

Amélioration de l'aéraulique dans les unités de décontamination des chantiers de désamiantage

Improved aeraulics for decontamination units on asbestos removal works

Jean-Michel CHIAPELLO, PhD¹

Florian CHIAPELLO, MPhys²

^{1,2} CEFASC ENVIRONNEMENT, Lutterbach, France

RESUME

La décontamination du personnel de désamiantage, en sortie de zone de travail confinée, présente des difficultés d'organisation du fait du temps nécessaire à l'épuration de l'air dans les compartiments des unités de décontamination actuelles.

Nous proposons ici d'améliorer la cinétique d'épuration de l'air afin que le temps réellement passé dans les unités de décontamination par les travailleurs soit compatible avec des conditions de décontamination suffisamment efficaces.

ABSTRACT

Decontamination of asbestos removal workers while leaving the confined working area causes some difficulties, due to the delay which is necessary to clean the contaminated air present in the compartments of the decontamination units.

We propose to increase the air cleaning speed in order to ensure that the time really spent in the decontamination units is compatible with safe decontamination conditions.

1. Introduction

Assurer l'efficacité des installations de décontamination du personnel utilisées lors des opérations de désamiantage est un point important pour éviter de contaminer l'extérieur des zones confinées et pour ne pas exporter avec soi des fibres d'amiante hors du lieu de travail.

En effet, compte-tenu de l'absence de seuil minimal de risque pour la santé, tout transfert de pollution dans des locaux où il n'est pas prévu de porter de protection respiratoire peut conduire à des risques pour la santé des travailleurs. En outre, le transfert vers un véhicule ou le domicile personnel de fibres d'amiante avec des vêtements entreposés dans les vestiaires contaminés du fait d'une décontamination incomplète des opérateurs, présente également un risque pour la santé de leurs proches.

Pour être suffisamment efficaces les installations de décontamination du personnel doivent permettre d'assurer les fonctions suivantes :

- Permettre l'accès et la sortie du personnel
- Empêcher la sortie d'air pollué lors des phases de travail et lors de la sortie du personnel
- Réaliser les opérations réglementaires de décontamination dans les douches et être

compartimentées

- Assurer un débit de renouvellement d'air suffisant, correspondant au minimum à la valeur réglementaire fixée pour le taux de renouvellement d'air dans les douches, y compris pour la valeur minimale de dépression tolérée dans la zone de travail fixée en France à 10 Pascals.
- Recueillir l'eau usée des douches
- Permettre le nettoyage aisé des surfaces et ne pas présenter de points d'accumulation de poussières dans l'air ou sur les surfaces internes de l'installation.

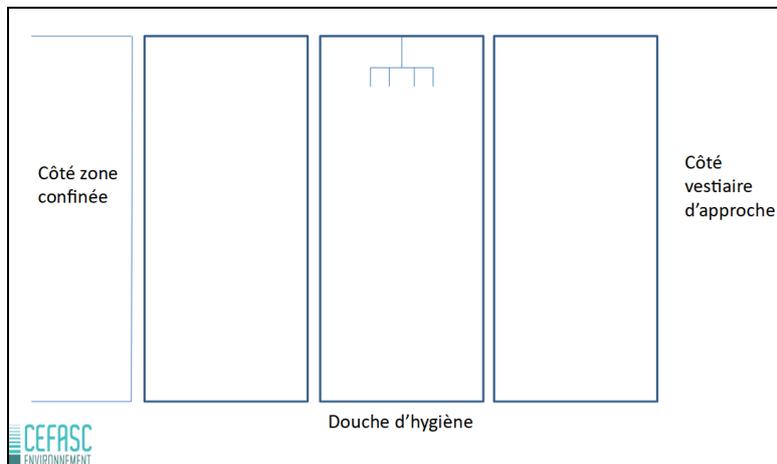


Figure 1 : Installation de décontamination compartimentée avec douche d'hygiène.

2. Les sources de pollution de l'air dans les unités de décontamination

2.1 Les surfaces souillées

Une pollution de l'air dans les unités de décontamination a lieu par apport de pollution présente sur les surfaces souillées par des résidus de fibres susceptibles d'être libérées :

- lors de l'entreposage d'équipements dans le premier sas (bottes, gants de travail et autres équipements non décontaminables),
- lors du douchage avec les EPI dans la première cabine de douche. L'impact des gouttes d'eau a tendance à remettre en suspension dans l'air une partie des fibres déposées sur les EPI.
- lors du retrait des EPI, généralement effectué dans un compartiment situé en aval de la première douche. C'est pourquoi il faut éviter au maximum de secouer les vêtements de protection en les retirant.
- dans une moindre mesure, lors de la douche corporelle prise avant retrait de l'appareil de protection respiratoire.
- par les surfaces des installations difficiles à nettoyer (volumes morts, caillebotis, surfaces rugueuses), sur lesquelles des résidus peuvent s'accumuler et sécher, puis libérer des particules dans l'air, voire contaminer les pieds.

On veillera à réduire la pollution des surfaces des installations de décontamination :

- d'une part, par une conception des installations évitant le plus possible la présence de points d'accumulation de poussières et de surfaces rugueuses, difficilement accessibles aux moyens de nettoyage courants,
- d'autre part, par une aspiration régulière et minutieuse de toutes les surfaces souillées à l'aide

d'un aspirateur à filtration très haute efficacité, ou par un essuyage à l'humide régulier de ces surfaces.

2.2 Le transfert d'air pollué

La pollution de l'atmosphère des unités de décontamination à lieu, d'autre part, par entraînement d'air pollué provenant de la zone de travail confinée.

La sortie directe d'un opérateur d'une zone confinée vers l'extérieur, par exemple en ouvrant une simple porte, conduirait à polluer l'atmosphère extérieure par la sortie de l'air avec l'opérateur. En effet il se produirait dans ce cas un phénomène de transfert de fibres d'amiante :

- par diffusion du fait de la différence des concentrations de particules entre l'intérieur et l'extérieur de la zone
- et surtout par convection du fait de la chute de dépression de la zone de travail occasionnée par l'ouverture de la porte. L'absence de différence de pression conduirait alors à des échanges d'air croisés entre l'intérieur et l'extérieur de la zone.

L'installation d'une deuxième porte, pour constituer un sas, permet de maintenir la zone de travail en dépression par rapport à l'extérieur lors de la sortie d'un opérateur et d'éviter la mise en contact direct de l'air intérieur pollué avec l'extérieur de la zone.

Néanmoins, l'ouverture de la première porte, donnant sur la zone de travail, entraîne une pollution quasi instantanée de l'air du sas, dont la concentration est alors proche de celle rencontrée dans la zone de travail.

Il est ensuite impératif, lorsque la première porte du sas est refermée, que l'air contenu dans celui-ci soit rapidement épuré par une entrée d'air propre venant de l'extérieur ou de compartiments suivants.

Dans le cas contraire, l'air du sas encore contaminé sera mélangé avec l'air propre des compartiments suivants, et pourra, de proche en proche, véhiculer des fibres d'amiante jusqu'au compartiment réputé propre de l'installation de décontamination et même jusqu'au vestiaire d'approche.

3. Comment assurer l'épuration de l'air des compartiments

Une épuration efficace et rapide de l'air des compartiments des installations de décontamination constitue un enjeu crucial sur les chantiers de désamiantage.

En effet, une épuration trop lente occasionne :

- l'entraînement d'air pollué avec les opérateurs se dirigeant vers la sortie, d'autant plus marqué que le temps de passage dans chaque compartiment est réduit
- une augmentation du temps de séjour nécessaire aux opérateurs dans chaque compartiment pour assurer une décontamination efficace de l'air, ce qui conduit à des durées de sortie de zone plus difficiles à faire respecter,
- une augmentation des coûts des travaux, compte tenu que la fraction de temps de vacation consacrée à la décontamination est plus important.

L'objectif de la gestion des flux d'air dans une unité de décontamination est donc de pouvoir éliminer le plus rapidement possible, lors du séjour d'un opérateur dans chaque compartiment, les particules présentes en suspension dans l'air de ce compartiment.

Il s'agit donc de générer dans chaque compartiment un flux sortant de particules le plus élevé possible en un minimum de temps.

3.1 Les deux modèles de circulation d'air

Deux schémas de circulation d'air peuvent être principalement envisagés pour arriver à épurer l'air d'un compartiment d'unité de décontamination.

3.2 Le modèle « agité »

Dans ce premier modèle, le plus couramment rencontré dans les unités actuelles de décontamination du personnel, on obtient une décroissance progressive de la concentration de particules par dilution avec de l'air neuf.

L'air neuf pénètre à grande vitesse dans le compartiment à épurer par une ouverture pratiquée dans la paroi de séparation entre deux compartiments, le plus souvent constituée d'une porte. L'ouverture est de taille réduite par rapport à la section du compartiment, et, dans certaines unités de décontamination, l'entrée d'air neuf est répartie sur deux ou trois ouvertures.

Ce modèle est basé sur un mélange du flux d'air neuf avec l'air présent dans le compartiment à épurer, conduisant à une réduction progressive, par dilution, de la concentration dans ce compartiment. Le flux de particules est alors éliminé, avec l'air dilué, sortant par une ou plusieurs ouvertures pratiquées dans la paroi de séparation avec le compartiment suivant, en direction de la zone de travail confinée. La position et le nombre des ouvertures jouent un rôle important dans la capacité d'épuration de l'air des unités de décontamination (1).

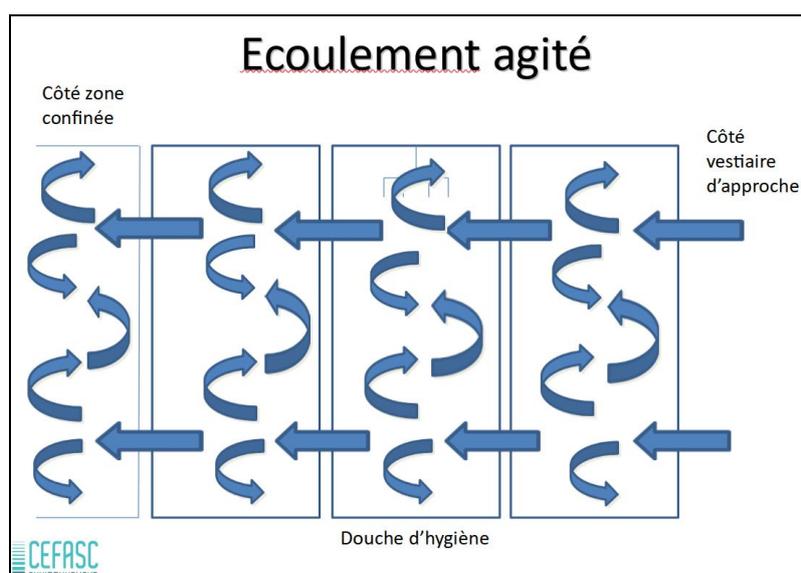


Figure 2 : Schéma de ventilation par mélange turbulent de l'air des compartiments avec entrées d'air en parties haute et basse.

L'entrée d'air neuf ayant lieu par des ouvertures offrant une section de passage limitée, ce modèle nécessite de créer un régime aéraulique suffisamment turbulent pour pouvoir assurer un mélange de l'air homogène dans le compartiment à épurer. En cas d'absence de mélange suffisamment efficace, il se forme des zones de passage préférentiel de l'air neuf entre les bouches d'entrées et les bouches de sortie du compartiment, voire des zones localisées de recirculation d'air. Ce système ne permet alors pas d'éliminer efficacement les particules nocives de façon assez rapide et homogène. En d'autres termes, si la dilution de l'air pollué n'est pas assurée de façon homogène, des particules résiduelles retenues dans les zones mortes resteront en suspension dans l'air du compartiment et pourront être transférées vers le compartiment suivant lors de la prochaine ouverture de porte, lors du passage d'un opérateur vers la sortie.

Pour ce modèle, en l'absence de zones mortes, on peut considérer l'air du compartiment comme parfaitement agité et il est alors possible de calculer la cinétique d'élimination des particules dans l'air en fonction du temps à l'aide de la formule :

$$C = C_0 \cdot e^{-(Q/V) \cdot t}$$

C : concentration au temps t

C₀ : concentration initiale dans le compartiment

t : temps écoulé

V : volume du compartiment

Q : débit d'air d'entrée d'air neuf

La figure 3 représente l'évolution de la concentration au cours du temps dans un compartiment parfaitement agité d'un volume de 2 m³ pour un taux de renouvellement d'air minimal réglementaire en France égal à 120 fois le volume de la douche par heure.

Une concentration proche de zéro est atteinte au bout d'environ 3 minutes.

Cette durée correspond à la durée de passage minimum habituellement recommandée dans le compartiment de douche d'une unité de décontamination en France, où la plupart des unités de décontamination fonctionne sur le modèle d'écoulement « agité ». (2)

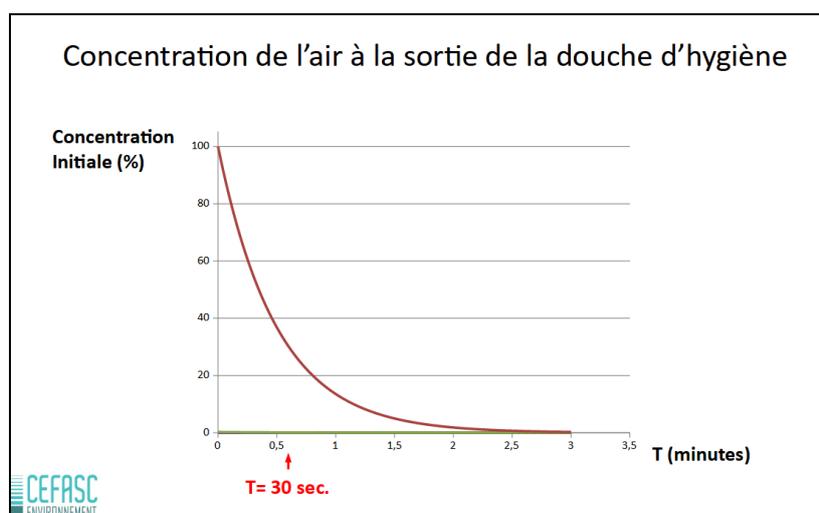


Figure 3 : évolution de la concentration dans un compartiment en régime parfaitement agité

Un modèle imparfait

S'il est relativement simple de concevoir des unités de décontamination basées sur ce modèle, celui-ci comporte cependant des inconvénients notables.

Tout d'abord, le temps nécessaire à la dépollution de l'air d'un compartiment, qui définit le temps de séjour minimum d'un opérateur dans ce compartiment, est difficile à faire respecter par les opérateurs, celui-ci étant généralement supérieur à la durée des diverses opérations réalisées dans chaque compartiment en sortie de zone.

Par ailleurs, du point de vue technique, il est difficile d'éviter la présence de passages préférentiels de l'air d'un compartiment à l'autre. La dépollution de l'air d'un compartiment nécessitera donc un temps de séjour de l'opérateur supérieur à la durée calculée par la formule ci-dessus, valable pour un écoulement idéalement agité et une concentration parfaitement homogène dans un compartiment donné.

Les outils actuels de simulation numérique des flux d'air permettent de représenter, avec des mailles de calcul suffisamment précises, les flux d'air dans les compartiments des unités de décontamination. Le calcul de l'âge de l'air fait apparaître des différences de vitesse de renouvellement d'air au sein d'un même compartiment et met en évidence les possibles passages préférentiels de l'air neuf ainsi que l'existence de zones mortes dans lesquelles un air empoussiéré séjourne trop longtemps.

Les figures ci-après représentent les valeurs croissantes de l'âge de l'air (du bleu vers le rouge), lors du passage de l'air dans une installation de décontamination à 5 compartiments, avec une circulation de la droite (entrée d'air neuf) vers la gauche (zone confinée).

Ces valeurs sont calculées pour un débit de $450 \text{ m}^3/\text{h}$, correspondant à un taux de renouvellement d'air de 292 h^{-1} par compartiment.

Les figures 4 et 5 permettent de visualiser l'importance de la présence de déflecteurs sur les entrées d'air de géométrie donnée, dans le cas où toutes les ouvertures sont situées dans l'axe de circulation de l'air, pour améliorer l'agitation au sein des compartiments.

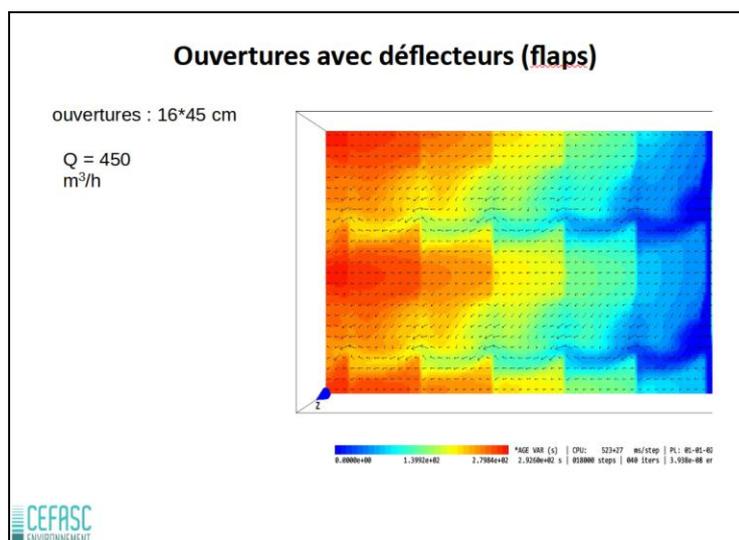


Figure 4 : représentation de l'âge de l'air dans une unité à 5 compartiments avec passage d'air par deux ouvertures équipées de déflecteurs.

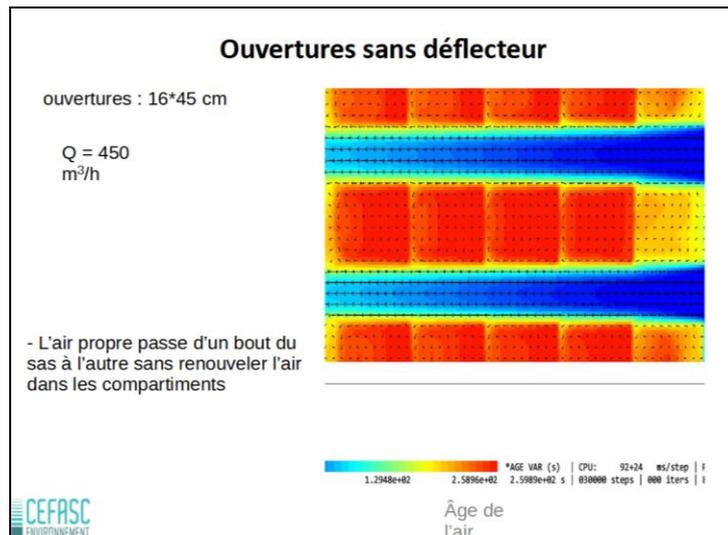


Figure 5 : représentation de l'âge de l'air dans une unité à 5 compartiments avec passage d'air par deux ouvertures sans déflecteurs.

La figure 6 représente l'âge de l'air dans une unité de décontamination présentant une circulation par une seule entrée d'air par compartiment, de même section que sur les figures 4 et 5, en position alternée d'un compartiment à l'autre et pour un débit identique.

L'augmentation de la vitesse de passage d'air sur les ouvertures est alors plus élevée et conduit à des passages préférentiels, et des phénomènes de recirculation dans les zones mal ventilées. Dans ces zones, l'air est retenu plus longtemps, ainsi que les poussières volatiles qu'il peut contenir.

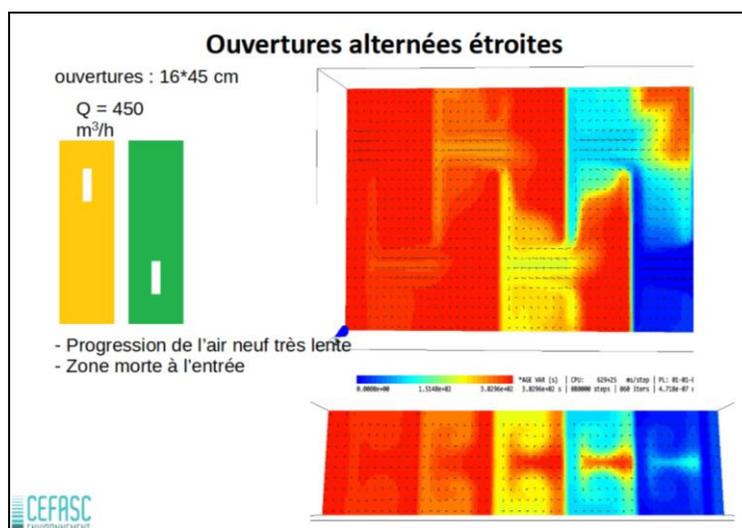


Figure 6 : représentation de l'âge de l'air dans une unité à 5 compartiments avec passage d'air par une ouverture en position alternée d'un compartiment à l'autre

Augmenter la surface des ouvertures permet d'améliorer l'agitation dans les compartiments mais ne suffit pas pour éliminer complètement les zones de stagnation d'air, comme le montre la figure 7, obtenue avec des ouvertures plus large.

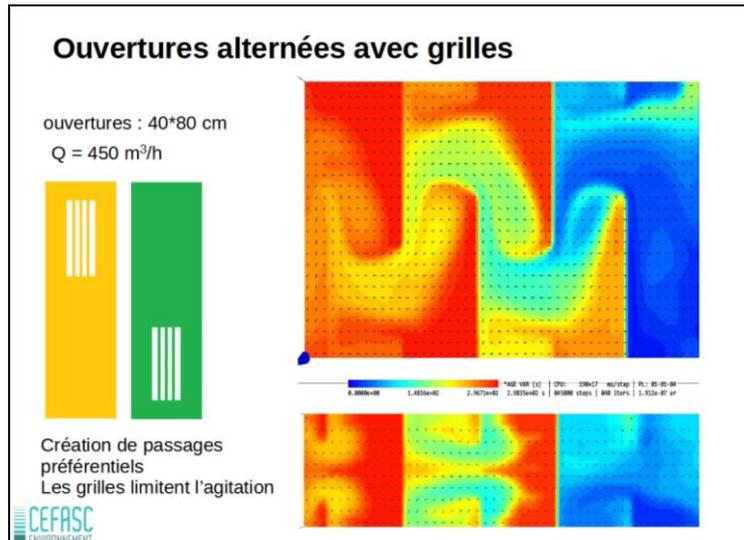


Figure 7 : représentation de l'âge de l'air dans une unité à 5 compartiments avec passage d'air par une large ouverture en position alternée d'un compartiment à l'autre

Par ailleurs, dans cette même configuration, si on diminue le débit d'air, pour se rapprocher de la valeur minimum réglementaire du taux de renouvellement d'air, ce dernier passant ici de 292 h^{-1} à 162 h^{-1} , on obtient la figure 8. On constate alors que la présence de zones mal ventilées s'aggrave par rapport à la figure 7 obtenue pour le plus fort débit.

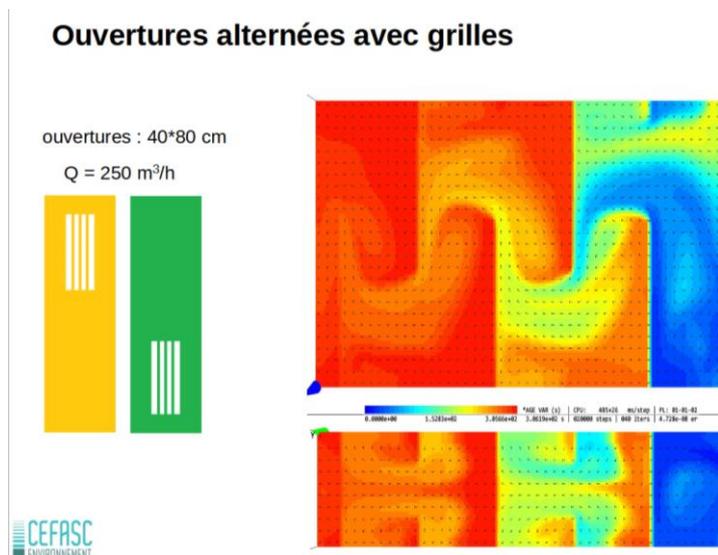


Figure 8 : représentation de l'âge de l'air dans une unité à 5 compartiments avec passage d'air par une large ouverture en position alternée d'un compartiment à l'autre à faible débit.

3.3 Le modèle « piston »

La seconde méthode de dépollution de l'air, consiste à réduire la vitesse de circulation d'air par une répartition du flux d'air sur toute la surface des parois de séparation entre deux compartiments. On se rapproche alors d'un écoulement d'air de type « piston », qui, à l'opposé du modèle « parfaitement agité » décrit précédemment, vise à limiter les turbulences pour se rapprocher du

régime d'écoulement laminaire (figure 9).

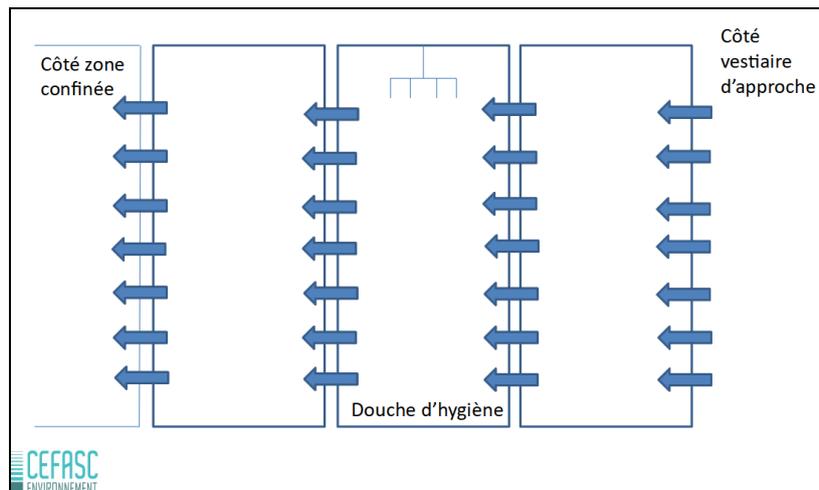


Figure 9 : Schéma de ventilation par circulation de l'air de type « piston » avec entrée d'air répartie sur toute la section des compartiments

Il s'agit du modèle généralement retenu lorsqu'on veut évacuer rapidement de l'atmosphère de travail des matières à risque élevé, comme dans les salles blanches, les cabines de peinture, ou lors de la manipulation de substances dangereuses (3).

L'écoulement d'air de type piston permet d'épurer l'air efficacement et de façon beaucoup plus rapide que le modèle parfaitement agité. En effet, idéalement, en absence d'agitation de l'air dans un compartiment, l'air chargé en particules est déplacé vers le compartiment aval et remplacé par l'air propre arrivant du compartiment situé en amont.

Il n'y a pas de diminution de la concentration par dilution de l'air chargé en particules volatiles, et toute la pollution est éliminée du compartiment par un apport minime d'air neuf, égal au volume du compartiment.

Le temps d'épuration du compartiment est alors donné par la formule : $t = V/Q$

t : temps écoulé

V : volume du compartiment

Q : débit d'air d'entrée d'air neuf

Soit, pour un compartiment de 2 m³ et un renouvellement d'air de 120 h⁻¹ par compartiment, une durée d'épuration égale à 30 secondes, au lieu d'environ 3 minutes pour le modèle parfaitement agité (figure 10).

Cette configuration idéale suppose que les séparations entre les compartiments permettent de transférer l'air à faible vitesse à travers toute la surface de cette séparation, ce qui techniquement n'est pas aisé.

Des portes à persiennes réparties sur toute la surface ont été proposées mais n'ont pas fait l'objet d'un développement commercial (3).

Une autre solution, simple, consiste à remplacer les portes séparant les compartiments par des rideaux composés de lourdes lanières plastiques disposées avec un écartement de quelques millimètres entre deux lanières, créant ainsi des fentes verticales, offrant à l'air un passage sur toute

la hauteur et toute la largeur des parois entre compartiments (figure 11).

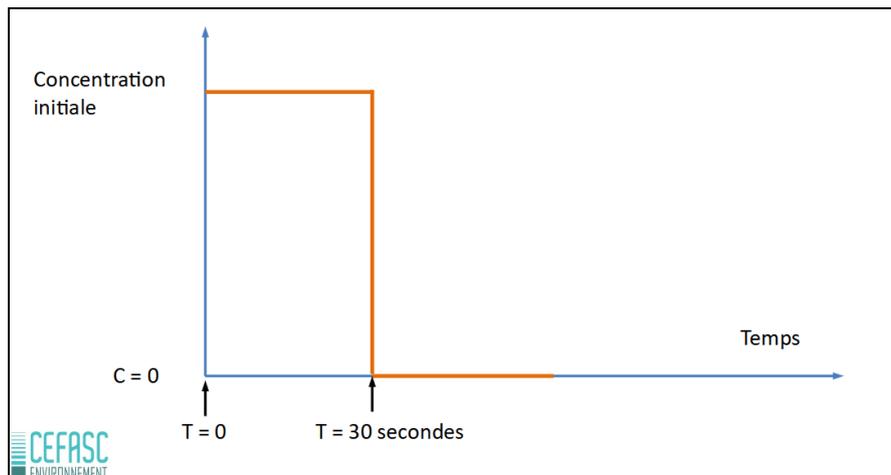


Figure 10 : évolution de la concentration en sortie d'un compartiment en régime piston.

L'utilisation de rideaux à lanières présente également l'avantage, lors du passage d'un opérateur d'un compartiment à l'autre, ne pas avoir à ouvrir toute la surface de séparation entre les compartiments, comme ce serait le cas avec une porte, limitant ainsi l'entraînement d'air pollué avec l'opérateur.



Figure 11 : séparation par rideau à lanières

La simulation numérique de l'écoulement dans une unité de décontamination compartimentée à l'aide de rideaux à lanières non jointives confirme, par rapport au modèle agité, l'absence de passages préférentiels et fait apparaître une répartition uniforme et plus faible de l'âge de l'air dans les compartiments (figure 12).

Maintien de la dépression

Dans une unité de ce type, la résistance au passage de l'air est très limitée. En effet, la section de

passage est répartie sur une grande surface, et par ailleurs, du fait de la souplesse des lanières, une augmentation de la vitesse de l'air entraîne une légère augmentation de l'écart entre celles-ci, et donc une augmentation de la section de passage, ce qui limite la perte de charge. Ce phénomène permet d'obtenir un bon renouvellement d'air dans chaque compartiment, y compris pour de faibles valeurs de la dépression dans la zone de confinement.

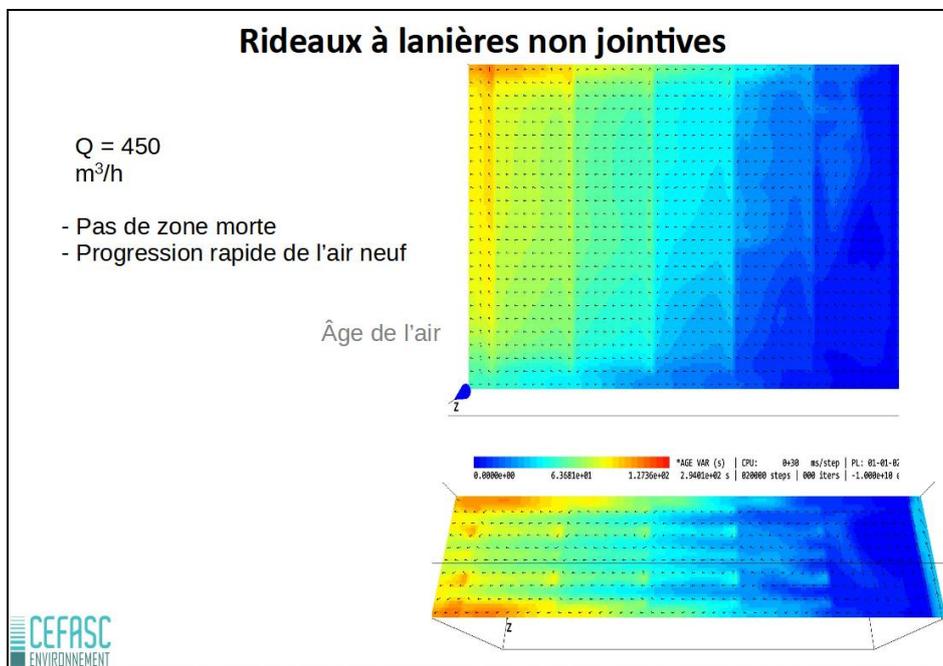


Figure 12 : simulation de l'âge de l'air dans une unité à 5 compartiments avec passage d'air reparti à l'aide de rideaux à lanières non jointives

Cependant, l'absence de portes rigides présente l'inconvénient d'un risque de sortie d'air pollué en cas de rupture accidentelle de la dépression dans la zone confinée.

3.4 Vers un système combiné

Il est intéressant d'associer les avantages de la circulation d'air de type « piston » tout en assurant le maintien de la dépression dans la zone de travail et dans l'ensemble des compartiments de l'unité de décontamination.

Nous recommandons la solution consistant à placer, côté extérieur de l'unité de décontamination, un premier compartiment muni d'une première porte rigide, pouvant être équipée d'un système de fermeture, et d'une deuxième porte donnant sur un deuxième compartiment.

Ces deux portes équipant le compartiment d'entrée doivent naturellement ne pas se trouver en position ouverte en même temps,

Les entrées d'air disposées sur ces portes doivent être équipées de déflecteurs anti-retour (figure 13).

Les séparations entre les compartiments suivants sont équipées de rideaux à lanières non jointives facile à se procurer ou à fabriquer.



Figure 13 : Porte d'entrée rigide avec deux ouvertures et déflecteurs sur le sas d'entrée extérieur.

Cette configuration permet de :

- Bénéficier des avantages d'une dépollution très rapide des compartiments dans lesquels une pollution est apportée, soit par l'air soit par des éléments contaminés.
- Maintenir la dépression dans la zone de travail et éviter les fuites d'air vers l'extérieur, du fait de la perte de charge créée par les ouvertures de taille réduite et des déflecteurs anti-retour équipant ces portes,
- Mesurer les flux d'air sur les ouvertures d'entrée d'air de la deuxième porte, afin de contrôler le renouvellement d'air neuf dans le compartiment de douche d'hygiène.

4. Discussion

En France, la durée de passage des opérateurs dans chaque compartiment des unités de décontamination n'est pas réglementée, et aucune durée n'est non plus fixée par les règles techniques de désamiantage établies par les organisations professionnelles du secteur du désamiantage (4).

Chaque entreprise devra mettre en place ses propres procédures de décontamination, assorties des temps de sortie adaptés au type d'unité de décontamination choisie, afin de justifier, d'une part que les moyens de décontamination sont adaptés aux opérations réalisées, et d'autre part que les temps de passage dans les différents compartiments sont respectés.

Outre l'impatience légitime des opérateurs de se libérer des EPI, et de limiter les temps d'attente dans les sas, pour rejoindre au plus tôt la zone de récupération en fin de vacation, un séjour prolongé dans les unités de décontamination se heurte à des considérations économiques. Le temps de vacation, c'est à dire la durée de port en continu de l'appareil de protection respiratoire, est en effet limité, et inclut la durée de transit dans les unités de décontamination, jusqu'au compartiment où cet appareil est retiré. Cette durée constitue un temps de travail non productif, mais rémunéré.

Le modèle d'unité de décontamination proposé ici permettrait d'ajuster le temps de séjour des opérateurs à la durée nécessaire aux opérations de décontamination à réaliser dans chaque compartiment, tout en assurant un flux d'air neuf plus efficace et conforme à la réglementation pour une valeur minimale de dépression.

- (1) Aéraulique des chantiers d'amiante, ND 2185-190-03, INRS 2003
- (2) Amiante. Aéraulique des chantiers sous confinement. Guide pratique de ventilation. ED 6307, INRS, 2018
- (3) Aéraulique générale des chantiers d'amiante, Uniclimate, éditions Separ
- (4) Règles techniques de sous-section 3, <https://www.reglestechniquess3-syrta-sedre.net/>