

Notes techniques

CHANTIERS DE CURAGE ET DE DÉMOLITION INTÉRIEURE: QUELLE VENTILATION INSTALLER?

Les chantiers de curage et de démolition intérieure peuvent exposer de façon importante les opérateurs à des poussières et, parfois, à des fumées de découpe au chalumeau. Il est donc nécessaire de mettre en œuvre des mesures de prévention permettant de limiter à la source les émissions de ces polluants. Et, en complément, une ventilation générale du chantier permettant d'évacuer les polluants résiduels. Cet article présente une démarche de conception de cette ventilation générale, ainsi que deux exemples d'application à des chantiers de curage.

ROBERT
BRACONNIER,
JEAN-
RAYMOND
FONTAINE
INRS,
département
Ingénierie des
procédés

BRUNO
COURTOIS
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

Afin de faciliter le recyclage des matériaux imposé par la réglementation dans un objectif de développement durable, l'abattage ou la réhabilitation d'un bâtiment est précédé d'une phase de curage. Celui-ci consiste à enlever les constituants non structurels (cloisons, faux plafonds, revêtements de sol, portes, fenêtres, isola-

tion, réseaux d'électricité, d'eau ou de chauffage...). Les opérations de curage et de démolition intérieure exposent souvent les opérateurs à des niveaux élevés de poussières et de fumées de découpe au chalumeau. Du plomb peut également être présent, dans le cas de bâtiments anciens comportant des peintures au plomb ou d'éléments métalliques recouverts de peintures anticorrosion au plomb [1].

RÉSUMÉ

La ventilation générale des chantiers de curage et de démolition intérieure a pour rôle d'évacuer les poussières et autres polluants en complément des autres mesures de prévention collectives mises en œuvre. L'article propose une méthodologie permettant de

déterminer ses principales caractéristiques (débit, nombre et positions des extracteurs, nombre et position des points d'entrées d'air...) en fonction du volume et de la configuration des locaux. Deux exemples de modélisation de la ventilation de chantiers permettent de mettre évidence l'influence de

certain paramètres (présence ou absence de cloisons, ventilation montante ou descendante) sur l'efficacité de la ventilation et sur la concentration en polluants dans la zone de présence des opérateurs.

Deconstruction and interior demolition: what type of ventilation should be used?

The purpose of general ventilation at deconstruction and interior demolition worksites is to evacuate dust and other pollutants to supplement other collective prevention measures used. The article proposes a methodology for determining

the main characteristics of the ventilation required (flow rate, number and location of exhaust vents, number and location of air supply points, etc.) depending on the volume and configuration of the work area. Two examples of worksite

ventilation modelling highlight the influence of certain parameters (presence or absence of partitions, upflow or downflow ventilation) on the effectiveness of ventilation in reducing the concentration of pollutants in the operators' work area.

Ces chantiers nécessitent la mise en œuvre de moyens de prévention permettant de réduire les expositions [2]. Ceux-ci consistent, par ordre de priorité, à :

- réduire les émissions de poussières par le choix des techniques les moins émissives (cela peut consister, par exemple, à démonter certains éléments);
- mécaniser autant que possible le travail, ce qui peut, dans certains cas, réduire les expositions mais surtout le nombre de personnes exposées;
- capter les poussières à la source ou les « abattre » par pulvérisation d'eau;
- mettre en place une ventilation générale sur le chantier, afin d'évacuer les poussières en suspension dans l'atmosphère.

Cet article propose une méthodologie d'aide à la conception de la ventilation générale des chantiers de curage et de démolition de l'intérieur de bâtiments. Il présente également deux exemples de chantiers de curage, avec la modélisation de plusieurs solutions de ventilation qui aideront le préventeur à choisir la plus efficace.

La ventilation des chantiers

La ventilation générale d'un chantier peut être réalisée de façon naturelle, par les ouvertures du bâtiment (fenêtres et portes) ou de façon mécanique, en utilisant un ou plusieurs ventilateurs, qui assurent un renouvellement maîtrisé de l'air du chantier.

La ventilation naturelle, bien qu'efficace, présente l'inconvénient de ne pas être maîtrisable. En fonction de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur, et surtout du vent, les débits d'air peuvent être très faibles ou au contraire trop forts, entraînant une gêne pour les opérateurs. De plus, elle est très insuffisante voire impossible, lorsque les portes et fenêtres ne peuvent être laissées ouvertes à cause des nuisances pour les riverains, ou dans le cas des locaux sans ouvertures suffisantes sur l'extérieur (sous-sol, cave, parking...). Ainsi, pour de nombreux chantiers, la ventilation mécanique est la seule solution efficace. De plus, elle assure une mise en dépression de la zone des travaux lorsque cela est nécessaire, par exemple si le chantier est réalisé dans un immeuble occupé.

La mise en œuvre d'une ventilation générale mécanique sur un chantier nécessite une étude préalable, qui doit être menée dans le cadre de l'élaboration du plan de prévention. Elle permet de prévoir et de dimensionner le matériel nécessaire pour maîtriser les circulations d'air et ainsi, limiter les improvisations sur les chantiers. Elle permet de concevoir un système de ventilation garantissant au mieux :

- un renouvellement constant en air neuf de la zone de travail pendant toute la phase de travaux émettrice de polluants;
- la répartition homogène de l'air neuf dans toute la

ENCADRÉ

LA SIMULATION NUMÉRIQUE DES ÉCOULEMENTS

La simulation numérique des écoulements repose sur l'utilisation d'un logiciel permettant de résoudre les équations de la mécanique des fluides: conservation de la masse, de la quantité de mouvement, de l'énergie, etc.

Cette résolution est obtenue après décomposition du domaine de calcul en une multitude de petits éléments jointifs qui forment un maillage spatial. La simulation permet de calculer les champs des vitesses d'air, températures ou concentrations en polluants à partir des données géométriques, des conditions aérodynamiques dans les entrées et sorties et des caractéristiques des sources. Les exemples présentés dans cet article ont été traités à l'aide du logiciel généraliste propriétaire FLUENT.

Pour beaucoup de sources de polluants, la valeur du débit d'émission est une donnée difficile à évaluer. Dans ce cas, le débit d'émission peut être fixé à un niveau arbitraire, mais invariable. Les concentrations calculées peuvent alors être utilisées pour des comparaisons en valeurs relatives, par exemple entre deux situations de travail ou deux solutions de ventilation, mais pas pour une appréciation par rapport à une valeur absolue de concentration.

zone de travail avec la maîtrise des entrées d'air de compensation;

- si nécessaire, le maintien de la zone de travail en dépression par rapport au reste du bâtiment ou à l'extérieur.

Analyse prévisionnelle de la ventilation à mettre en œuvre

À partir des plans et de la visite des locaux à curer, il convient de déterminer :

- les sources dont les émissions résiduelles seront à traiter par la ventilation générale: production ou manipulation de gravats, découpe de métaux, gaz d'échappement des engins...;
- la stratégie de ventilation à mettre en œuvre: balayage, mise en dépression, ventilation par soufflage, ventilation par flux d'air ascendant ou descendant...;
- le volume de chantier à ventiler;
- le débit à mettre en œuvre, par exemple sur la base du taux de renouvellement choisi (au minimum, cinq renouvellements par heure);
- le type et le nombre de groupes d'extraction - filtration d'air à mettre en œuvre;
- les contraintes concernant la position des entrées d'air neuf et des extractions d'air pollué.

La ventilation par balayage est bien adaptée aux sources de polluants diffusés et mobiles:

- elle nécessite que les entrées et sorties d'air soient diamétralement opposées;
- en général, l'extraction est assurée par un groupe de ventilation-filtration;



- le débit doit être réparti sur une surface d'entrée d'air suffisante pour limiter les vitesses d'air au sein du chantier (si possible, inférieures à 0,4 m/s);
- les entrées d'air doivent être régulièrement réparties pour obtenir un écoulement d'air le plus homogène possible (Cf. Encadré);
- les zones qui ne peuvent pas être atteintes par un balayage général (pièces aveugles sans entrée d'air naturelle) doivent être ventilées par un apport mécanique d'air neuf (ventilation par soufflage), complété éventuellement par une extraction mécanique;
- le positionnement des entrées et sorties devra également permettre un balayage;
- il faut veiller à éloigner les zones de rejet d'air filtré des entrées d'air neuf et s'assurer que les trémies d'évacuation des déchets ne soient pas à l'origine d'entrées d'air pollué.

Il est recommandé d'équiper les groupes d'extraction - filtration d'un préfiltre, afin d'augmenter la durée de vie du filtre principal.

La mise en œuvre d'une ventilation générale efficace sur les chantiers de curage ou de démolition intérieure nécessite une étude prévisionnelle avant le démarrage du chantier. La modélisation de la ventilation peut constituer une aide au choix des solutions de ventilation les plus adaptées.

Exemples de ventilation de chantiers

Deux exemples illustrent l'importance de la stratégie de ventilation à mettre en œuvre:

- le premier cas concerne la ventilation lors du curage d'une gaine d'ascenseur. La source de polluant est un point chaud qui produit un panache ascendant de fumées. L'opérateur sera-t-il mieux protégé par une ventilation ascendante ou descendante? La réponse fournie met en évidence l'importance de la puissance thermique de la source;
- le deuxième exemple compare deux stratégies possibles pour le curage d'un plateau de bureaux (assainissement de l'air du plateau lors de l'abatage des faux plafonds). Pour une ventilation standard du plateau par balayage, est-il préférable de procéder au curage du plafond après ou avant l'abatage des cloisons?

Premier exemple: le curage d'une gaine d'ascenseur

La situation considérée est celle du curage d'une gaine d'ascenseur indépendante, par découpe au chalumeau des éléments métalliques (guides par exemple) fixés sur les parois internes de la gaine. Le curage commence par le haut. La cabine est attachée à un treuil; un chalumiste, placé sur le toit de la cabine, effectue les découpes au fur et à mesure de la descente. Les dimensions horizontales de la gaine sont de 1,6 m par 1,75 m. La hauteur entre paliers de l'immeuble est égale

à 3 m. Dans sa descente, le toit de la cabine est parvenu à mi-parcours entre deux étages: l'étage N+1 et l'étage inférieur N. Pour protéger des poussières le reste de l'immeuble, qui demeure occupé, toutes les ouvertures palières sont colmatées. La gaine communique avec l'extérieur uniquement à l'aide de deux orifices circulaires percés en bas des panneaux d'obturation des étages N+2 et N-1 (Cf. Figures 1 et 2).

Le chalumiste, modélisé sous la forme, très simplifiée, d'un bloc parallélépipédique rectangle, se tient debout sur le toit de la cabine. Il effectue une découpe dans la zone (représentée en rouge sur les figures 1 et 2) située sur la paroi verticale gauche de la gaine (par rapport à l'orientation de ces figures). Cette zone constitue la source de pollution et est également le siège d'un dégagement de chaleur.

La puissance thermique transmise à l'air par convection est le résultat d'échanges thermiques complexes et est difficile à évaluer (il ne s'agit pas simplement de la chaleur dégagée par la combustion du gaz). Trois valeurs ont été testées dans les simulations: 3 700, 8 800 et 9 900 W.

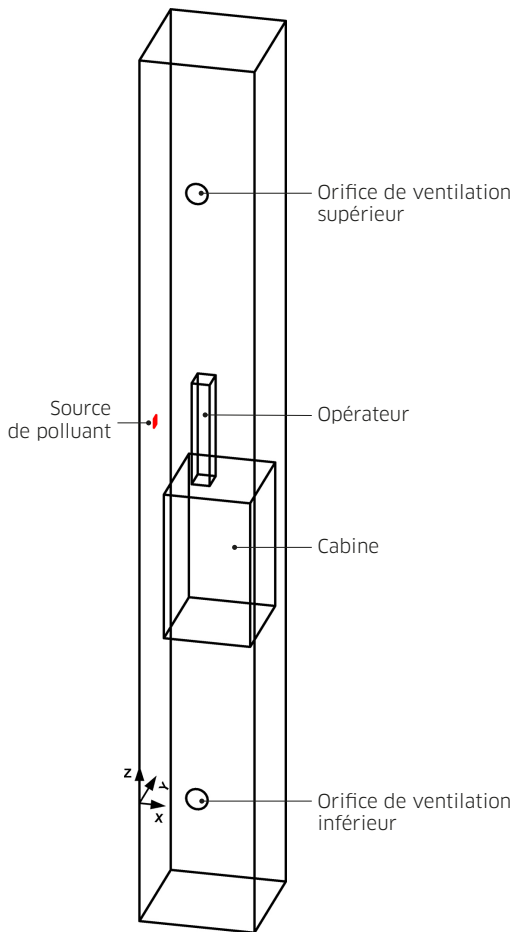
L'assainissement de l'atmosphère de travail est assuré par une ventilation générale de la gaine, au travers des orifices aménagés aux étages N+2 et N-1. Le débit de ventilation est fixé à 4 400 m³/h. L'objectif des simulations numériques d'écoulement est de comparer deux modes de ventilation: ventilation montante et ventilation descendante.

En ventilation montante, l'air est introduit par l'orifice inférieur et extrait par l'orifice supérieur. Le rôle des deux orifices est inversé en ventilation descendante. Le tableau 1 résume les conditions des simulations effectuées.

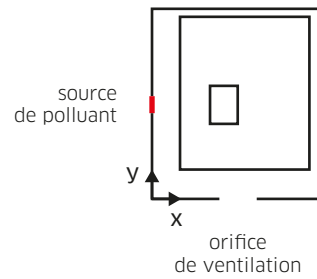
→ Écoulements d'air

Un exemple des champs de vitesse calculés est illustré dans les figures 3 à 6. Les vitesses d'air sont représentées ici dans un plan de coupe vertical parallèle à la paroi de la gaine contenant la zone de découpe. Ce plan se situe en avant de l'opérateur. Il est placé à 90 mm de la paroi, ce qui correspond au tiers de l'intervalle horizontal séparant la cabine de la gaine (Cf. Figure 2). Dans le cas de la ventilation ascendante, un panache thermique se forme au-dessus de la source. Ce panache modifie localement l'écoulement ascendant, en provoquant un accroissement des vitesses d'air (zone centrale de la figure 3). Dans le cas de la ventilation descendante (Cf. Figures 4 à 6), la chaleur dégagée entraîne la formation, au-dessus du toit de la cabine et à proximité de la source, d'une zone où l'écoulement est localement montant (le pourtour de cette zone de recirculation est dessiné en rouge sur les figures).

Le volume de cette zone et, en particulier, son étendue verticale, augmentent fortement avec la valeur de la puissance thermique de la source. Ainsi, la



↑ FIGURE 1 Vue en perspective de la gaine d'ascenseur.



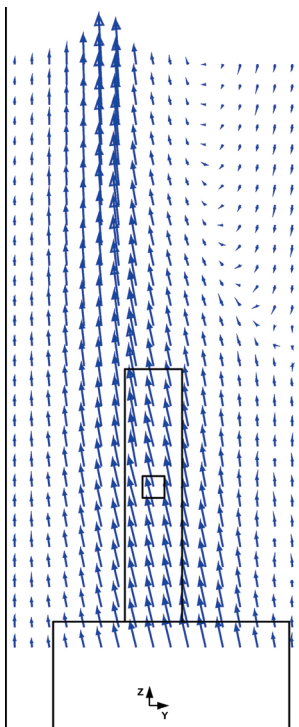
← FIGURE 2 Vue de dessus de la gaine d'ascenseur.

VENTILATION		PUISSANCE THERMIQUE (W)
SENS	DÉBIT (m³/h)	
Ascendant	4 400	3 700
		8 800
		9 900
Descendant	4 400	3 700
		8 800
		9 900

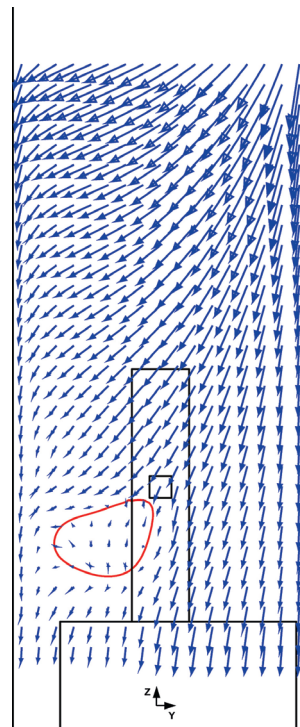
← TABLEAU 1 Résumé des simulations numériques d'écoulement effectuées.

PUISSANCE (W)	CONCENTRATION MOYENNE (-)	
	VENTILATION ASCENDANTE	VENTILATION DESCENDANTE
3 700	1,09	0,76
8 800	0,64	4,39
9 900	0,59	9,45

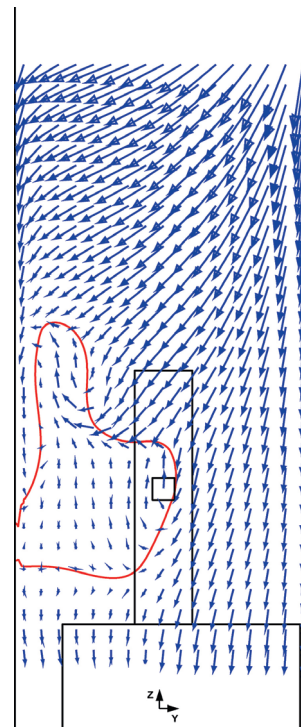
← TABLEAU 2 Concentration moyenne en polluants à hauteur des voies respiratoires (dans la zone limitée par l'aplomb du toit de la cabine).



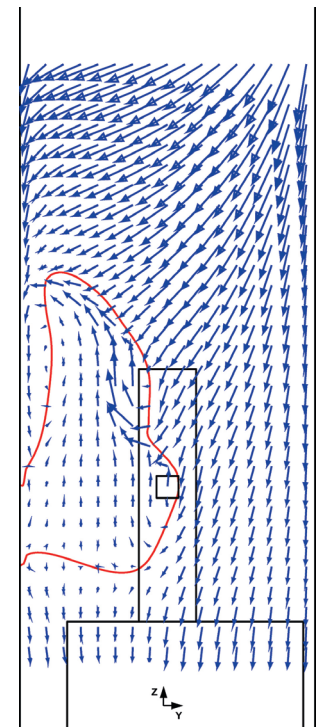
↑ FIGURE 3 Vitesses d'air dans un plan vertical proche de la source de pollution, pour la ventilation ascendante et une puissance thermique de la source de 8 800 W.



↑ FIGURE 4 Vitesses d'air dans un plan vertical proche de la source de pollution, pour une ventilation descendante et une puissance thermique de la source de 3 700 W.

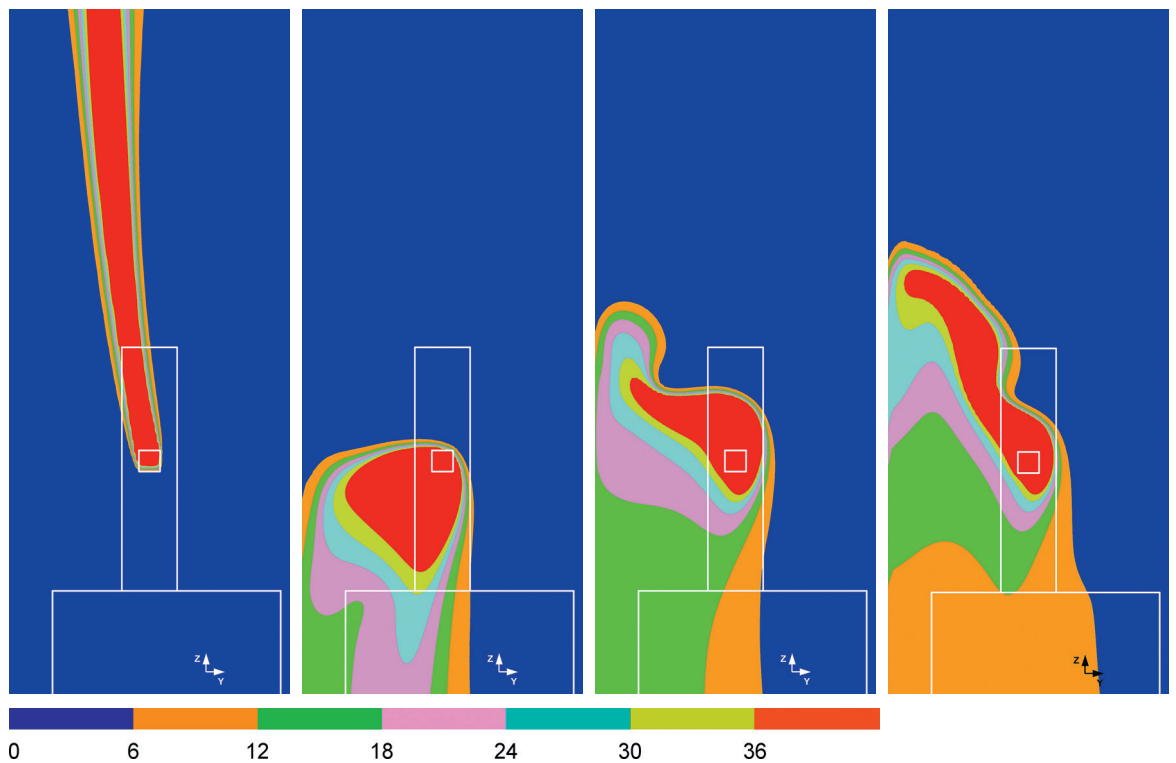


↑ FIGURE 5 Vitesses d'air dans un plan vertical proche de la source de pollution, pour une ventilation descendante et une puissance thermique de la source de 8 800 W.



↑ FIGURE 6 Vitesses d'air dans un plan vertical proche de la source de pollution, pour une ventilation descendante et une puissance thermique de la source de 9 900 W.





↑ FIGURE 7 Concentration en polluants dans un plan vertical proche de la source de pollution, pour une ventilation ascendante et une puissance thermique de la source de 8800 W.

↑ FIGURE 8 Concentration en polluants dans un plan vertical proche de la source de pollution, pour une ventilation descendante et une puissance thermique de la source de 3700 W.

↑ FIGURE 9 Concentration en polluants dans un plan vertical proche de la source de pollution, pour une ventilation descendante et une puissance thermique de la source de 8800 W.

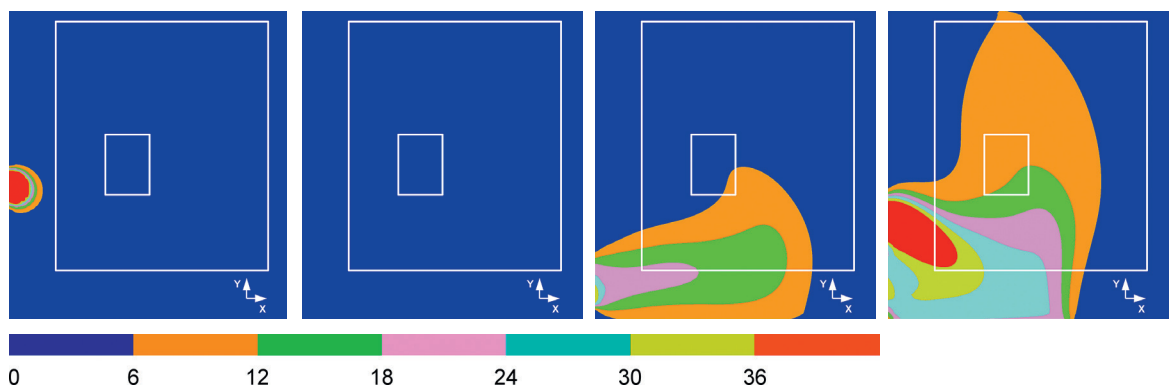
↑ FIGURE 10 Concentration en polluants dans un plan vertical proche de la source de pollution, pour une ventilation descendante et une puissance thermique de la source de 9900 W.

recirculation reste confinée à hauteur de la source à faible puissance, mais atteint puis dépasse le niveau de l'opérateur aux puissances intermédiaire et supérieure. Les valeurs des vitesses d'air ascendantes dans cette zone augmentent également avec la puissance.

→ Répartition spatiale des polluants

Les concentrations en polluants sont représentées dans les figures 7 à 10 dans le même plan de coupe

vertical que précédemment, et dans les figures 11 à 14, dans le plan horizontal à hauteur des voies respiratoires de l'opérateur. En ventilation ascendante, les polluants demeurent principalement confinés à l'intérieur du panache thermique qui se forme à partir du point de découpe (Cf. Figure 7). Ce panache reste accolé à la paroi verticale de la gaine et s'élargit peu latéralement. À hauteur des voies respiratoires, il occupe une part très limitée de la section droite de la gaine (Cf. Figure 11).



↑ FIGURE 11 Concentration en polluants à hauteur des voies respiratoires, pour une ventilation ascendante et une puissance thermique de la source de 8800 W.

↑ FIGURE 12 Concentration en polluants à hauteur des voies respiratoires, pour une ventilation descendante et une puissance thermique de la source de 3700 W.

↑ FIGURE 13 Concentration en polluants à hauteur des voies respiratoires, pour une ventilation descendante et une puissance thermique de la source de 8800 W.

↑ FIGURE 14 Concentration en polluants à hauteur des voies respiratoires, pour une ventilation descendante et une puissance thermique de la source de 9900 W.

En particulier, il atteint peu la zone rectangulaire à l'aplomb du toit de la cabine, zone à l'intérieur de laquelle le chalumiste est normalement susceptible d'évoluer.

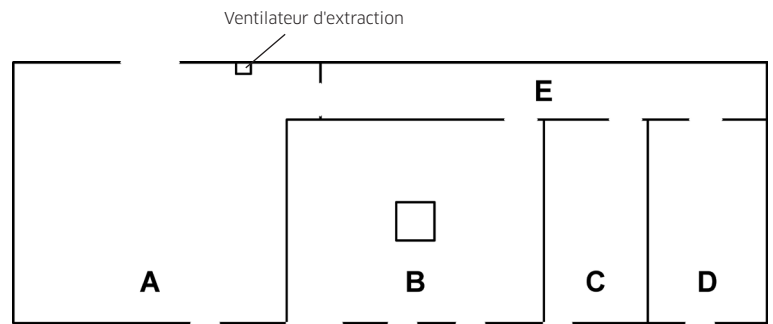
En ventilation descendante, la présence d'une zone de recirculation près de la source occasionne localement des remontées d'air chaud et pollué. La pollution reste confinée à hauteur de la source à faible puissance thermique, mais atteint puis dépasse le niveau de l'opérateur aux puissances intermédiaire et supérieure (Cf. Figures 8 à 10). Lorsque la puissance augmente, l'air chaud et pollué occupe, à hauteur des voies respiratoires, une fraction de plus en plus grande de la section droite de la gaine avec des niveaux de concentration qui vont en s'accroissant (Cf. Figures 12 à 14). Cet air pollué pénètre, en particulier, dans la zone rectangulaire à l'aplomb du toit de la cabine.

Les valeurs calculées de la concentration moyenne en polluants, à hauteur des voies respiratoires dans la zone limitée par l'aplomb du toit de la cabine, sont présentées dans le tableau 2. En ventilation ascendante, cette concentration varie peu en fonction de la puissance thermique de la source. Les polluants sont cependant susceptibles d'atteindre l'opérateur, par exemple si celui-ci doit pencher sa tête à la verticale du point de découpe, ou en présence d'obstacles sur la paroi pouvant dévier le trajet du panache.

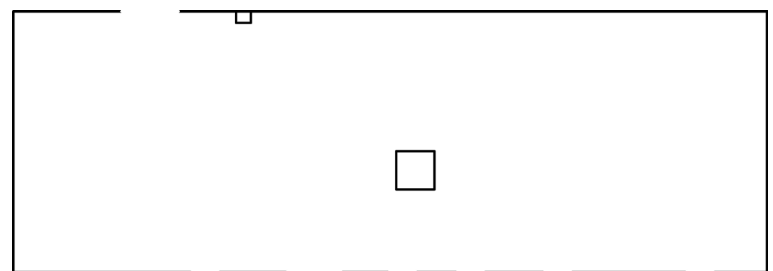
En ventilation descendante, le balayage d'air forcé du haut vers le bas permet de surmonter les effets convectifs de la découpe et d'éloigner les polluants des voies respiratoires de l'opérateur, uniquement dans le cas d'une source à faible puissance thermique; la concentration calculée (Cf. Tableau 2) reste alors du même ordre de grandeur que celle obtenue en ventilation ascendante. En présence d'une source de forte puissance et pour le débit de ventilation mis en œuvre, des remontées d'air chaud dispersent les polluants dans la zone d'évolution du chalumiste et la concentration augmente fortement jusqu'à être multipliée par un facteur supérieur à 12. Dans ce cas précis, l'utilisation d'une ventilation ascendante semble préférable. Cet exemple illustre donc les interactions possibles entre les flux naturels générés par le processus d'émission des polluants et les écoulements induits par une ventilation forcée.

Deuxième exemple: le curage d'un plateau de bureaux

La situation considérée est celle du curage d'un plateau de bureaux (aire au sol: 134 m², hauteur: 2,44 m), formé de cinq volumes: un couloir longitudinal E et quatre pièces repérées A à D (Cf. Figure 15). Des fenêtres, fixes ou ouvrables, sont présentes dans chaque pièce sur la façade avant (opposée au couloir). Une ouverture pour



↑ FIGURE 15 Vue de dessus du plateau de bureaux lors du curage de la pièce B, avec les cloisons en place.



↑ FIGURE 16 Vue de dessus du plateau de bureaux lors du curage de la pièce B, avec les cloisons retirées.

PIÈCE CURÉE	PRÉSENCE DES CLOISONS	NOMBRE TOTAL DE FENÊTRES OUVERTES
B	oui	7
B	non	7
D	oui	4
D	non	4

← TABLEAU 3 Résumé des simulations numériques d'écoulement effectuées.

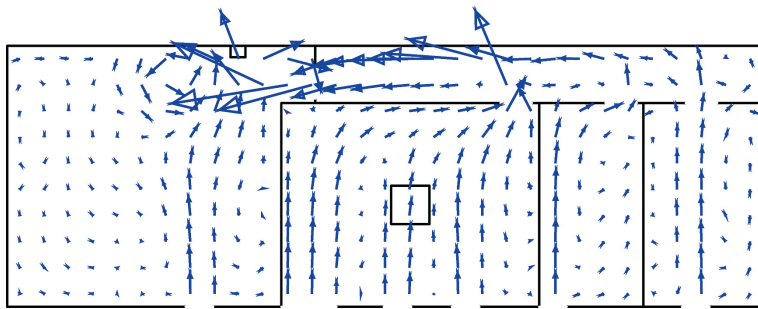
		CONCENTRATION MOYENNE SELON LA PIÈCE CURÉE	
		B	D
Cloisons	Avec	15,5	44,3
	Sans	2,6	25,5

← TABLEAU 4 Concentration moyenne en polluants à hauteur des voies respiratoires dans la zone de travail.

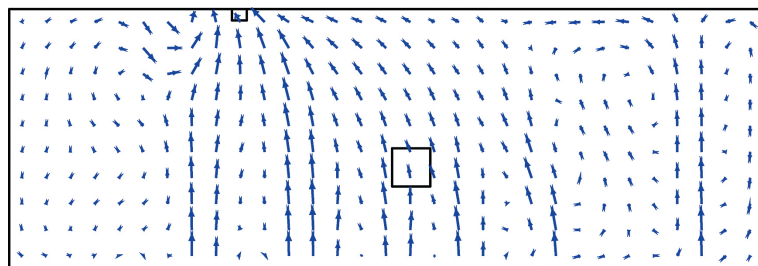
l'évacuation des gravats est percée dans le mur arrière de la pièce A. L'émission de polluants est occasionnée par la chute des matériaux au sol lors de l'abattage des faux plafonds. Cette émission est schématisée sous la forme d'une source de polluants carrée, située au niveau du sol et au centre de la pièce en cours de curage.

L'assainissement de l'air est assuré à l'aide d'un ventilateur d'extraction placé contre la paroi arrière de la pièce A. Le débit extrait est fixé à 1800 m³/h, ce qui correspond, pour le volume total du plateau, à un taux de renouvellement de 5,5 volumes par heure. La compensation de l'air

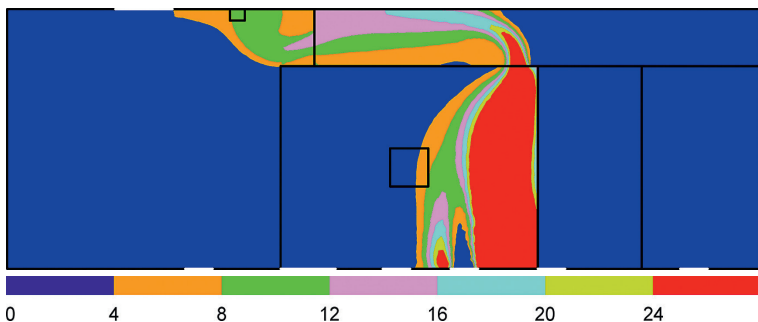




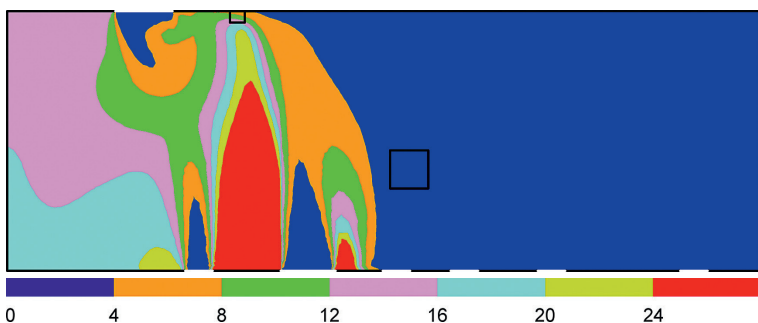
↑ FIGURE 17 Vitesses d'air dans le plan horizontal à mi-hauteur des fenêtres, lors du curage de la pièce B avec les cloisons en place.



↑ FIGURE 18 Vitesses d'air dans le plan horizontal à mi-hauteur des fenêtres, lors du curage de la pièce B avec les cloisons retirées.



↑ FIGURE 19 Concentration en polluant à hauteur des voies respiratoires, lors du curage de la pièce B avec les cloisons en place.



↑ FIGURE 20 Concentration en polluant à hauteur des voies respiratoires lors du curage de la pièce B avec les cloisons retirées.

extrait s'effectue au travers des orifices suivants :

- la totalité des fenêtres ouvrables de la pièce en cours de curage ;
- une fenêtre ouverte dans chacune des trois autres pièces ;
- l'ouverture ménagée pour l'évacuation des gravats.

L'objectif principal des simulations numériques d'écoulement est la comparaison de l'assainissement

de l'air du plateau à curer lors de l'abattage des faux plafonds pour les deux hypothèses suivantes :

- cloisons séparant les différents volumes A à E encore en place, car retirées après les faux plafonds ;
- cloisons absentes, car retirées au préalable.

Ces simulations ont été conduites pour un curage effectué dans la pièce B (Cf. Figures 15 et 16) et dans la pièce D. Elles sont résumées dans le tableau 3.

→ Écoulements d'air

Un exemple des vitesses d'air calculées lors du curage de la pièce B est illustré dans un plan de coupe horizontal à mi-hauteur des fenêtres dans les figures 17 et 18. En présence des cloisons, l'air neuf entrant par les fenêtres irrigue les différentes pièces, passe au travers des portes de communication, longe le couloir et est évacué par le ventilateur. Les écoulements sont plus réguliers en l'absence des cloisons. Toutefois, dans les deux cas, l'examen des vitesses dans des plans transversaux montre la présence de recirculations d'air verticales.

→ Répartition spatiale des polluants

Les concentrations en polluants sont représentées dans les figures 19 et 20 dans le plan horizontal, à hauteur des voies respiratoires des opérateurs. En présence des cloisons, le polluant reste principalement confiné à l'intérieur de la pièce à curer et du couloir, alors que l'absence de cloisons lui permet de se répandre sur une fraction beaucoup plus grande du plateau.

Le tableau 4 présente les valeurs calculées de la concentration moyenne en polluants à hauteur des voies respiratoires dans la zone de travail autour de la source, délimitée par le pourtour de la pièce en cours de curage. Pour les deux situations testées (curages des pièces B et D), le retrait préalable des cloisons avant l'abattage des faux plafonds permet de diminuer l'exposition des opérateurs. Le facteur de réduction de la concentration est de 1,7 pour le curage de la pièce D et de 5,9 pour la pièce B. Dans les conditions particulières de ce chantier, l'enlèvement des cloisons avant celui des faux plafonds permet une répartition plus homogène de l'air de balayage, ce qui induit des niveaux d'empoussièrément plus faibles pour les opérateurs chargés du retrait des faux plafonds. ●

BIBLIOGRAPHIE

[1] Exposition aux poussières sur les chantiers de démolition. *Hygiène et sécurité du travail*, mars 2015, n° 238, Étude de cas EC 8, pp. 64-66. Accessible sur : www.hst.fr

[2] *Poussières. Guide de bonnes pratiques en démolition*. INRS, ED 6263, 2017, 68 p. Accessible sur : www.inrs.fr