

MÉTHODE POUR ORIENTER LE CHOIX D'UNE CABINE OUVERTE VENTILÉE

Application à la taille de pierre

La méthode présentée permet d'établir, au moyen d'un modèle dit de « score », la contribution relative de paramètres d'influence à une grandeur physique finale et la hiérarchisation de cette grandeur en fonction du choix de différentes combinaisons des paramètres en cause. Cette méthode a été appliquée à l'évaluation des performances des cabines ventilées dans le secteur de la taille de pierre. Elle a permis de classer les cabines par rapport à un indice estimé de performance prenant en compte d'une part, la concentration de poussière émise (fraction alvéolaire) au cours de différents travaux de taille et d'autre part, la valeur limite d'exposition. Le classement, issu de cette méthode d'estimation basée sur des valeurs réelles, met en évidence la supériorité des cabines à flux vertical dans la majorité des situations. Viennent ensuite les cabines à flux « oblique » dont les performances sont plus proches du flux vertical que du flux horizontal. Les cabines à flux horizontal se situent en dernière position et se trouvent, pour la plupart des situations de travail, exclues du domaine d'utilisation considéré.

INTRODUCTION

La cabine ouverte ventilée représente un dispositif de protection collective bien adapté aux opérations fortement génératrices de poussière telles que la taille de la pierre. En premier lieu, il permet, au-delà d'une vitesse d'air minimale dans le plan de l'ouverture, d'isoler la source de pollution du reste de l'atelier de façon efficace pourvu que, près de l'ouverture, l'écoulement de l'air de l'atelier ne soit pas trop perturbé et que la profondeur de la cabine soit suffisante.

Toutefois, l'opérateur évolue à l'intérieur de cette cabine, aussi l'écoulement de l'air et des polluants doit y être assuré de façon à ce que les concentrations en poussières dans la zone respiratoire soient aussi faibles qu'il est techniquement possible. Des évaluations de l'expo-

sition effectuées sur le terrain par le Laboratoire Interrégional de Chimie de l'Est (LICE - CRAM Nord-Est) avaient montré que, pour un matériau donné, les performances étaient bien différenciées suivant que l'écoulement général de l'air était vertical ou horizontal.

Des études paramétriques menées par l'INRS dans cinq cabines pour lesquelles le flux d'air est horizontal, vertical ou encore intermédiaire (flux « oblique ») ont permis de collecter des données d'empoussièrement dans des conditions mieux maîtrisées de travail de la pierre et de ventilation [1, 2]. Il est certes possible de dégager globalement un classement des types de flux, mais il est plus difficile, au vu des seuls résultats bruts, d'effectuer un choix pertinent de cabine en fonction des principaux paramètres d'utilisation (type d'opération, nature de la pierre) en raison, d'une part,

- Cabine
- Ventilation
- Performance
- Taille de pierre
- Critère de choix

► Roland RÉGNIER, Francis BONTHOUX,
INRS, Département Ingénierie des procédés

METHOD FOR GUIDING SELECTION OF AN OPEN VENTILATED CABIN - APPLICATION TO STONEMASONRY

The method introduced allows us to establish, using a so-called "scoring" model, the relative contribution of influence parameters to a final physical quantity and prioritisation of this physical quantity in relation to selecting different combinations of parameters in question. This method has been applied to evaluating the performance of ventilated cabins in the stonemasonry sector. It has enabled cabins to be classified according to an estimated performance rating taking into account both the dust concentration (alveolar portion) emitted during different stonemasonry tasks and the exposition limit value. The classification stemming from this real value-based estimation method reveals the superiority of vertical flow cabins in most situations. "Oblique" flow cabins come next; their performance characteristics are closer to those of vertical flow cabins than to those of horizontal flow cabins. The latter cabins come last and are effectively excluded from the considered area of usage in most working situations.

- Cabin
- Ventilation
- Performance
- Stonemasonry
- Selection criterion

de la forte dispersion des résultats inhérente à ce genre de critère et, d'autre part, du faible nombre de résultats pour certaines configurations. Une modélisation s'est donc avérée nécessaire.

La méthode mise au point pour établir ce modèle est inspirée de la méthode d'évaluation simplifiée du risque chimique [3] développée par l'INRS et basée sur l'association de deux notions fondamentales en matière de prévention : le danger et l'exposition. Cet article énonce plus précisément les règles de notation (ou « scoring ») des paramètres d'entrée prenant en compte les procédés mis en œuvre et le type de flux d'air et présente l'application au secteur de la taille de la pierre. L'objectif est d'aboutir à un **indice de performance**, obtenu à partir des concentrations en poussières émises (fraction alvéolaire) rapportées à la valeur limite de moyenne d'exposition, permettant d'évaluer l'efficacité de chaque type de flux et d'utiliser cet indice comme critère de choix du type de flux le mieux adapté aux situations rencontrées.

MODÈLE PHYSIQUE

Le principe du modèle est basé sur l'incidence des principaux paramètres susceptibles d'intervenir sur l'exposition de l'opérateur présent dans une cabine.

D'une manière générale, l'exposition peut être définie par un modèle physique multiplicatif (cf. Figure 1). Cela signifie, par exemple, que lorsque le débit d'émission de polluants est multiplié par deux, toutes choses égales par ailleurs, la concentration au niveau voies respiratoires de l'opérateur est également multipliée par deux.

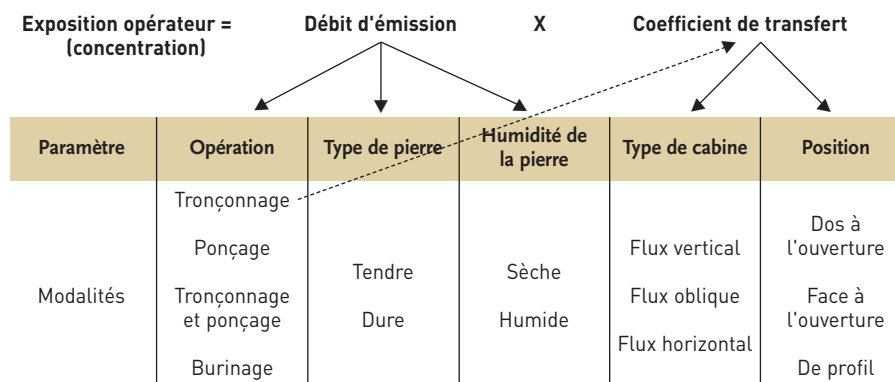
Le niveau d'empoussièrement à hauteur des voies respiratoires de l'opérateur dépend du débit d'émission de poussière et de la manière dont le jet se disperse dans l'environnement :

- le débit d'émission est directement lié aux propriétés physiques du matériau et au type d'opération effectuée ;

- le coefficient de transfert traduit l'effet des paramètres qui concourent au cheminement de la poussière vers les voies respiratoires de l'opérateur. Certains paramètres, comme le type d'opération, peuvent avoir une action conjointe sur le coefficient de transfert et sur le débit d'émission, par exemple, quand la poussière est éjectée avec une certaine quantité de mouvement comme lors de l'utilisation d'une machine à tronçonner. Dans

FIGURE 1

Modèle d'exposition de l'opérateur Operator exposure model



l'approche proposée, cette interaction (flèche en pointillé) n'est pas prise en compte.

MODÈLE D'ÉVALUATION

L'objectif est de disposer d'un modèle estimatif permettant d'évaluer un niveau de concentration pour toute combinaison de modalités. La méthode consiste à établir pour chaque modalité un coefficient (N) représentatif de la contribution de cette modalité au niveau de concentration atteint (cf. Chapitre Ajustement des coefficients du modèle) puis, en vertu du modèle physique multiplicatif, de déterminer un score pour une combinaison de modalités donnée. Il y a par conséquent autant de scores que de combinaisons des modalités des cinq paramètres (cf. Exemples dans les *Tableaux X et XI en Annexe*) :

$$\text{Score} = (N_{\text{opération}} \times N_{\text{pierre}} \times N_{\text{humidité}}) \times (N_{\text{flux}} \times N_{\text{position}})$$

Une combinaison peut inclure pierre tendre, opération de tronçonnage, position de dos, pierre sèche, cabine à flux horizontal (cf. Exemple à la première ligne du *Tableau X en Annexe*).

L'objectif est d'obtenir, pour toute combinaison de modalités, une concentration estimée la plus proche possible de la concentration mesurée. On peut ainsi établir une constante de proportionnalité (K) qui relie le modèle à la valeur mesurée :

$$\text{Concentration mesurée}_{[mg.m^{-3}]} = K \times \text{Score}$$

Pour être valide, le modèle doit satisfaire à deux conditions quelles que soient les combinaisons de modalités :

- constante de proportionnalité K

unique ;

- constante conduisant à des concentrations estimées proches des concentrations mesurées.

Ce résultat est obtenu par approches successives en modifiant arbitrairement la valeur de l'un ou de l'autre des coefficients de départ établis à partir du domaine de variation des concentrations mesurées pour chaque modalité

DONNÉES UTILISÉES

Le modèle a été élaboré à partir des résultats de cinq campagnes d'essais visant à comparer trois types de flux de ventilation : vertical, oblique ou horizontal. Les différentes tâches habituelles des tailleurs de pierre ont été décomposées en opérations unitaires. Celles-ci ont été évaluées par des mesures de concentration moyenne de poussière réalisées en continu sur des durées de prélèvement individuel de 12 à 20 minutes suivant la campagne considérée.

Les essais ont porté sur la combinaison des cinq paramètres recensés au *Tableau 1* qui caractérisent la source de pollution et le coefficient de transfert. Ces paramètres donnent lieu à 14 modalités (cf. Figure 1), soit :

- débit d'émission - 8 modalités : tronçonnage, ponçage, chanfreinage (tronçonnage-ponçage), burinage, pierre tendre et dure, pierre travaillée sèche et humide ;

- coefficient de transfert - 6 modalités : flux horizontal, oblique et vertical, positions dos, face et de profil.

Certaines des combinaisons testées ont fait l'objet de répétitions, c'est alors

la moyenne des concentrations qui les caractérisait. Suivant les campagnes d'essais, le nombre de modalités testées pouvait varier. Dans un but de simplification, des regroupements ont été effectués afin d'obtenir une échelle de concentration simple applicable aux situations de travail les plus générales, mises en œuvre dans les cabines ventilées. Ainsi, les résultats d'essais avec deux postures, buste droit et incliné, pour un opérateur effectuant un travail de ponçage et de burinage ont été confondus dans l'exploitation. Les données se rapportant à ce regroupement ont été intégrées dans les modalités du paramètre position.

Les 50 valeurs retenues pour parvenir à la modélisation sont présentées au *Tableau I*.

AJUSTEMENT DES COEFFICIENTS DU MODÈLE

Dans cette phase sont déterminés, pour chaque modalité de paramètre, les coefficients représentatifs de leur incidence sur la concentration moyenne aux voies respiratoires de l'opérateur. Ils sont obtenus par approches successives en modifiant arbitrairement la valeur de l'un ou de l'autre des coefficients.

Les **coefficients de départ** sont déterminés à partir du domaine de variation des concentrations mesurées pour chaque modalité de la manière suivante :

- pour une modalité donnée, on calcule la moyenne des concentrations mesurées dans toutes les configurations où cette modalité apparaît ;

- on calcule ensuite, pour chaque paramètre, un coefficient de variation moyen en effectuant le rapport de la plus forte à la plus faible concentration moyenne ;

- une échelle est alors établie par rapport à la concentration moyenne la plus faible adoptée comme valeur de référence initiale qui restera constante et égale à 1 (*cf. Tableau II*).

Exemple :

le paramètre « type de pierre » a deux modalités « tendre » et « dure ». Pour chacune de ces modalités, on effectue la moyenne de toutes les valeurs où elle apparaît dans le *Tableau I*. On obtient : moyenne pierre tendre = 10,91 et moyenne pierre dure = 4,58.

TABLEAU I

Concentrations moyennes ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) mesurées pour différentes combinaisons
Mean concentrations ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$) measured for different combinations

	Type de flux	Horizontal		Oblique		Vertical		
		Dure	Tendre	Dure	Tendre	Dure	Tendre	
Travail de pierre sèche	Type de pierre							
	Type d'opération	Tronçonnage						
		Dos	23,54	94,45	0,58	2,88	0,25	3,09
	Position/ouverture	Face				1,1		
		Profil	8,9	30,3		0,059	0,52	8,92
	Type d'opération	Ponçage						
		Dos	30,9	70	1,03	5,79	2	0,99
	Position/ouverture	Face	15,94	50,1	0,059	0,16	0,088	0,33
		Profil	9,8	18,8		0,058	0,073	0,092
	Type d'opération	Burinage						
		Dos	0,38	0,46			0,62	0,12
	Position/ouverture	Face	0,058	0,043			0,073	0,073
	Profil	0,24	0,29			0,75	0,23	
Travail de pierre humide	Type d'opération	Chanfreinage						
	Position/ouverture	Dos			0,39	2,49	0,03	0,35
		Face				0,015		0,016
	Type d'opération	Ponçage						
Position/ouverture	Dos				0,019			
Type d'opération	Chanfreinage							
Position/ouverture	Dos				0,2			
Type d'opération	Tronçonnage							
Position/ouverture	Profil						0,23	

TABLEAU II

Coefficients de départ des paramètres du modèle
Initial model parameter coefficients

	Position			Type de pierre		Type d'opération				Humidité de la pierre	
	Face	Dos	Profil	Dur	Tendre	Ponçage	Tronçonnage	Combiné	Burinage	Humide	Sèche
Horizontal	23										
Oblique	1,4	1	2,5	1	2,4	44	53	2,3	1	1	59
Vertical	1		1								

Le rapport est de 2,38 arrondi à 2,4, valeur retenue comme coefficient de départ. L'échelle est établie par rapport à la pierre dure (référence initiale).

Dans ce tableau, les valeurs de référence initiales sont repérées par le chiffre 1. D'autre part, dans le contexte de cette méthode globale, les rapports présentés sont basés sur des moyennes très dispersées issues de configurations d'essais très diverses entraînant une grande approximation. Suivant les données disponibles et les effectifs, les moyennes de concentrations peuvent être très différentes, mais également très proches comme dans le cas de la position de l'opérateur où la modalité « face » à l'ouverture a une moyenne ($7,5 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) pratiquement égale à celle « de profil » ($7,7 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$). Ce résultat

paraît indiquer que, dans ce cas spécifique, la position de face a la même incidence que la position de profil. Il s'agit là d'une estimation grossière qui vise uniquement à déterminer des conditions de départ pour la méthode d'estimation, objet de cet article (on verra qu'au final, les coefficients correspondants divergent, respectivement de 2, 4 et 1, *cf. Tableau III*).

Dans la situation de départ, la constante K (rapport entre la concentration mesurée et le score) varie d'une combinaison de modalités à l'autre (de $1,21\cdot 10^{-4}$ à $3,22\cdot 10^{-4}$, *cf. Tableau X en Annexe*) ; le premier critère de validation du modèle d'évaluation n'est donc pas respecté. Pour y remédier, on peut successivement :

- modifier les valeurs des coefficients (autres que les valeurs de référence toujours

égales à 1) en se basant sur l'expérience de l'incidence relative des modalités d'un même paramètre et, éventuellement, sur le bon sens (il est, par exemple, évident que le coefficient de la position face à l'ouverture est supérieur à celui de la position de profil) ;

- adopter une valeur unique de la constante K. Il peut être judicieux de sélectionner celle obtenue pour la combinaison de modalités procurant la concentration mesurée la plus élevée ;

- calculer les nouvelles concentrations issues du modèle et les comparer aux mesures soit par examen graphique (cf. Figure 2), soit par calcul (cf. ci-dessous) ;

- réitérer les trois phases précédentes et procéder, par approximations successives, à un ajustement par comparaison des deux populations concentrations estimées/concentrations mesurées.

Compte tenu de l'hypothèse de linéarité du modèle, un calcul de régression par moindres carrés a été employé pour ajuster la corrélation entre ces deux populations, le coefficient de régression constituant alors le second critère de validation.

Les résultats de l'ajustement sont donnés au Tableau III où les valeurs finales des coefficients sont regroupées et sur la Figure 2 montrant la corrélation modèle/mesure, avec :

$$K = C_{\text{mesurée}} / \text{score} = 1,2015 \cdot 10^{-4} \text{ mg.m}^{-3}$$

Le coefficient de régression obtenu - $R^2 = 0,9843$ - indique que le modèle d'estimation de l'exposition de l'opérateur constitue une approximation suffisante pour l'objectif de classement poursuivi.

CHOIX DES TYPES DE CABINE

Au moyen de cette modélisation, il est possible de déterminer séparément la contribution relative des deux composantes principales de l'exposition : le débit d'émission (cf. Tableau IV) et le coefficient de transfert (cf. Tableau V).

À partir de ces données, les paramètres d'influence ont été regroupés de manière à proposer une grille de choix des cabines suivant un nombre minimal de critères : le **type de pierre** et l'**humidité** qu'elles contiennent.

Dans le domaine de la taille de pierre, il existe deux types de pratique très différenciés suivant que les entreprises travaillent la

TABLEAU III

Coefficients des paramètres du modèle après ajustement
Model parameter coefficients after adjustment

Type de flux	Position			Type de pierre		Type d'opération				Humidité de la pierre	
	Face	Dos	Profil	Dur	Tendre	Ponçage	Tronçonnage	Combiné	Burinage	Humide	Sèche
Horizontal	60										
Oblique	2,4	2,4	3,6	1		20	26	10	1	1	40
Vertical	1		1								

FIGURE 2

Corrélation entre le modèle et les concentrations mesurées
Correlation between model and measured concentrations

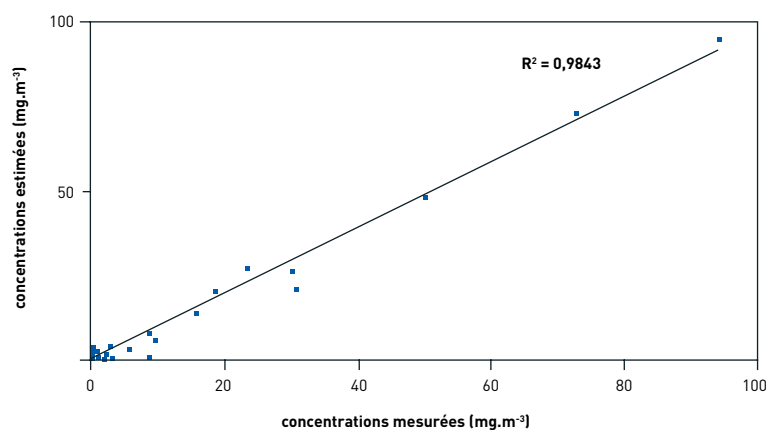


TABLEAU IV

Coefficients relatifs au débit d'émission
Emission flow-related coefficients

	Humide		Sèche	
	1		40	
	Tendre	Dure	Tendre	Dure
Burinage	1	3,5	140	40
Combiné	10	35	1 400	400
Ponçage	20	70	2 800	800
Tronçonnage	26	91	3 640	1 040

TABLEAU V

Coefficients relatifs au coefficient de transfert
Transfer-related coefficients

		Position		
		Face	Dos	Profil
Burinage	1	144	216	60
Combiné	10	5,8	8,7	2,4
Ponçage	20	1	1	1

Pierre sèche ou la pierre humide. Chaque pratique a ses exigences en matière d'outillage et d'expertise professionnelle. Par nature, certaines variétés de pierre ne peuvent être taillées qu'imprégnées d'eau (grès), alors que d'autres deviennent au contraire impossibles à tailler si elles sont imbibées même par une faible quantité d'eau (calcaire). Cette approche globale par « scoring » traduit bien le fait que l'humidité est le facteur le plus influent sur la génération de poussière puisque le coefficient relatif au débit d'émission est de 40 (cf. *Tableau III*).

Afin de faciliter la sélection du type de cabine, une grille plus synthétique a été établie en fonction des critères d'utilisation définis précédemment, en réduisant les variations des coefficients représentatifs de deux paramètres. Une valeur unique égale à la moyenne a été retenue pour le paramètre type d'opération ; la même simplification a été adoptée pour le paramètre position dans les cas des flux horizontal ou oblique, soit respectivement des valeurs de 14,25 et 2,33 (en italique dans le *Tableau VI*). Dans le cas du flux vertical, le paramètre position n'ayant pas d'incidence sur le résultat, le coefficient reste égal à 1.

Ainsi, on peut déterminer des concentrations estimées, donc issues du modèle, par application des deux équations du paragraphe Modèle d'évaluation avec les valeurs de coefficients regroupées au *Tableau VI* et la valeur de constante de proportionnalité K déterminée au paragraphe précédent.

Application aux deux exemples extrêmes :

1. Cabine à flux horizontal, façonnage d'une pierre tendre, sèche
Concentration estimée =
 $1,2015 \cdot 10^{-4} \times 14,25 \times 3,5 \times 40 \times 60 \times 2,33$
 $= 33,5 \text{ mg.m}^{-3}$
2. Cabine à flux vertical, façonnage d'une pierre dure, humide
Concentration estimée =
 $1,2015 \cdot 10^{-4} \times 14,25 \times 1 \times 1 \times 1 \times 1$
 $= 0,0017 \text{ mg.m}^{-3}$

Les résultats sont regroupés au *Tableau VII* ; ils s'échelonnent de 0,0018 à 34.

Il est ensuite possible de définir des classes en relation avec les valeurs limites des concentrations associées à la poussière de pierre (cf. *Tableau XII en annexe*).

On définit un **indice de performance (IP)** qui permet d'évaluer l'efficacité de chaque type de cabine. Il est déterminé

TABLEAU VI

Coefficients regroupés
Consolidated coefficients

Type de flux	Position			Type de pierre		Type d'opération				Humidité de la pierre		
	Face	Dos	Profil	Dur	Tendre	Ponçage	Tronçonnage	Combiné	Burinage	Humide	Sèche	
Horizontal	60	2,33			1	3,5	14,25				1	40
Oblique	2,4											
Vertical	1	1										

TABLEAU VII

Concentrations estimées (mg.m⁻³)
Estimated concentrations (mg.m⁻³)

	Pierre humide		Pierre sèche	
	Pierre tendre	Pierre dure	Pierre tendre	Pierre dure
Horizontal	0,84	0,24	34	9,6
Oblique	0,033	0,011	1,34	0,38
Vertical	0,006	0,0018	0,24	0,07

TABLEAU VIII

Indices de performance pour la taille de pierre contenant de la silice
Performance ratings for cutting stone containing silica

Type de flux	Pierre humide		Pierre sèche	
	Domaine de performance		Domaine de performance	
Horizontal	0,1	0,4	0,003	0,01
Oblique	3	8	0,08	0,3
Vertical	16	55	0,4	1,4

TABLEAU IX

Indices de performance pour la taille de pierre libérant de la poussière sans effet spécifique
Performance rating for cutting stone releasing dust without specific effect

Type de flux	Pierre humide		Pierre sèche	
	Domaine de performance		Domaine de performance	
Horizontal	5	19	0,14	0,6
Oblique	130	410	4	14
Vertical	820	2800	22	69

par rapport aux valeurs limites (VME) de la poussière de silice ou de la poussière alvéolaire sans effet spécifique, respectivement 0,1 mg.m⁻³ ou 5 mg.m⁻³ :

$$IP = VME / \text{concentration estimée}$$

Les *Tableaux VIII et IX* regroupent les valeurs d'indice de performance respectivement pour les pierres conte-

nant de la silice et celles dont la teneur est très faible. Seul un type de flux conduisant à un indice supérieur ou égal à 1 est utilisable (en vert dans les *Tableaux VIII et IX*).

(1) Afin de compléter l'information, la teneur en silice de quelques types de pierre est présentée au *Tableau XIII en Annexe*.

CONCLUSION

La méthode décrite dans cette note conduit à un modèle établi à partir d'une population de concentrations de poussière mesurées dans diverses situations de travail de la pierre. Bien qu'elle intègre un certain nombre d'approximations et de simplifications, elle conduit, grâce au calcul d'un indice de performance, à une discrimination entre configurations suffisamment nette pour fixer les limites du domaine d'utilisation de trois types de flux d'air adaptables aux cabines ouvertes ventilées en fonction de la nature des pierres (présence ou non de silice), de leur humidité et de leur dureté. Ce domaine d'utilisation est présenté dans une brochure d'aide pour le choix

et la mise en œuvre de cabines pour la taille de la pierre [4]. Les recommandations essentielles concernant le flux d'air sont les suivantes :

- les cabines à flux horizontal sont pratiquement exclues du domaine d'utilisation, hormis le cas de la taille de pierre humide exempte de silice ;

- à l'inverse, les cabines à flux vertical conviennent pour toutes les situations, hormis le cas de la taille de pierre tendre et sèche contenant de la silice pour lequel ce type de flux permet de réduire au maximum l'empoussièrement mais pas suffisamment pour s'affranchir du port d'une protection individuelle en complément ;

- le flux « oblique » présente des résultats intermédiaires, plus proches cependant de ceux obtenus pour le flux vertical

puisqu'elles conviennent également pour toutes les situations, hormis le cas de la taille de pierre sèche contenant de la silice, que la pierre soit tendre ou dure. Là encore, le port d'une protection individuelle s'impose.

Cette méthode d'établissement d'un modèle à partir de données de terrain, appliquée ici au travail de la pierre, est transposable à de nombreux autres processus évaluables par des mesures de concentration ou d'autres critères.

Reçu le : 02/06/2005

Accepté le : 11/01/2006

BIBLIOGRAPHIE

[1] REGNIER. R., BRAND. F., DESSAGNE. J.M. - Cabines ouvertes ventilées : flux horizontal ou vertical ? Etude comparative dans le secteur de taille de la pierre. *INRS, Hygiène et Sécurité du travail - Cahiers de Notes Documentaires*, 2001, 185, ND 2160, pp. 49 - 67.

[2] REGNIER. R., SUBRA. I., BEMER. D., LECLER M.T., DESSAGNE. J.M. - Cabines ouvertes pour la taille de la pierre - Efficacité comparée du flux vertical et du flux « oblique ». *INRS, Hygiène et Sécurité du travail - Cahiers de Notes Documentaires*, 2004, 196, ND 2214, pp. 31 - 41.

[3] VINCENT R., BONTHOUX F., MALLET G., IPARAGUIRRE J.F., RIO S. - Méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique : un outil d'aide à la décision. *INRS, Hygiène et sécurité du travail - Cahiers de notes documentaires*, ND 2233, n°200, 2005.

[4] Cabines ventilées pour le travail de la pierre, *INRS*, 2005, ED947.

ANNEXE

TABLEAU X

Détermination des scores à partir des coefficients de départ (extrait du tableau principal)
 Determination of scores from initial coefficients (taken from main table)

Codage des configurations					Coef. Type de pierre	Coef. Opération	Coef. Position	Coef. Humidité de la pierre	Coef. Type de cabine	Score	Constante K = score / concentration	Concentration moyenne mesurée
					(sd)	(sd)	(sd)	(sd)	(sd)	(sd)		(mg.m ⁻³)
1	3	5	8	9	2,6	53	2,5	59	23	467486	2,02.10 ⁻⁴	94,4
1	4	5	8	9	2,6	44	2,5	59	23	388102	1,88.10 ⁻⁴	72,9
1	4	7	8	9	2,6	44	1	59	23	155241	3,22.10 ⁻⁴	49,9
2	4	5	8	9	1	44	2,5	59	23	149270	2,60.10 ⁻⁴	38,8
1	3	6	8	9	2,6	53	1	59	23	186994	1,77.10 ⁻⁴	33,1
2	3	5	8	9	1	53	2,5	59	23	179802	1,30.10 ⁻⁴	23,4
1	4	6	8	9	2,6	44	1	59	23	155240	1,21.10 ⁻⁴	18,8
2	4	7	8	9	1	44	1	59	23	59708	2,66.10 ⁻⁴	15,9
2	4	6	8	9	1	44	1	59	23	59708	1,64.10 ⁻⁴	9,80

1 = tendre ; 2 = dure ; 3 = tronçonnage ; 4 = ponçage ; 5 = dos ; 6 = profil ; 7 = face ; 8 = sec ; 9 = cabine à flux horizontal

TABLEAU XI

Détermination des concentrations à partir des coefficients du modèle après ajustement (extrait du tableau principal)
 Determination of concentrations from model parameter coefficients after adjustment (taken from main table)

Codage des configurations					Score Type de pierre	Score Opération	Score Position	Score Humidité de la pierre	Score Type de cabine	Score	Constante K	Modèle = K x score	Concentration moyenne mesurée
					(sd)	(sd)	(sd)	(sd)	(sd)	(sd)		(mg.m ⁻³)	(mg.m ⁻³)
1	3	5	8	9	3,5	26	3,6	40	60	786240	1,2.10 ⁻⁴	94,4	94,5
1	4	5	8	9	3,5	20	3,6	40	60	604800	1,2.10 ⁻⁴	72,7	70
1	4	7	8	9	3,5	20	2,4	40	60	403200	1,2.10 ⁻⁴	48,4	50,1
2	4	5	8	9	1	20	3,6	40	60	172800	1,2.10 ⁻⁴	20,8	30,9
1	3	6	8	9	3,5	26	1	40	60	218400	1,2.10 ⁻⁴	26,2	30,3
2	3	5	8	9	1	26	3,6	40	60	224640	1,2.10 ⁻⁴	27	23,5
1	4	6	8	9	3,5	20	1	40	60	168000	1,2.10 ⁻⁴	20,2	18,8
2	4	7	8	9	1	20	2,4	40	60	115200	1,2.10 ⁻⁴	13,8	15,9
2	4	6	8	9	1	20	1	40	60	48000	1,2.10 ⁻⁴	5,8	9,8

1 = tendre ; 2 = dure ; 3 = tronçonnage ; 4 = ponçage ; 5 = dos ; 6 = profil ; 7 = face ; 8 = sec ; 9 = cabine à flux horizontal

TABLEAU XII

Valeurs limites pour la poussière de pierre
 Stone dust limit values

Poussière Fraction	Valeurs limites	
	inhalables	alvéolaires
	[mg.m ⁻³]	
Sans effet spécifique	10	5
Silice (quartz)		0,1

TABLEAU XIII

Teneur en silice de quelques matériaux
 Silica content of a few materials

Matériau	Silice [%]
Grès	50 - 100
Quartz	100
Granit	15 - 45
Ardoise	20 - 40
Diorite	0 - 15
Marbre	0 - 5