie	55	30	Grillage et Boulons	Lisse	Dyke de gabbro	Droite	Boisage. Toilette.
Géant Dormant	Petite galerie	144	78	Grillage et Boulons	Moyenne	Dacite	Droite	
GD	Cheminée de ventilation	61	33	Ciment	Très lisse	na	Droite	2 tuyaux de 8". 1 de 4" et 1 de 2". Des fils électriques
Laronde	Rampe Droite	48	26	Grillages et Boulons	Très lisse	Rhyodacite	Droite	1 baie de sécurité et 3 baies de forage
Laronde	Rampe Droite	67	36	Grillages et Boulons	Très lisse	Rhyodacite	Droite	1 baie de halage, 3 baies de forage et 1 baie de sécurité
Laronde	Rampe Spirale	271	146	Grillages et Boulons	Lisse	Rhyodacite	Prononcée	2 baies de sécurité
Laronde	Galerie	70	38	Grillages et Boulons	Lisse	Rhyodacite	Droite	dépôts de détonateur et dépôts de matériels
Laronde	Galerie	108	58	Grillages et Boulons	Moyenne	Rhyodacite et Basalte	Droite	2 dépôts de détonateurs, une poudrière et une station de pompage
Laronde	Rampe Droite	41	22	Grillages et Boulons	Très lisse	Rhyodacite	Légère	3 baies de sécurité
Laronde	Rampe Droite	187	101	Grillages et Boulons	Rugueuse	Rhyodacite	Droite	3 baies de sécurité
Laronde	Rampe Spirale	211	114	Grillages et Boulons	Lisse	Rhyodacite	Prononcée	2 baies de sécurité.
Laronde	Rampe Spirale	51	28	Grillages et Boulons	Très lisse	Rhyodacite	Prononcée	Baie de sécurité
Laronde	Rampe Droite	29	16	Grillages et Boulons	Très lisse	Rhyodacite	Légère	Baie de sécurité
Laronde	Grande galerie	33	18	Grillages et Boulons	Très lisse	Basalte	Droite	Accès à un TB. Chambre de décompression
Laronde	Grande galerie	41	22	Grillages et Boulons	Très lisse	Basalte	Droite	Dépôt de détonateurs. Baie de sécurité. Dépôts d'explosifs

Laronde	Grande galerie	56	30	Grillages et Boulons	Très lisse	Basalte	Droite	Baie de sécurité
Laronde	Grande galerie	62	33	Grillages et Boulons	Très lisse	Basalte	Droite	Garage
Laronde	Grande galerie	60	32	Grillages et Boulons	Très lisse	Basalte	Droite	Dépôt d'explosif. Chambre de décompression
Laronde	Grande galerie	92	49	Grillages et Boulons	Lisse	Basalte	Droite	Dépôt de détonateur. Baie de sécurité
Laronde	Grande galerie	184	99	Grillages et Boulons	Rugueuse	Basalte	Droite	2 baies de sécurité
Laronde	Grande galerie	87	47	Grillages et Boulons	Lisse	Basalte	Droite	Baie d'entreposage. Baie de sécurité
Laronde	Grande galerie	53	28	Grillages et Boulons	Lisse	Basalte	Droite	Baie de remplissage (essence)
Laronde	Rampe Droite	190	103	Grillages et Boulons	Rugueuse	Rhyodacite	Droite	Aucun
Laronde	Rampe Droite	100	54	Grillages et Boulons	Lisse	Rhyodacite	Droite	Aucun
Laronde	Cheminée de Ventilation	209	113	Boulons	Rugueuse		Droite	Boulons ayant subis les contre coups de sautages répétitifs
Laronde	Cheminée de Ventilation	169	91	Boulons	Rugueuse		Droite	Boulons ayant subis les contre coups de sautages répétitifs
Laronde	Cheminée de Ventilation	181	98	Boulons	Rugueuse		Droite	Boulons ayant subis les contre coups de sautages répétitifs
Laronde	Cheminée de Ventilation	35	19	Boulons	Lisse		Droite	Aucun
Bell-Allard	Rampe Droite	247	133	Grillage et Boulons	Très Rugueuse	Rhyolite et Dacite	Droite	Baie de Sécurité
Bell-Allard	Rampe Droite	107	58	Grillage et Boulons	Rugueuse	Rhyolite et Dacite	Droite	Baie de sécurité. Tuyau de ventilateur 42"
Bell-Allard	Grande galerie	163	88	Grillage et Boulons	Moyenne	Rhyolite	Moyenne	Poudrière, détonateur et chambre de décompression
Bell-Allard	Grande galerie	239	129	Grillage et Boulons	Rugueuse	Rhyolite	Légère	Aucun
Bell-Allard	Galerie	83	45	Grillage et Boulons	Moyenne	Rhyolite, Dykes indeteminées et Gabbro	Légère	Aucun
Bell-Allard	Rampe Droite	62	33	Ciment Projeté	Lisse	Rhyolite	Droite	Baie de sécurité
Bell-Allard	Rampe Droite	146	79	Grillage et Boulons	Lisse	Rhyolite	Légère	Baie de sécurité
Bell-Allard	Rampe Droite	144	77	Ciment Projeté	Lisse	Rhyolite	Légère	Baie de sécurité
Bell-Allard	Rampe Droite	135	73	Grillage et Boulons	Moyenne	Rhyolite	Moyenne	Baie de sécurité et point de transfert
Bell-Allard	Rampe Droite	80	43	Grillage et Boulons	Moyenne	Rhyolite	Droite	Baie de sécurité
Bell-Allard	Rampe Spirale	201	109	Ciment Projeté	Lisse	Rhyolite	Prononcée	4 baies de sécurité
Bell-Allard	Rampe Spirale	125	67	Ciment Projeté	Lisse	Rhyolite	Prononcée	station électrique
Bell-Allard	Rampe Spirale	221	119	Ciment Projeté	Lisse	Rhyolite	Prononcée	Entreposage de conduites de ventilation flexible et une baie de sécurité
Bell-Allard	Rampe Spirale	177	96	Grillage et Boulons	Moyenne	Volcanique felsique	Prononcée	3 baies de sécurité
Bell-Allard	Rampe Spirale	279	150	Grillage et Boulons	Moyenne		Prononcée	2 baies de sécurité
Bell-Allard	Rampe Spirale	247	133	Grillage et Boulons	Moyenne		Prononcée	3 baies de sécurité. Point de transfère.
Bell-Allard	Rampe Spirale	121	65	Ciment Projeté	Moyenne		Prononcée	3 baies de sécurité
Bell-Allard	Rampe Spirale	150	81	Grillage et Boulons	Moyenne	Rhyolite	Prononcée	2 baies de sécurité et un point de transfère

56	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises						- IRSST
----	---	--	--	--	--	--	---------

Bell-Allard	Rampe Spirale	210	113	Grillage et Boulons	Moyenne	Rhyolite	Prononcée	2 baies de sécurité
Bell-Allard	Cheminée de ventilation	64	34	Grillage et Boulons	Moyenne		Droite	
Bell-Allard	Puits	143	77	Ciment	Lisse		Droite	Échelles, paliers, cage et skip.
Niobec	Grande galerie	115	62	Boulons	Lisse	Carbonatite dolomique	Droite	1 ouverture fermée et puisard
Niobec	Grande galerie	117	63	Boulons	Lisse	Carbonatite dolomique	Droite	2 ouvertures fermées donnant accès à la galerie 15
Niobec	Grande galerie	35	19	Grillages et Boulons	Très lisse	Carbonatite dolomique	Droite	Aucun
Niobec	Grande galerie	95	51	Grillages et Boulons	Moyenne	Carbonatite dolomique	Droite	Aucun
Niobec	Grande galerie	78	42	Boulons	Lisse	Carbonatite dolomique	Droite	Baie d'entreposage
Niobec	Grande galerie	103	55	Grillages et Boulons	Moyenne	Carbonatite dolomique	Droite	Diminution de 33% de la surface entre les deux points de mesure.
Niobec	Grande galerie	137	74	Grillages et Boulons	Moyenne	Carbonatite dolomique	Droite	Aucun
Niobec	Grande galerie	61	33	Boulons	Lisse	Carbonatite dolomique	Droite	3 baies de sécurité
Niobec	Grande galerie	111	60	Boulons	Moyenne	Carbonatite dolomique	Moyenne	Baie d'entreposage
Niobec	Rampe Droite	56	30	Aucun	Lisse	Carbonatite dolomique	Moyenne	Aucun
Niobec	Rampe Droite	69	37	Aucun	Lisse	Carbonatite dolomique	Légère	Aucun
Niobec	Rampe Droite	162	87	Aucun	Moyenne	Carbonatite dolomique	Droite	Baie de forage
Niobec	Rampe Droite	143	77	Aucun	Moyenne	Carbonatite dolomique	Droite	Baie de forage
Niobec	Rampe Droite	137	74	Aucun	Moyenne	Carbonatite dolomique	Moyenne	2 baies de sécurité
Niobec	Rampe Droite	29	16	Aucun	Lisse	Carbonatite dolomique	Légère	Aucun
Niobec	Rampe Droite	153	82	Aucun	Moyenne	Carbonatite dolomique	Moyenne	Baie de sécurité
Niobec	Cheminée de ventilation	15	8	Aucun	Très lisse		Droite	Aucun

ANNEXE E

Facteurs K de références

Références	Mine	Type d'ouverture	Facteur K _n SI (kg/m ³) x 10 ⁻⁴	Facteur K _n Imp (lb.min ² /ft ⁴) x 10 ⁻¹⁰	Soutènement	Aspérité	Géologie	Courbure	Obstacles	Commentaires
(-)	(-)	(-)	(kg/m ³) x 10 ⁻⁴	(lb.min ² /ft ⁴) x 10 ⁻¹⁰	(-)	(-)	(-)	(-)		
McPherson, 1993		Galerie	40	22		Lisse				
McPherson, 1993		Galerie	55	30	Ciment Projeté	Lisse				
McPherson, 1993		Galerie	90	49	Aucun	Lisse				Nue avec peu de rugosité
McPherson, 1993		Galerie	95	51	Ciment	Lisse				Poutre sur maçonnerie ou mur cimenté
McPherson, 1993		Galerie	120	65	Aucun	Moyenne				Nue avec quelques irrégularités
McPherson, 1993		Galerie	140	75	Aucun	Rugueuse				Nue avec parois irrégulières
McPherson, 1993		Galerie	160	86	Aucun	Très rugueuse				Nue rugueuse avec irrégularités
McPherson, 1993		Galerie	190	102	Poutres	Très rugueuse			Très obstrué	Poutres sur des étaux latéraux
McPherson, 1993		Galerie	400	216	Aucun	Très rugueuse			Très obstrué	Parois rugueuses, plancher inégal, garde fou
McPherson, 1993		Puits	30	16	Aucun	Lisse		Droite	Aucun	Revêtement lisse, sans obstruction
McPherson, 1993		Puits	40	22	Briques	Lisse		Droite	Aucun	Revêtement en briques, sans obstruction
McPherson, 1993		Puits	65	35	Ciment	Lisse		Droite	Guides de tuyaux et de câbles	Revêtement en béton
McPherson, 1993		Puits	75	40	Briques	Lisse		Droite	Guides de tuyaux et de câbles	Revêtement en briques
McPherson, 1993		Puits	100	54	Aucun	Lisse		Droite	Aucun	Nue, surface bien écaillée
McPherson, 1993		Puits	120	65	Aucun	Moyenne		Droite		Nue, pas d'irrégularités majeures
McPherson, 1993		Puits	140	75	Grillages et Boulons			Droite		
McPherson, 1993		Puits	180	97	Briques	Lisse		Droite	Étaux latéraux	Revêtement en briques
McPherson, 1993		Puits	220	119	Poutres			Droite		Étaux latéraux attachés ensembles avec une poutre

Prosser et Wallace, 1999		Galerie	88	47	Grillage et boulons			Droite	Aucun	Valeur MOYENNE obtenue parmi 40 facteurs K évalués dans des galeries horizontales de mines métalliques à travers le monde
Prosser et Wallace, 1999		Rampe	116	63	Grillage et boulons				Aucun	Valeur MOYENNE obtenue parmi 20 facteurs K évalués dans des rampes de mines métalliques à travers le monde
Prosser et Wallace, 1999		Cheminée de ventilation	113	61				Droite	Aucun	Monterie creusée par Alimak. Valeur MOYENNE obtenue parmi 5 facteurs K évalués dans des cheminées de ventilation de mines métalliques à travers le monde
Prosser et Wallace, 1999		Cheminée de ventilation	47	25				Droite	Aucun	Monterie creusée en montant. Valeur MOYENNE obtenue parmi 10 facteurs K évalués dans des cheminées de ventilation de mines métalliques à travers le monde
Prosser et Wallace, 1999		Galerie	128	69	Grillage et boulons			Droite	Aucun	Valeur MAXIMALE obtenue parmi 40 facteurs K évalués dans des galeries horizontales de mines métalliques à travers le monde
Prosser et Wallace, 1999		Rampe	174	94	Grillage et boulons				Aucun	Valeur MAXIMALE obtenue parmi 20 facteurs K évalués dans des rampes de mines métalliques à travers le monde
Prosser et Wallace, 1999		Cheminée de ventilation	158	85				Droite	Aucun	Monterie creusée par Alimak. Valeur MAXIMALE obtenue parmi 5 facteurs K évalués dans des cheminées de ventilation de mines métalliques à travers le monde
Prosser et Wallace, 1999		Cheminée de ventilation	70	38				Droite	Aucun	Monterie creusée en montant. Valeur MAXIMALE obtenue parmi 10 facteurs K évalués dans des cheminées de ventilation de mines métalliques à travers le monde
Prosser et Wallace, 1999		Galerie	47	25	Grillage et boulons			Droite	Aucun	Valeur MINIMALE obtenue parmi 40 facteurs K évalués dans des galeries de mines métalliques à travers le monde
Prosser et Wallace, 1999		Rampe	70	38	Grillage et boulons				Aucun	Valeur MINIMALE obtenue parmi 20 facteurs K évalués dans des rampes de mines métalliques à travers le monde
Prosser et Wallace, 1999		Cheminée de ventilation	87	47				Droite	Aucun	Monterie Creusée par Alimak. Valeur MINIMALE obtenue parmi 5 facteurs K évalués dans des cheminées de

										ventilation de mines métalliques à travers le monde
Prosser et Wallace, 1999		Cheminée de ventilation	23	12				Droite	Aucun	Monterie creusée en montant. Valeur MINIMALE obtenue parmi 10 facteurs K évalués dans des cheminées de ventilation de mines métalliques à travers le monde
Gangal et Notley, 1985	Strathcona (Falconbridge limited) Sudbury	Petite Galerie	59	32	Ciment Projeté	Lisse		Droite	Légèrement obstruée	Rayon hydraulique (Surface/Périmètre) = 0,68.
Gangal et Notley, 1985	Strathcona (Falconbridge limited) Sudbury	Petite Galerie	72	39	Ciment Projeté	Lisse		Droite	Légèrement obstruée. Baie de sécurité	Rayon hydraulique (Surface/Périmètre) = 0,64.
Gangal et Notley, 1985	Fraser Mine	Rampe Droite	117	63	Grillages et Boulons		Gneiss	Droite	Baie de sécurité	Rampe creusée dans l'éponte inférieure. Rayon hydraulique (Surface/Périmètre) = 1,36. Pente 10%
Gangal et Notley, 1985	Lockerby Mine	Galerie	109	59	Ciment Projeté	Rugueuse		Droite	powder magazine	Rayon hydraulique (Surface/Périmètre) = 0,76.
Gangal et Notley, 1985	Denison (elliot Lake)	Galerie	63	34	Boulons		Galets de quartz	Légère	Aucun	Rayon hydraulique (Surface/Périmètre) = 1.
Gangal et Notley, 1985	Denison (elliot Lake)	Galerie	93	50	Boulons		Galets de quartz		Légèrement obstruée	Rayon hydraulique (Surface/Périmètre) = 0,98.
Gangal et Notley, 1985	Camflo Malartic Mine, Québec	Petite Galerie	108	58			Sédimentaire	Légère	Légèrement obstruée (Baie de sécurité)	Rayon hydraulique (Surface/Périmètre) = 0,67.
Gangal et Notley, 1985	Kidd Creek, Timmins, On	Galerie	85	46			Andésite basaltique	Droite	Légèrement obstruée	Rayon hydraulique (Surface/Périmètre) = 1,08.
Gangal et Notley, 1985	Kidd Creek, Timmins, On	Galerie	85	46			Dacite	Droite	Moyennement obstruée	Rayon hydraulique (Surface/Périmètre) = 0,88.
Gangal et Notley, 1985	Dome mine	Galerie	121	65			Dacite	Droite	Moyennement obstruée (baie de sécurité)	Rayon hydraulique (Surface/Périmètre) = 0,82.

60	Développement d'une banque de données de facteurs de friction de ventilation pour les mines québécoises	- IRSST
----	---	---------

Gangal et Notley, 1985	Dome mine	Galerie	111	60		Moyenne		Droite	Moyennement obstruée	Rayon hydraulique (Surface/Périmètre) = 0,86.
Gangal et Notley, 1985	Lingan Mine (Devco)	Galerie	122	66	Cintres d'acier			Droite	Légèrement obstruée	Cintres d'acier avec tôle ondulée. Rayon hydraulique (Surface/Périmètre) = 0,91.
Université Laval, Québec, 1988	Doyon	Rampe en Spirale	141	76	Aucun		Ignée	Prononcée	Aucun	
Université Laval, Québec, 1988	Doyon	Galerie	109	59	Aucun		Ignée	Droite	Aucun	
Université Laval, Québec, 1988	Doyon	Rampe Droite	56	30	Aucun		Ignée	Droite	Aucun	
Université Laval, Québec, 1988	Doyon	Cheminée de ventilation	203	109	Aucun		Ignée	Droite		
Université Laval, Québec, 1988	Doyon	Puits	441	238	Aucun		Ignée	Droite	Très obstrué	Puits rectangulaire à 4 compartiments
Université Laval, Québec, 1988	Doyon	Galerie	185	100	Aucun		Ignée	Droite	Aucun	
Université Laval, Québec, 1988	Doyon	Rampe en Spirale	169	91	Aucun		Ignée	Prononcée	Aucun	
Université Laval, Québec, 1984	Kiena	Rampe en Spirale	93	50		Lisse	Ignée	Prononcée		
Université Laval, Québec, 1984	Kiena	Rampe en Spirale	93	50		Lisse	Ignée	Prononcée		
Université Laval, Québec, 1984	Kiena	Rampe en Spirale	100	54		Moyenne		Prononcée		
Université Laval, Québec, 1984	Kiena	Petite Galerie	95	51				Droite		
Université Laval, Québec, 1984	Kiena	Galerie	197	106				Moyenne	Obstruée	
Université Laval, Québec, 1984	Kiena	Cheminée de ventilation	59	32				Droite		Cheminée aspirante
Université Laval, Québec, 1984	Kiena	Cheminée de ventilation	45	24		Moyenne		Droite		
Université Laval, Québec, 1984	Kiena	Puits	464	250				Droite		Pas d'autres informations
Université Laval, Québec, 1984	Lamaque	Petite Galerie	223	120	Aucun			Droite		

Université Laval, Québec, 1984	E.Malartic	Petite Galerie	121	65	Aucun		Grauwacke	Droite		
Université Laval, Québec, 1984	Gaspé	Petite Galerie	202	109	Aucun		Sédimentaire	Droite		
Université Laval, Québec, 1984	Howey	Petite Galerie	210	113	Aucun		Ignée	Moyenne		
Université Laval, Québec, 1984	Frood	Petite Galerie	65	35	Aucun		Ignée	Droite		
Université Laval, Québec, 1984	Normétal	Petite Galerie	250	135	Aucun		Ignée	Moyenne		
Université Laval, Québec, 1984	Frood	Petite Galerie	158	85	Aucun		Ignée	Moyenne		
Université Laval, Québec, 1984	Frood	Petite Galerie	139	75	Aucun		Ignée	Moyenne		
Université Laval, Québec, 1984	Lamaque	Petite Galerie	297	160	Boisage		Ignée	Moyenne		
Université Laval, Québec, 1984	Howey	Petite Galerie	300	162	Boisage		Ignée	Moyenne		
Université Laval, Québec, 1984	Frood	Petite Galerie	139	75	Boisage		Ignée	Moyenne		
Université Laval, Québec, 1984	Frood	Petite Galerie	195	105	Boisage		Grauwacke	Moyenne		
Université Laval, Québec, 1984	Bell	Petite Galerie	167	90	Aucun			Droite		
Université Laval, Québec, 1984	Howey	Cheminée de ventilation	186	100	Aucun		Sédimentaire	Droite		
Université Laval, Québec, 1984	Frood	Cheminée de ventilation	111	60	Aucun		Ignée	Droite		
Université Laval, Québec, 1984	Kerr Add.	Cheminée de ventilation	121	65	Aucun		Ignée	Droite		Circulaire
Université Laval, Québec, 1984	Manitou	Cheminée de ventilation	307	165	Grillages et Boulons		Ignée	Droite	Échelles et paliers en bois	rectangulaire (1,8 m X 1,5 m)
Université Laval, Québec, 1984	Lamaque	Cheminée de ventilation	316	170	Grillages et Boulons		Ignée	Droite	Échelles et paliers en bois	rectangulaire (2,1 m X 1,5 m)
Université Laval, Québec, 1984	E.Malartic	Cheminée de ventilation	307	165	Grillages et Boulons		Grauwacke	Droite	Échelles et paliers en bois	
Université Laval, Québec, 1984	Frood	Cheminée de ventilation	191	103			Ignée	Droite	Échelles et paliers en bois	
Université Laval, Québec, 1984	Sigma	Cheminée de ventilation	84	45	Aucun		Sédimentaire	Droite	Aucun	rectangulaire (1,8 m X 3,6 m)
Université Laval, Québec, 1984	Bell	Puits	346	187	Ciment			Droite		Circulaire

Université Laval, Québec, 1984	Bell	Puits	467	252	Boisage			Droite		Rectangulaire (1,8 m X 5,5 m)
Université Laval, Québec, 1984	Lamaque	Puits	261	141				Droite	Compartiment pour échelles et paliers en bois	Rectangulaire (2,4 m X 2,7 m)
Université Laval, Québec, 1984	Opemiska	Puits	257	139	Boisage			Droite		Carré (L=2,7 m)
Université Laval, Québec, 1984	Niobec	Puits	359	194				Droite		
Université Laval, Québec, 1985	Seleine	Puits	354	191				Droite		Rectangulaire (3,5 m X 3 m)
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	19	10		Très Lisse		Droite	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	28	15		Moyenne		Droite	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	37	20		Très Rugueuse		Droite	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	28	15		Très Lisse		Droite	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	37	20		Moyenne		Droite	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	47	25		Très Rugueuse		Droite	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	47	25		Très Lisse		Droite	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	56	30		Moyenne		Droite	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	65	35		Très Rugueuse		Droite	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	37	20		Très Lisse		Légère	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	47	25		Moyenne		Légère	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	56	30		Très Rugueuse		Légère	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	47	25		Très Lisse		Légère	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	56	30		Moyenne		Légère	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU

McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	65	35		Très Rugueuse		Légère	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	65	35		Très Lisse		Légère	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	74	40		Moyenne		Légère	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	84	45		Très Rugueuse		Légère	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	47	25		Très Lisse		Moyenne	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	56	30		Moyenne		Moyenne	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	65	35		Très Rugueuse		Moyenne	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	56	30		Très Lisse		Moyenne	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	65	35		Moyenne		Moyenne	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	74	40		Très Rugueuse		Moyenne	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	74	40		Très Lisse		Moyenne	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	84	45		Moyenne		Moyenne	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	93	50		Très Rugueuse		Moyenne	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	65	35		Très Lisse		Prononcée	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	74	40		Moyenne		Prononcée	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	84	45		Très Rugueuse		Prononcée	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	74	40		Très Lisse		Prononcée	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	84	45		Moyenne		Prononcée	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	93	50		Très Rugueuse		Prononcée	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	93	50		Très Lisse		Prononcée	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU

McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	102	55		Moyenne		Prononcée	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	112	60		Très Rugueuse		Prononcée	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	56	30		Très Lisse	Sédimentaire	Droite	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	102	55		Moyenne	Sédimentaire	Droite	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	130	70		Très Rugueuse	Sédimentaire	Droite	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	65	35		Très Lisse	Sédimentaire	Droite	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	112	60		Moyenne	Sédimentaire	Droite	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	140	75		Très Rugueuse	Sédimentaire	Droite	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	84	45		Très Lisse	Sédimentaire	Droite	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	130	70		Moyenne	Sédimentaire	Droite	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	158	85		Très Rugueuse	Sédimentaire	Droite	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	74	40		Très Lisse	Sédimentaire	Légère	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	121	65		Moyenne	Sédimentaire	Légère	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	149	80		Très Rugueuse	Sédimentaire	Légère	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	84	45		Très Lisse	Sédimentaire	Légère	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	130	70		Moyenne	Sédimentaire	Légère	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	158	85		Très Rugueuse	Sédimentaire	Légère	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	102	55		Très Lisse	Sédimentaire	Légère	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	149	80		Moyenne	Sédimentaire	Légère	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	177	95		Très Rugueuse	Sédimentaire	Légère	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU

McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	84	45		Très Lisse	Sédimentaire	Moyenne	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	130	70		Moyenne	Sédimentaire	Moyenne	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	158	85		Très Rugueuse	Sédimentaire	Moyenne	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	93	50		Très Lisse	Sédimentaire	Moyenne	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	140	75		Moyenne	Sédimentaire	Moyenne	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	177	95		Très Rugueuse	Sédimentaire	Moyenne	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	112	60		Très Lisse	Sédimentaire	Moyenne	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	158	85		Moyenne	Sédimentaire	Moyenne	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	186	100		Très Rugueuse	Sédimentaire	Moyenne	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	102	55		Très Lisse	Sédimentaire	Prononcée	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	149	80		Moyenne	Sédimentaire	Prononcée	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	177	95		Très Rugueuse	Sédimentaire	Prononcée	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	112	60		Très Lisse	Sédimentaire	Prononcée	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	158	85		Moyenne	Sédimentaire	Prononcée	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	186	100		Très Rugueuse	Sédimentaire	Prononcée	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	130	70		Très Lisse	Sédimentaire	Prononcée	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	177	95		Moyenne	Sédimentaire	Prononcée	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	205	111		Très Rugueuse	Sédimentaire	Prononcée	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	149	80	Boisage	Très Lisse		Droite	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	177	95	Boisage	Moyenne		Droite	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU

McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	195	105	Boisage	Très Rugueuse		Droite	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	158	85	Boisage	Très Lisse		Droite	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	186	100	Boisage	Moyenne		Droite	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	205	111	Boisage	Très Rugueuse		Droite	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	177	95	Boisage	Très Lisse		Droite	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	205	111	Boisage	Moyenne		Droite	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	223	120	Boisage	Très Rugueuse		Droite	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	167	90	Boisage	Très Lisse		Légère	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	195	105	Boisage	Moyenne		Légère	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	214	115	Boisage	Très Rugueuse		Légère	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	177	95	Boisage	Très Lisse		Légère	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	205	111	Boisage	Moyenne		Légère	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	223	120	Boisage	Très Rugueuse		Légère	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	195	105	Boisage	Très Lisse		Légère	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	223	120	Boisage	Moyenne		Légère	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	242	130	Boisage	Très Rugueuse		Légère	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	177	95	Boisage	Très Lisse		Moyenne	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	205	111	Boisage	Moyenne		Moyenne	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	223	120	Boisage	Très Rugueuse		Moyenne	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	186	100	Boisage	Très Lisse		Moyenne	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU

McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	214	115	Boisage	Moyenne		Moyenne	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	233	126	Boisage	Très Rugueuse		Moyenne	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	205	111	Boisage	Très Lisse		Moyenne	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	233	126	Boisage	Moyenne		Moyenne	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	251	135	Boisage	Très Rugueuse		Moyenne	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	195	105	Boisage	Très Lisse		Prononcée	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	223	120	Boisage	Moyenne		Prononcée	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	242	130	Boisage	Très Rugueuse		Prononcée	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	205	111	Boisage	Très Lisse		Prononcée	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	233	126	Boisage	Moyenne		Prononcée	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	251	135	Boisage	Très Rugueuse		Prononcée	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	223	120	Boisage	Très Lisse		Prononcée	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	251	135	Boisage	Moyenne		Prononcée	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	270	146	Boisage	Très Rugueuse		Prononcée	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	167	90		Très Lisse	Ignée	Droite	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	270	146		Moyenne	Ignée	Droite	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	363	196		Très Rugueuse	Ignée	Droite	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	177	95		Très Lisse	Ignée	Droite	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	279	150		Moyenne	Ignée	Droite	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930	Petite Galerie	372	201		Très Rugueuse	Ignée	Droite	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU

McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	195	105		Très Lisse	Ignée	Droite	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	298	161		Moyenne	Ignée	Droite	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	391	211		Très Rugueuse	Ignée	Droite	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	186	100		Très Lisse	Ignée	Légère	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	288	155		Moyenne	Ignée	Légère	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	381	205		Très Rugueuse	Ignée	Légère	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	195	105		Très Lisse	Ignée	Légère	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	298	161		Moyenne	Ignée	Légère	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	391	211		Très Rugueuse	Ignée	Légère	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	214	115		Très Lisse	Ignée	Légère	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	307	165		Moyenne	Ignée	Légère	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	409	220		Très Rugueuse	Ignée	Légère	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	195	105		Très Lisse	Ignée	Moyenne	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	298	161		Moyenne	Ignée	Moyenne	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	391	211		Très Rugueuse	Ignée	Moyenne	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	205	111		Très Lisse	Ignée	Moyenne	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	307	165		Moyenne	Ignée	Moyenne	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	400	216		Très Rugueuse	Ignée	Moyenne	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	223	120		Très Lisse	Ignée	Moyenne	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	326	176		Moyenne	Ignée	Moyenne	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU

McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	419	226		Très Rugueuse	Ignée	Moyenne	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	214	115		Très Lisse	Ignée	Prononcée	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	316	170		Moyenne	Ignée	Prononcée	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	409	220		Très Rugueuse	Ignée	Prononcée	Aucun	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	223	120		Très Lisse	Ignée	Prononcée	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	326	176		Moyenne	Ignée	Prononcée	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	419	226		Très Rugueuse	Ignée	Prononcée	Légèrement obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	242	130		Très Lisse	Ignée	Prononcée	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	363	196		Moyenne	Ignée	Prononcée	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
McElroy, G.E., USBM, 1930		Petite Galerie	437	236		Très Rugueuse	Ignée	Prononcée	Obstruée	Calculé entre 1910 et 1930 dans les mines de cuivres de l'Arizona, EU
Romensky, Moscou, 1969	Krivoi Rog, URSS	Galerie	120	65	Aucun					Ouverture creusée le long du gisement. Pendage 60-75°
Romensky, Moscou, 1969	Krivoi Rog, URSS	Galerie	170	92	Aucun					Ouverture creusée dans le gisement. Pendage 60-75°
Romensky, Moscou, 1969	Krivoi Rog, URSS	Galerie	220	119	Aucun					Ouverture creusée dans le gisement. Pendage 60-75°
Romensky, Moscou, 1969	Krivoi Rog, URSS	Galerie	100	54	Aucun					Ouverture creusée le long du gisement. Pendage 75°-90°
Romensky, Moscou, 1969	Krivoi Rog, URSS	Galerie	130	70	Aucun					Ouverture creusée dans le gisement. Pendage 75°-90°
Romensky, Moscou, 1969	Krivoi Rog, URSS	Galerie	200	108	Aucun					Ouverture creusée dans le gisement. Pendage 75°-90°
Devillez, 1939		Petite Galerie	38	20	Aucun			Droite	Aucun	Section uniforme sans obstruction
Greenwald, 1939		Petite Galerie	69	37	Aucun			Droite	Aucun	

Frost, 1946		Petite Galerie	302	163	Aucun		Ignée			
Frost, 1946		Petite Galerie	113	61	Aucun		Sédimentaire			
Frost, 1946		Petite Galerie	76	41	Aucun					
Cooke et Statham, 1928-29		Petite Galerie	62	33	Aucun					
Murgue 1893-94		Petite Galerie	93	50	Aucun				Droite	
Murgue 1893-94		Petite Galerie	87	47	Aucun				Droite	
Murgue 1893-94		Galerie	105	57	Aucun				Droite	
Murgue 1893-94		Petite Galerie	123	66	Aucun				Droite	