

# EVALUATION DES PERFORMANCES DE CAPTAGE DE TROIS TYPES DE MACHINES À BOIS PORTATIVES

Les machines à bois portatives, largement utilisées dans les entreprises artisanales, sont parmi les plus polluantes en matière de poussières. Cette étude concerne trois types de machines (scies circulaires, défonceuses et ponceuses orbitales) pour lesquels les matériels de quatre fournisseurs ont été comparés : une quarantaine de configurations a été évaluée en laboratoire à l'INRS. Cet article en présente les principaux résultats.

Une seule scie circulaire sur huit, équipée d'une lame plongeante, possède de très bonnes performances de captage. Dans la majorité des cas, la conception des capots de protection aspirants n'est pas efficace. Globalement, les petites défonceuses présentent de bonnes performances de captage. Par contre, même avec des débits d'aspiration élevés, trois grosses défonceuses sur quatre génèrent des niveaux d'empoussièrément trop importants. Trois ponceuses orbitales sur quatre possèdent des dispositifs de captage satisfaisants. Une seule machine était équipée d'un simple sac de collecte des poussières et ne pouvait être reliée au réseau à haute dépression, situation à proscrire. La migration des fines particules à travers le sac a été mise en évidence. Un seul constructeur a pris en compte de manière efficace la prévention de l'exposition aux poussières de bois sur la quasi-totalité de son matériel. Des essais en entreprises ont été effectués pour évaluer l'exposition professionnelle de salariés utilisant les matériels les plus performants identifiés durant la phase de laboratoire. Les prélèvements individuels ont été réalisés sur 22 salariés de 13 menuiseries de bâtiment : fabrication de charpentes, de portes, d'escaliers, etc.

Les résultats montrent que, dans les situations où de bonnes pratiques professionnelles sont respectées - nettoyage fréquent des ateliers à l'aide d'un système centralisé d'aspiration, utilisation exclusive d'outils aspirants -, l'exposition professionnelle mesurée varie de 0,4 à 1,1 fois la VLEP (Valeur limite d'exposition professionnelle) pour les opérations de ponçage et de 0,6 à 1,3 fois la VLEP pour le sciage (VLEP = 1mg/m<sup>3</sup>).

## DUST COLLECTION PERFORMANCE EVALUATION FOR THREE TYPES OF PORTABLE WOODWORKING MACHINES

Widely used in small-scale enterprises, portable woodworking machines are among the most polluting in terms of dust. This study concerns three types of machine (circular saws, routers and orbital sanders), for which equipment supplied by four manufacturers was compared: approximately forty configurations were evaluated in the INRS laboratory. This paper presents the main results of this study.

Out of eight machines tested, only one circular saw, fitted with a plunge saw blade, had very good dust collection performance characteristics. In most cases, design of the suction guards was inefficient. Small routers displayed good collection performance characteristics on the whole. However, even at high suction rates, three large routers out of four generated excessive dust emission levels.

Three orbital sanders out of four featured satisfactory dust collection systems. Only one machine was fitted with a simple dust collection bag and could not be connected to the low pressure network; this configuration should be prohibited. Migration of fine particles through the bag was revealed. Only one manufacturer had efficiently taken into account prevention of wood dust exposure in virtually all its equipment. Tests were conducted at companies to evaluate occupational exposure of employees using equipment with the highest performance characteristics identified at the laboratory stage. Personal samples were taken from 22 employees at 16 building industry woodworking enterprises producing timber frames, doors, staircases, etc.

Results showed that, in situations in which good professional practices were implemented (frequent workshop cleaning using a centralised vacuum system, use of only suction tools), the measured occupational exposure varied between 0.4 and 1.1 times the OELV (occupational exposure limit value) for sanding operations and between 0.6 and 1.3 times the OELV for sawing (OELV = 1mg/m<sup>3</sup>).

- Bois
- Poussière
- Machine portative
- Captage
- Efficacité

► Jean-Raymond Fontaine,  
Jean-Paul Muller,  
INRS, département Ingénierie des procédés

► Marie-Christine Braud,  
CRAM des Pays de la Loire, Laboratoire  
interrégional de chimie

► Philippe Brouté,  
CRAM de Bretagne, Centre interrégional de  
mesures physique de l'ouest

► Régis Accart, Dominique Pinsard,  
OPPBT

► Gilles Marmoret,  
Confédération de l'artisanat et des petites  
entreprises du bâtiment

► Jean-Paul Bayle,  
Fédération française du bâtiment - charpente  
menuiserie parquets

► Philippe Bourges,  
CNAMTS

- Wood
- Dust
- Portable machine
- Collection
- Efficiency

La directive cadre européenne n°98/24/CE, concernant la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés aux agents chimiques sur le lieu de travail, a fixé la valeur moyenne d'exposition pour le bois à  $5 \text{ mg.m}^{-3}$  [1]. Cette directive a été transcrite en droit français en date du 23 décembre 2003 par le décret n° 2003-1254 précisant, qu'au-delà du 30 juin 2005, la valeur limite d'exposition professionnelle passerait à  $1 \text{ mg.m}^{-3}$  [2]. La sécurisation des machines à bois, la prise en compte croissante de la santé et des maladies professionnelles imposent un nouvel état d'esprit chez les fabricants de matériels et chez les utilisateurs. En effet, les poussières de bois irritantes, sensibilisantes et cancérogènes doivent impérativement être aspirées à la source. Il a été démontré dans plusieurs études que la prévalence de signes respiratoires augmente avec la concentration de poussières de bois dans l'air. L'asthme du menuisier/charpentier apparaît après un à dix ans d'exposition aux poussières et peut être précédé ou accompagné de rhinite, de conjonctivite ou d'eczéma. De plus, le risque de survenue d'un cancer des sinus augmente avec l'exposition [3, 4, 5].

Le repérage des situations de travail provoquant un dégagement de poussières (notamment celles faisant appel à l'utilisation de machines portatives) est essentiel pour les chefs d'entreprise afin de définir des actions concrètes à entreprendre en priorité. Les machines portatives font partie des machines les plus polluantes en matière de poussières et sont largement utilisées dans les entreprises artisanales [6 - 9].

L'étude, objet de cet article, a concerné les machines électroportatives adaptées aux travaux d'atelier ou de chantier. Elle avait comme objectif de réaliser, dans un premier temps, un état des lieux en matière de captage des poussières, pour trois types de machines les plus couramment utilisées en atelier et sur chantier : la scie circulaire, la défonceuse et la ponceuse orbitale. A partir d'essais en laboratoire, elle a permis, d'identifier, parmi les offres des quatre principaux constructeurs, les machines les plus performantes sur le plan de l'exposition aux poussières de bois. Plusieurs pistes d'amélioration ont aussi été proposées pour augmenter l'efficacité de captage de certains modèles. Des essais en entreprises ont été effectués

pour évaluer l'exposition professionnelle de salariés utilisant les matériels les plus performants identifiés durant la phase de laboratoire. Les prélèvements individuels ont été réalisés conformément à la norme NF X 43-257 [13] sur 22 salariés de 13 menuiseries de bâtiment (fabrication de charpentes, de portes, d'escaliers, etc.).

## MATERIEL ET METHODES D'ESSAI EN LABORATOIRE

### CHOIX DES MACHINES ET DES CONSTRUCTEURS

Le choix des types de machines à tester et des constructeurs a été réalisé à partir d'un questionnaire envoyé par deux organisations professionnelles à plusieurs dizaines d'entreprises. Les types de machines électroportatives les plus utilisées et les fournisseurs les plus représentatifs ont ainsi pu être identifiés. Quatre d'entre eux (repérés de manière anonyme par les lettres A, B, C et D dans ce qui suit) ont accepté de fournir du matériel pour essais à l'INRS. Deux modèles de scie circulaire et de défonceuse et un modèle de ponceuse orbitale ont été envoyés par chaque fournisseur.

### MOYENS D'ESSAI

La cabine d'essais et le robot d'usage sont présentés *Figures 1 et 2*.

Le ventilateur d'extraction de la cabine permet de faire varier le débit d'air de 2 000 à 20 000  $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$  induisant ainsi dans la face ouverte des vitesses d'air allant de 0,1 à 1  $\text{m.s}^{-1}$ . Les vitesses d'air fixées pour les différentes configurations d'essais ont été mesurées à l'aide d'un anémomètre TSI 8345. Un dispositif de type Anubar a assuré le contrôle et la régulation du débit d'air mis en œuvre sur la cabine.

Placées sur le robot d'usinage, les différentes machines portatives peuvent être utilisées sans interruption pendant 90 minutes environ. La réalisation d'usinages précis et réguliers a permis d'effectuer des mesures d'indice d'assainissement et de niveaux d'empoussiè-

ment reproductibles. La vitesse d'avance, pilotée par le robot, pour la réalisation des différents usinages pouvait être réglée entre 1 et 3  $\text{m.min}^{-1}$ . Les largeurs de passes pouvaient être ajustées par pas de 0,5 mm, notamment dans le cas des défonceuses.

Pour des raisons techniques, les ponceuses orbitales n'ont pu être montées sur le robot d'usinage et les essais ont été réalisés avec un opérateur.

### Dispositif d'aspiration à haute dépression

Pour l'ensemble des essais, toutes les machines ont été raccordées à un aspirateur industriel mobile à haute dépression par l'intermédiaire d'un conduit souple de 40 mm de diamètre. Cet aspirateur pouvait délivrer un débit d'air de 350  $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$  et une dépression maximale de 30 KPa. Le réglage des différents débits d'air fixés pour les essais a été réalisé au moyen d'une vanne à boisseau sphérique.

### PARAMÈTRES MESURÉS

#### Indices d'assainissement

##### Méthode de mesure

L'évaluation des performances des dispositifs de captage implantés sur les machines a été réalisée à partir de la mesure de l'indice d'assainissement suivant la méthode normalisée EN 1093-11 [10]. Cette technique fait appel à des mesures relatives de concentration de poussière en plusieurs points autour de la machine. Cet indice IA est défini comme le gain apporté par le fonctionnement du dispositif de captage (exprimé en écart de concentration de poussière) rapporté à la concentration mesurée en l'absence d'aspiration avec correction éventuelle du niveau résiduel.

Les différentes concentrations sont mesurées en un même point dans les conditions opératoires suivantes :

- $C_m$  : machine en fonctionnement, aspiration en service,
- $C_a$  : machines en fonctionnement, aspiration arrêtée,
- $C_f$  : machine et aspiration arrêtées.

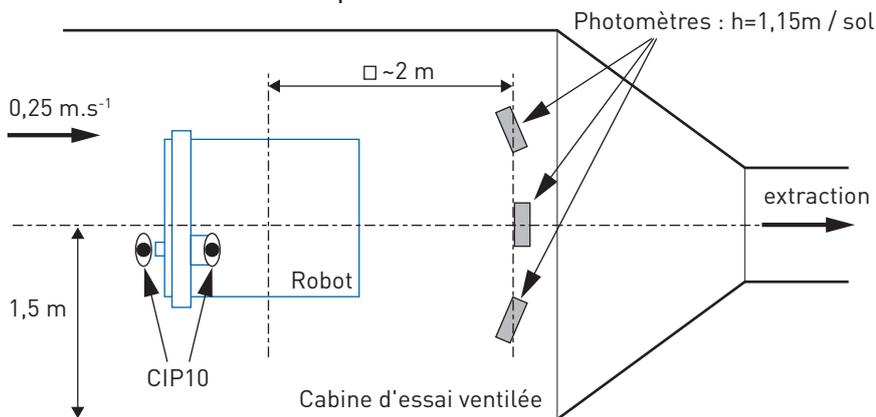
FIGURE 1

## Cabine d'essais et robot d'usinage



FIGURE 2

## Cabine d'essais et conditions expérimentales



L'indice d'assainissement est donné par la formule :

$$IA = \frac{C_a - C_m}{C_a - C_f}$$

Cet indice permet de comparer les performances des dispositifs de captage mis en place sur une machine mais aussi de qualifier les modifications apportées à ces dispositifs et de quantifier l'influence du débit d'air mis en œuvre.

Cependant, il faut noter que les concentrations utilisées pour la détermination de cet indice sont réalisées en valeur relative (déterminées à un facteur multiplicatif près, à l'aide d'un photo-

mètre). Elles ne peuvent être utilisées en absolu pour une évaluation de l'exposition d'un opérateur aux poussières de bois.

## Appareillage utilisé

Pour la détermination des indices IA, on utilise trois photomètres de type Personal DataRam. En fonction de la direction du flux de poussière, ils sont placés en trois endroits autour de la machine à évaluer. Ces appareils délivrent un signal proportionnel à la concentration de poussière. Au cours des mesures d'une même configuration d'essai, la position de ces appareils ne devra plus changer pendant l'évaluation des trois concentrations.

## Protocole de mesure

- Installation de la machine à tester sur le robot d'usinage.
- Réglage de la vitesse de rotation machine et de la profondeur de passe.
- Installation de la pièce à usiner sur la table du robot (M.D.F. ou hêtre).
- Réglage sur le robot de la vitesse d'avance et du pas d'usinage.
- Réglage et contrôle du débit d'aspiration machine.
- Réglage et contrôle du débit de ventilation de la cabine.
- Contrôle de la vitesse d'air dans la cabine.
- Mesure de la concentration ambiante  $C_f$  : moyenne sur 3 min.
- Démarrage de l'usinage ; captage en service.
- Mesure de la concentration  $C_m$  avec les trois photomètres : moyenne sur 10 min.
- Mesure de la concentration  $C_a$ , usinage avec captage à l'arrêt : moyenne sur 5 min.

Pour une même configuration, la mesure des différentes concentrations est répétée trois fois.

## Évaluation de niveaux d'empoussièrement

## Appareillage utilisé

Les appareils de type CIP10 (cf. Figure 3) ont un débit de prélèvement

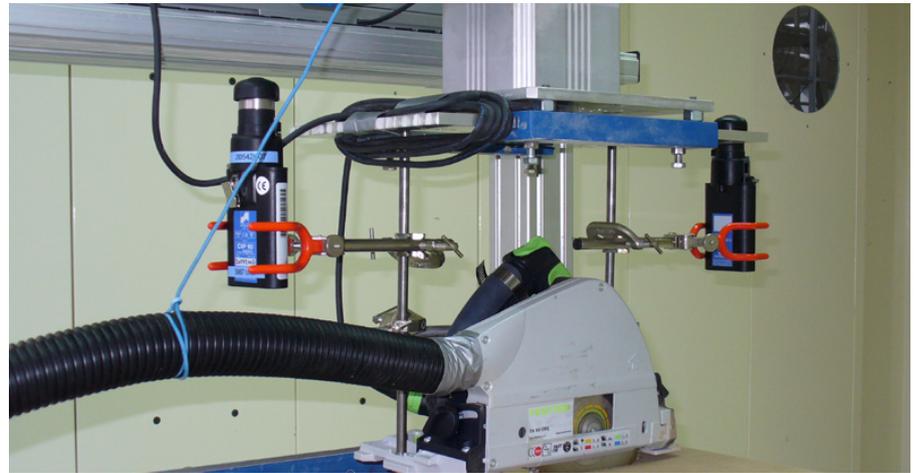
FIGURE 3

## CIP10



FIGURE 4

Position des appareils de prélèvements de poussières



de 10 l.min<sup>-1</sup>. Ils permettent de collecter une quantité de poussière suffisante pendant un temps relativement court pour réaliser une mesure de concentration précise [12].

**Méthode de mesure**

Ces mesures permettent d'évaluer un niveau d'empoussièrement dans l'environnement immédiat du poste de travail en fonction de l'efficacité de captage de la machine et du débit d'air mis en œuvre. Elles permettent une comparaison entre les différentes machines d'un même type.

Les appareils de prélèvement autonomes ont été utilisés dans les configurations d'essai sur robot d'usinage et sur opérateur.

Les CIP10 sont placés à l'avant et à l'arrière de la machine à tester sur le robot d'usinage ou sur l'opérateur (Cf Figure 4) et les prélèvements sont réalisés pendant des temps pouvant aller de 60 à 90 minutes.

Le calcul de la concentration est fonction de la masse collectée, du débit et du temps de prélèvement de l'appareil et des corrections induites par les filtres témoins.

Remarque : Les concentrations relevées au cours des prélèvements effectués avec les appareils CIP10 ne peuvent, en aucun cas, être comparées à la valeur limite d'exposition professionnelle aux poussières de bois stipulée dans la réglementation. En effet, la méthode et l'appareillage de mesure utilisés diffèrent des prescriptions de la norme.

**Protocole de mesure**

Les mousses nécessaires aux prélèvements de poussière sont d'abord conditionnées en salle climatisée pendant un temps minimum de 6 heures avant la pesée initiale. Pour chaque mousse destinée à un prélèvement, on associe trois mousses témoins permettant les corrections éventuelles dues essentiellement aux variations hygrométriques [11, 12].

La machine à tester étant fixée sur le robot et les paramètres d'usinage et de ventilation réglés, les deux CIP10 sont placés à l'avant et à l'arrière de la machine. Pendant toute la phase d'usinage, les appareils prélèvent la poussière en continu. A la fin de l'essai, les mousses sont retirées pour être à nouveau conditionnées avant la pesée finale.

**Evaluation des pertes de charge**

La perte de charge du dispositif de captage des machines a été mesurée à l'aide d'un manomètre AZ8205.

Coefficient sans dimension, il permet de qualifier la conception de la machine en termes de perte de charge indépendamment du débit :

$$K = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \left( \frac{Q}{\pi \cdot r^2} \right)^2}$$

- Δp : perte de charge singulière (Pa),
- ρ : masse volumique du fluide (kg.m<sup>-3</sup>),
- Q : débit de fluide (m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>),
- r : rayon de la section de passage (m).

A la différence des composants habituellement rencontrés dans les réseaux de ventilation, tels que les coudes, les registres et autres singularités, dont le diamètre est connu, il est difficile de définir une section de passage dans le cas de la géométrie complexe du captage des machines portatives. Une section de passage d'un diamètre de 40 mm a été choisie arbitrairement pour comparer les machines entre elles. Cette échelle de longueur permet de définir le nombre adimensionnel K sans ambiguïté.

Le coefficient ainsi défini est

$$Kc40 = \frac{2 \cdot \Delta p}{\rho \cdot \left( \frac{Q}{\pi \cdot 4 \cdot 10^{-4}} \right)^2}$$

L'expression sous forme de Kc40 présente l'avantage de fournir des valeurs facilement comparables des pertes de charge à des longueurs équivalentes de tuyau de diamètre 40 mm.

Le coefficient de perte de charge régulière d'un conduit lisse de diamètre 40 mm étant de 0,5, la valeur 2 x Kc40 donne un équivalent en mètre de conduit représentatif de la perte de charge du dispositif de captage.

Par exemple, une machine dont le coefficient Kc40 est de 10 aura le même effet que 20 mètres de conduit lisse de diamètre 40 mm raccordés au réseau d'aspiration.

**Débit d'air aspiré sur les machines**

Les différents débits d'air mis en œuvre sur les machines ont été mesurés

TABLEAU I

## Configurations d'essais

Machines	Outils	Vitesse rotation (tr.min <sup>-1</sup> )	Vitesse avance (m.min <sup>-1</sup> )	Type d'usinage	Configuration d'usinage	Matériau	Débits (m <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )
Scies circulaires	Lames de 160 et 230 mm	5 000	3	Non débouchant et débouchant	Sur robot d'usinage et avec opérateur	Hêtre et M.D.F.	80 / 175
Défonceuses	Fraise de Ø 15 mm et 38 mm	20 000	3	Rainurage moulurage	Sur robot d'usinage et avec opérateur	Hêtre et M.D.F.	80 / 175
Ponceuses	Disques abrasifs de 60 et 180	10 000	Manuelle	Ponçage à plat	Avec opérateur	Hêtre	70

à partir de la méthode normalisée par traçage hélium (EN 1093-4-96) [14]. Les sondages au tube de Pitot ont permis de vérifier la stabilité de ces débits au cours des essais.

## TABLEAU DES CONFIGURATIONS D'ESSAIS

Les matériaux usinés sont le hêtre et le MDF (medium density fiberboard). Pour les scies circulaires et les défonceuses, deux débits de captage ont été testés : la valeur recommandée de 175 m<sup>3</sup>/h et une valeur réduite de 80 m<sup>3</sup>/h. La comparaison des performances associées permet d'avoir une indication sur l'influence de ce paramètre. Pour des raisons techniques, les ponceuses ont été testées en laboratoire avec un débit d'aspiration de 70 m<sup>3</sup>/h bien que le débit généralement recommandé sur le terrain soit de 80 m<sup>3</sup>/h (cf. *Tableau I*).

Dans certaines configurations, des mesures d'indice d'assainissement et d'empoussièrement ont été effectuées, sur le robot d'usinage et avec un opérateur, afin de vérifier la corrélation entre les résultats.

## RÉSULTATS DES ESSAIS EN LABORATOIRE

## LES SCIES CIRCULAIRES

Les essais réalisés sur les huit modèles de scie électroportative mettent en évidence les faibles performances de ces machines en matière d'efficacité de captage des poussières. Si l'on considère que l'indice d'assainissement d'une machine doit être supérieur à 0,85, un seul modèle répond à ce critère (cf. *Figures 5 et 6*). Ce modèle

FIGURE 5

## Indices d'assainissement ; lames de 160 mm - Sciage non débouchant sur robot d'usinage

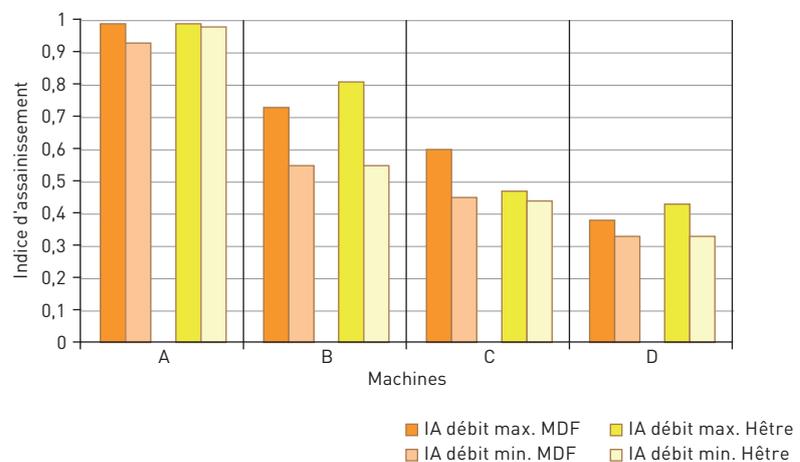
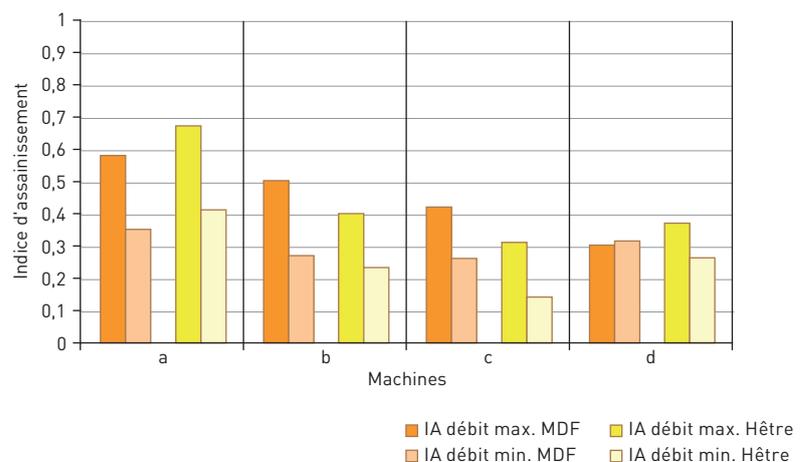


FIGURE 6

## Indices d'assainissement ; lames de 230 mm - Sciage non débouchant sur robot d'usinage



dispose d'un système de captage bien conçu qui permet de conserver un indice d'assainissement acceptable même avec un débit inférieur au débit recommandé ( $175 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Il faut cependant noter que l'indice d'assainissement perd entre 10 et 15 % de sa valeur lorsque l'on effectue du sciage débouchant (cf. *Tableau II*). Par ailleurs, plusieurs scies présentent des circuits aérauliques compliqués et des buses d'aspiration mal implantées à l'origine de pertes de charge élevées et qui ne permettent pas la mise en œuvre du débit minimal (cf. *Figure 7*).

L'amélioration de l'efficacité de captage des poussières sur la plupart des scies circulaires nécessite de réétudier la géométrie du capotage des lames afin de le rendre plus enveloppant. C'est notamment le cas de la partie avant où les poussières entraînées par les dents de la lame sont très mal captées et se dispersent dans l'environnement du poste de travail.

## LES DÉFONCEUSES

Les différents modèles de défonceuse testés sur robot d'usinage présentent de bonnes performances de captage mis à part une machine dont l'indice d'assainissement se situe juste à la limite de 0,85. Par contre, on observe des niveaux d'empoussièrément élevés dans l'environnement proche de l'opérateur lorsque celui-ci utilise les machines C et D (cf. *Figures 8 et 9*). Il apparaît que la mise en place du guide de la machine nécessaire pour les opérations d'usinage manuelles perturbe l'écoulement des poussières et réduit l'efficacité du dispositif de captage.

D'autre part, on constate que le flux d'air nécessaire au refroidissement du moteur de certaines machines est dirigé à grande vitesse (parfois proche de  $30 \text{ m.s}^{-1}$ ) vers la pièce en usinage et remet en suspension les poussières déposées sur celle-ci.

Les pertes de charge relevées sur certaines défonceuses sont trop élevées limitant le débit d'air aspiré, débit qui, en aucun cas, ne devrait être inférieur à  $175 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$  (cf. *Figure 10*).

Les dispositifs de captages implantés sur ces machines sont trop fragiles et risquent d'être détériorés rapidement. Dans certains cas, la position des buses

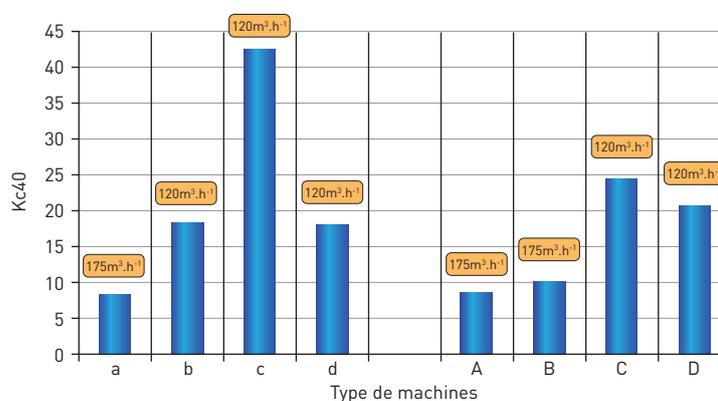
**TABLEAU II**

Comparaison des IA et des empoussièrément entre sciage de MDF non débouchant et sciage débouchant pour les machines performantes a et A

Machine	IA	Niveau moyen d'empoussièrément proximité machine ( $\text{mg.m}^{-3}$ )	Niveau empoussièrément vers opérateur ( $\text{mg.m}^{-3}$ )
(a) Sciage non débouchant	0,99	0,20	
(a) Sciage débouchant	0,85	0,3	0,40
(A) Sciage non débouchant	0,57	4,2	
(A) Sciage débouchant	0,61	3,2	8,9

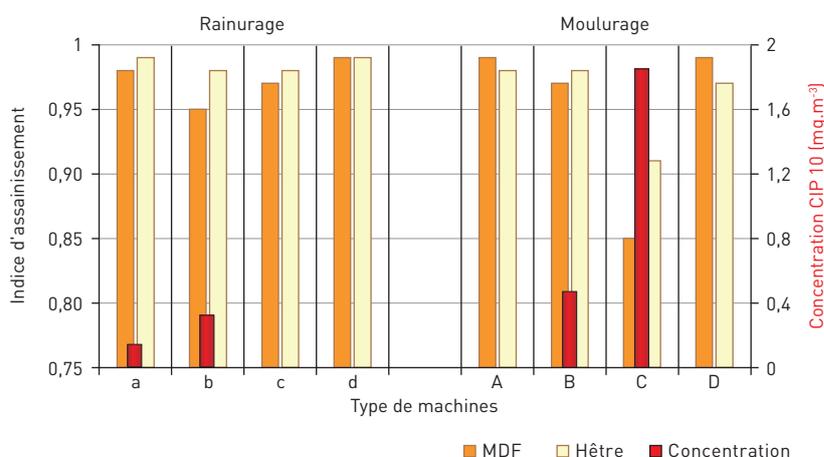
**FIGURE 7**

Pertes de charge des scies circulaires



**FIGURE 8**

Indices d'assainissements des défonceuses - Ensemble des opérations de rainurage (a, b, c, d) et de moulurage (A, B, C, D) sur robot d'usinage



de raccordement du conduit souple d'aspiration peut entraîner une gêne importante pour l'opérateur.

## LES PONCEUSES

Les trois ponceuses orbitales a, b et c raccordées à un réseau d'aspiration et testées manuellement dans la configuration de ponçage à plat présentent de

FIGURE 9

Grosses défonceuses - Indices d'assainissement et niveaux d'empoussièremment au voisinage de l'opérateur - Opération manuelle de moulurage de MDF

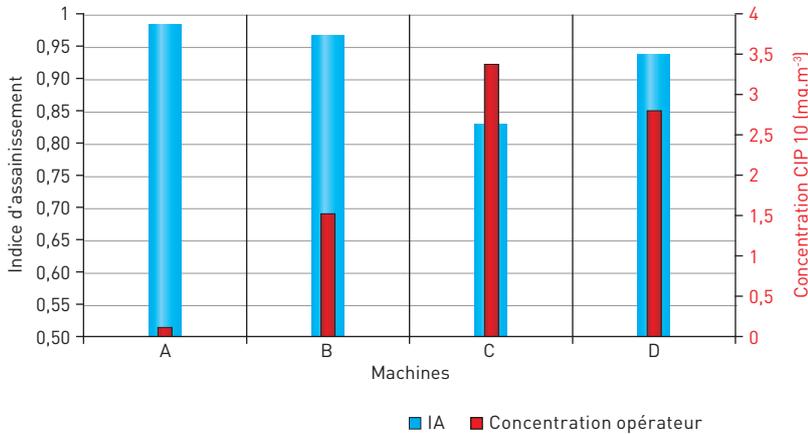


FIGURE 12

Pertes de charge ponceuses

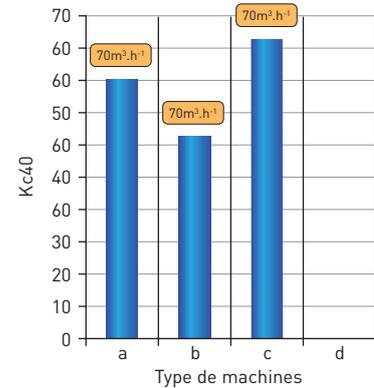
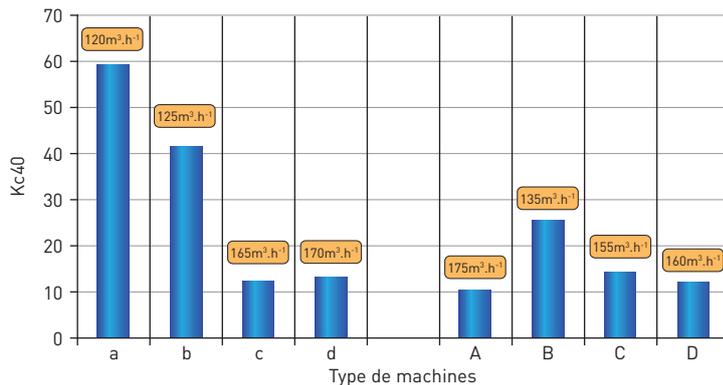


FIGURE 10

Pertes de charge des défonceuses

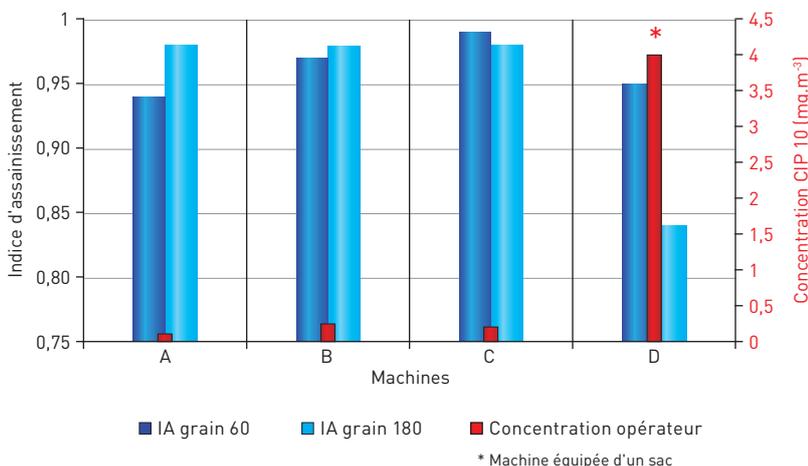


bonnes performances de captage. Ces résultats sont corroborés par les niveaux d'empoussièremment relevés dans l'environnement de l'opérateur (cf. Figure 11). Malgré des pertes de charge élevées qu'il conviendrait de réduire en rééduquant les circuits aérauliques, le débit d'air initial a pu être mis en œuvre (cf. Figure 12). Afin de conserver des performances de captage optimales, ce débit d'air ne devra en aucun cas être inférieur à 70 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.

Par contre, l'utilisation d'une ponceuse équipée d'un simple sac en tissu pour la collecte des poussières est à proscrire. En effet, les particules les plus fines ne sont pas retenues et se dispersent dans l'environnement proche de l'opérateur.

FIGURE 11

Indices d'assainissement - Ponçage manuel à plat sur panneau de hêtre



## ESSAIS EN ENTREPRISES

Les essais en entreprises ont pour objectif de mesurer les niveaux d'exposition des opérateurs en situation habituelle de travail avec les outils électroportatifs testés en laboratoire les plus performants, à savoir :

- deux ponceuses (B et C),
- une scie circulaire de diamètre 160 (a),
- une scie circulaire de diamètre 230 (A),
- une défonceuse (D).

## CHOIX DES ENTREPRISES

Le choix des entreprises s'est opéré sur la base des critères suivants :

- existence d'un partenariat sous forme de contrat de prévention,
- existence d'une centrale haute dépression,
- effectif de l'entreprise représentatif de l'ensemble des entreprises bretonnes.

De plus, les entreprises choisies sont réparties à parts égales entre les CTN (Comités techniques nationaux) B et F et sont localisées dans différents départements pour sensibiliser la profession. Le *Tableau III* donne le panel des entreprises choisies.

## STRATÉGIE D'INTERVENTION

### Mise en œuvre

Pour l'ensemble des essais, toutes les machines ont été raccordées soit à un boîtier d'un réseau haute-dépression (cf. *Figure 13*), soit à un aspirateur industriel mobile à haute dépression NILFISK série IW/ID 2050 (cf. *Figure 14*) possédant les caractéristiques suivantes : dépression de 24,5 KPa et débit d'air 270 m<sup>3</sup>/h. Le réglage des différents débits d'air a été réalisé au moyen d'une trappe manuelle sur le boîtier du réseau à haute dépression ou la mise en place d'un serrage sur le conduit de raccordement à l'aspiration mobile. Pour obtenir les débits d'aspiration retenus pour l'évaluation des performances de captage, il a fallu, dans certains cas, remplacer les conduits souples de diamètre intérieur 27 mm reliant les outils électroportatifs aux centrales haute dépression mobiles ou fixes par des conduits souples de diamètre intérieur 40, voire 49 mm.

### Prélèvements de poussières

Pour chaque test, des prélèvements d'atmosphère ont été faits :

- au niveau des voies respiratoires de l'opérateur,
- à proximité du poste testé,
- à un point plus éloigné du poste pour mesurer la pollution résiduelle, lorsque la configuration le permettait.

Cette campagne a donné lieu à 22 prélèvements individuels et à 44 prélèvements à point fixe.

TABLEAU III

### Panel d'entreprises choisies

Entreprise visitée	Département	CTN	Effectif atelier	Fabrication
1	56	B	4	Menuiserie Aluminium, bois, PVC
2	29	B	10	Fabrication et pose escaliers
3	56	B	4	Charpente et maisons ossature bois
4	29	B	30	Charpente et pose bâtiment d'élevage
5	22	B	2	Charpente
6	22	I	9	Charpente / bois lamellé collé
7	56	F	24	Abris de jardin
8	22	F	20	Fabrication de portes et portails
9	22	F	28	Fabrication et pose d'escaliers
10	29	F	30	Fabrication de fenêtres
11	56	F	25	Fabrication escaliers
12	56	F	8	Agencement
13	22	I	35	Fabrication marches

CTN B : Industries du bâtiment et des travaux publics

CTN F : Industries du bois, de l'ameublement, du papier-carton, du textile, du vêtement, des cuirs et peaux, des pierres et terres à feu

CTN I : Activités de services II et travail temporaire.

FIGURE 13

### Boîtier de raccordement au réseau haute dépression de l'entreprise



FIGURE 14

### Raccordement à un aspirateur haute dépression



Les durées d'échantillonnage se situent, pour la majorité des cas, entre 2 heures et 5 heures. Pour trois configurations, compte tenu de la charge de travail, la durée des prélèvements a été

limitée à 1 heure et 1 heure 40. Pour la comparaison avec la valeur limite, on a supposé que l'activité du salarié était similaire dans la période non échantillonnée.

TABLEAU IV

## Configurations d'essais sur le terrain

Outil testé	N° du test	Descriptif du poste
Ponceuse A disque abrasif 80	1	Montage d'escalier en bois brut avec utilisation d'une ponceuse à bande et d'une cale à poncer
	2	Ponçage de montants d'huissierie en bois brut
Ponceuse A disque abrasif 180	3	Ponçage de planches en médium avec utilisation d'une cale à poncer
	4	Ponçage de cadres de menuiserie en bois brut avec utilisation d'une cale à poncer
Ponceuse A disque abrasif 100	5	Montage et finition de portes en bois brut avec opérations de collage, cloutage et ponçage à la cale
Ponceuse A disque abrasif 80	6	Montage d'escalier en bois brut avec utilisation d'une cale à poncer et d'une agrafeuse
Ponceuse B disque abrasif 80	7	Montage d'escalier en bois brut avec utilisation d'une cale à poncer et d'une agrafeuse
Ponceuse B disque abrasif 180	8	Ponçage de planches en médium avec utilisation d'une cale à poncer
	9	Fabrication de parcloses en bois brut avec utilisation d'une perceuse, d'une entailleuse et d'une scie circulaire
Ponceuse B disque abrasif 100	10	Montage et finition de portes en bois brut avec opérations de collage, cloutage et ponçage à la cale
Ponceuse B disque abrasif 60	11	Postes de finition d'arrondis de marche en bois brut
Scie diamètre 160	12	Montage sur tréteaux de crémaillères en bois brut sur plinthe en aggloméré avec utilisation d'une ponceuse à bande, d'une cale à poncer, d'une clouteuse pneumatique et d'une visseuse
	13	Découpe de planches en bois brut sur tréteaux pour la fabrication de 15 escaliers avec prise de côtes, sciage et manutention
	14	Simulation d'une activité de découpe de panneaux en aggloméré sur établi
	15	Découpe sur panneaux aggloméré sur établi. Après la coupe l'opérateur casse les arêtes au papier de verre et coupe les chutes à la scie verticale
Scie diamètre 230	16	Tronçonnage au sol de planches en bois brut de section 34mm
	17	Tronçonnage de volige en pin sur établi
	18	Tronçonnage d'éléments de charpente en pin sur établi
	19	Fabrication et assemblage au sol d'une ferme en pin
	20	Fabrication d'aiguille de chalet en pin avec cloutage et manutention
	21	Tronçonnage de pannes de 70 X 220 mm en sapin sur tréteaux
Défonceuse	22	Défonçage de 48 équerrés sur 12 portes en pin posées sur des tréteaux

Seuls les prélèvements au niveau des voies respiratoires de l'opérateur sont exploités dans cet article. Par contre, en *Annexe*, pour tous les points de prélèvement, on compare la concentration évaluée à partir d'une collecte des poussières sur cassette fermée et à l'aide d'un CIP10.

### MATÉRIELS ET MÉTHODES D'ESSAIS EN ENTREPRISE

#### Mesure du débit d'aspiration

Les différents débits d'air mis en œuvre sur les machines ont été déterminés par la mesure de la pression dynamique et de la pression statique relative, au centre et en un point d'un conduit

lisse de longueur 1 m de diamètre 43 mm à l'aide d'un tube de Pitot raccordé à deux manomètres KIMO (tube de Pitot de diamètre 2,3 mm, manomètre KIMO types MP101 et MP105) [16]. Les sondages au tube de Pitot ainsi que le suivi en continu de la pression statique relative ont permis de vérifier la stabilité de ces débits au cours des essais et de corriger éventuellement les réglages.

#### Prélèvement d'atmosphère

Deux méthodes ont été utilisées :

■ prélèvements par pompage sur filtre de quartz suivant la norme X 42-257 ; cette méthode est celle retenue lors de l'établissement de la valeur limite réglementaire [13] ;

■ prélèvement par coupelle rotative à l'aide de CIP10 équipé de tête inhalable (première génération) [12].

En règle générale, les concentrations obtenues avec la coupelle sont plus élevées qu'avec le filtre. Les écarts entre les deux échantillonneurs s'aggravent lorsque la taille des particules augmente. Cette technique a été faite en parallèle pour palier à un éventuel manque de sensibilité de la première méthode en cas d'empoussièrement trop faible (*cf. Annexe*).

Pour ces deux méthodes, la détermination de la concentration en poussières de bois se fait par gravimétrie (pesée du filtre ou de la mousse) [11].

## RÉSULTATS DES ESSAIS DE TERRAIN

Pour chaque type de machine, un graphique reprend pour chaque test l'exposition professionnelle du salarié utilisant l'équipement, le débit d'aspiration mis en œuvre et le taux d'utilisation de la machine durant la phase de prélèvement. Ce dernier paramètre représente la fraction du temps de prélèvement durant laquelle l'opérateur utilise la machine portative testée. Chaque test est répertorié par son numéro (*cf. Tableau IV*).

## SCIE CIRCULAIRE LAME 160 MM

Les niveaux d'exposition se situent entre 0,6 et 3 fois la VME (cf. Figure 15). L'exposition la plus faible (cas n°13) a été obtenue lors d'une activité de découpe soutenue sans pollution parasite. A ce poste, l'opérateur coupait les planches une par une sur des tréteaux et disposait d'un palonnier à ventouse pour manutentionner les planches, la scie étant maintenue à une potence par un système de câble (cf. Figure 16).

Dans les cas n°14 et n°15, l'opérateur découpait des panneaux en aggloméré superposés les uns sur les autres, les poussières non captées se déposaient sur le panneau du dessous et étaient remises en suspension par les mouvements d'air provoqués par la scie (cf. Figure 17). Pour le cas n°12, l'activité de découpe était très faible et les pollutions parasites importantes notamment par l'utilisation de ponceuses non équipées de système captage et d'une clouteuse pneumatique.

## SCIE CIRCULAIRE LAME 230 MM

Les niveaux d'exposition se situent entre 0,3 et 1,6 fois la VME (Valeur limite de moyenne d'exposition) (cf. Figure 18). L'exposition la plus faible (cas n°21) a été obtenue lors d'une activité de tronçonnage d'angle de pannes de 70 X 220 en sapin humide (les pannes transitaient par un bac de traitement aqueux avant la découpe). L'utilisation de la scie était peu soutenue (10 % du temps de travail).

FIGURE 15

Exposition professionnelle scie circulaire lame 160 mm

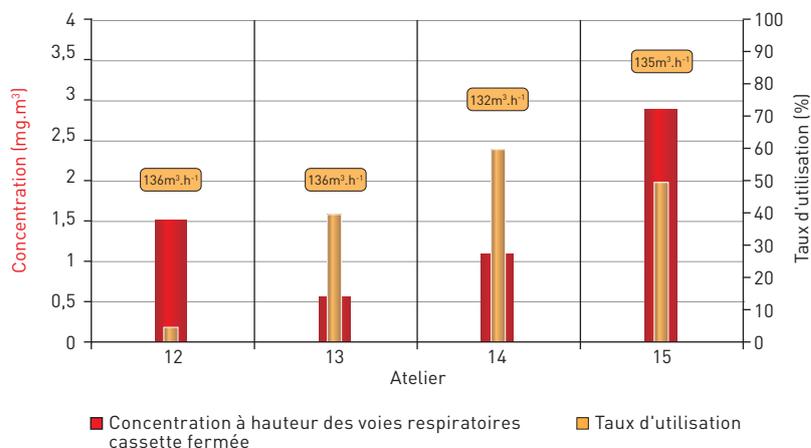


FIGURE 16

Cas 13 découpe sur tréteaux



FIGURE 17

Cas 14 et 15 découpe de planches superposées



FIGURE 18

Exposition professionnelle scie circulaire lame 230 mm

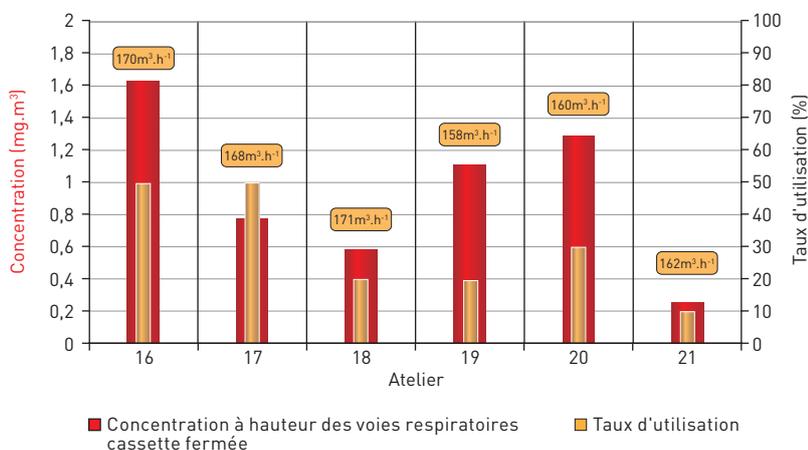


FIGURE 19

Cas n°16 tronçonnage au sol de planches en bois brut



FIGURE 20

## Exposition professionnelle ponceuse B

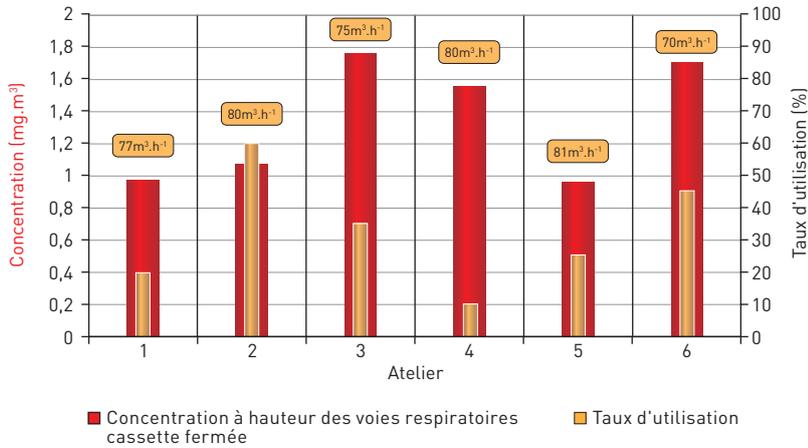
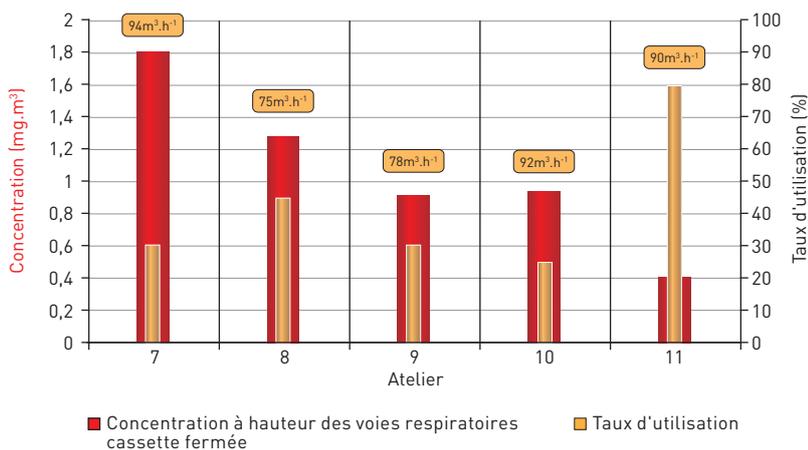


FIGURE 21

## Exposition professionnelle ponceuse C



L'exposition la plus élevée a été obtenue lors de la découpe d'escalier au sol (cas 16). Dans cette configuration, les planches étaient superposées les unes sur les autres comme dans les cas n°14 et n°15 étudiés pour la scie diamètre 160.

Dans les cas n°17, n°18 et n°19, qui correspondent au tronçonnage d'éléments de charpente, l'exposition la plus élevée a également été obtenue sur l'opérateur travaillant au sol (cf. Figure 19).

Les différences relevées entre les deux scies (lame 160 mm ou 230 mm) ne peuvent être interprétées en termes d'efficacité de captage puisque les configurations rencontrées n'étaient pas comparables. En effet, la scie de plus grand diamètre a été le plus souvent testée dans l'activité charpente où les temps de coupe sont plus faibles (plus de tronçon-

nage que de délignage) et l'humidité du bois plus importante.

L'exposition est très nettement majorée lorsque les pièces à couper sont superposées.

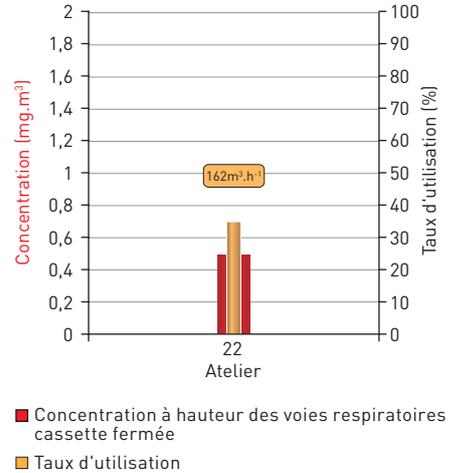
## PONCEUSE B

Les niveaux d'exposition se situent entre 0,9 et 1,8 fois la VME (cf. Figure 20). Dans le cas n°2, où l'outil testé a été le plus utilisé sans pollution parasite, l'exposition atteint 1,1 fois la VME. Dans le cas n°5, où l'outil testé représentait le quart du temps de travail avec peu de pollution parasite, l'exposition atteint 0,9 fois la VME.

Pour les autres cas, les résultats ont été majorés par une utilisation impor-

FIGURE 22

## Exposition professionnelle défonceuse D



tante de la cale à poncer et, pour le cas n°6, par la mise en œuvre d'une agrafeuse pneumatique qui remettait en suspension les poussières déposées sur la pièce.

## PONCEUSE C

Les niveaux d'exposition se situent entre 0,4 et 1,8 fois la VME (cf. Figure 21). L'exposition la plus faible a été obtenue lors du ponçage d'arrondi d'escalier en hêtre (cas n°11). La ponceuse était le seul outil mis en œuvre, uniquement à plat et sans pollution parasite.

Dans les cas n°9 et n°10, les expositions restent inférieures à la VME pour une activité de ponçage assez soutenue (environ le tiers du temps) et peu de pollution parasite.

Pour les autres cas, les résultats ont été majorés par une utilisation importante de la cale à poncer et, pour le cas n°7, par la mise en œuvre d'une agrafeuse pneumatique qui remettait en suspension les poussières déposées sur la pièce.

Pour les deux ponceuses, l'efficacité du captage est diminuée lors du ponçage de chants.

## DÉFONCEUSE D

Dans le cas rencontré où l'activité de défonçage était soutenue sans pollution parasite, l'exposition de l'opérateur ne dépasse pas 50 % de la VME (cf. Figure 22).

## CONCLUSION

Les essais ont porté sur trois types de machines (scies circulaires, défonceuses et ponceuses orbitales), deux types d'outils par machine et deux types de matériaux (hêtre ou MDF). Les matériels de quatre fournisseurs ont été comparés : une quarantaine de configurations a été évaluée en laboratoire.

Les principaux résultats de l'étude sont résumés dans ce qui suit.

Une seule scie circulaire sur huit, équipée d'une lame plongeante, possède de très bonnes performances de captage. Dans la majorité des cas, la conception des capots de protection aspirants est à réétudier.

Malgré des pertes de charge importantes limitant les débits d'aspiration sur certaines machines, les petites défonceuses présentent de bonnes performances de captage. Par contre, même avec des débits d'aspiration élevés, trois grosses défonceuses sur quatre génèrent des niveaux d'empoussièrement trop importants.

Trois ponceuses orbitales sur quatre possèdent des dispositifs de captage satisfaisants. Une seule machine était équipée d'un simple sac de collecte des poussières et ne pouvait être reliée au réseau à haute dépression, situation à proscrire. L'exposition importante de l'opérateur utilisant ce matériel met en évidence la migration des fines particules à travers le sac.

Un seul constructeur a pris en compte de manière satisfaisante la prévention de l'exposition aux poussières de bois sur la quasi-totalité de son matériel.

Des essais en entreprises ont été effectués pour évaluer l'exposition professionnelle de salariés utilisant les matériels les plus performants identifiés durant la phase de laboratoire. Les prélèvements individuels ont été réalisés sur 22 salariés de 13 menuiseries de bâtiment : fabrication de charpentes, de portes, d'escaliers, etc.

Dans les situations où de bonnes pratiques professionnelles ont été respectées - absence de pollution parasite issue d'autres machines peu performantes sur le plan du captage, usinage de matériaux non empoussiérés, nettoyage fréquent des ateliers à l'aide d'un système centralisé d'aspiration, utilisation exclusive d'outils aspirants (cales à poncer aspirantes, par exemple) - l'exposition professionnelle mesurée variait de 0,4 VLEP à 1,1 VLEP pour les opérations de ponçage et de 0,6 VLEP à 1,3 VLEP pour le sciage (VLEP =  $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

Tous les résultats de l'étude sont conditionnés par le respect des débits d'aspiration recommandés pour chaque type de machine (80  $\text{m}^3/\text{h}$  pour les ponceuses, 175  $\text{m}^3/\text{h}$  pour les défonceuses et les scies circulaires). Ces débits ne peuvent être assurés durant toute la période de travail qu'à condition d'utiliser des aspirateurs industriels performants et régulièrement nettoyés. La puissance de ces matériels doit leur permettre de

produire en dynamique un débit d'aspiration de 200  $\text{m}^3/\text{h}$  pour une dépression de 15 000 à 20 000 Pa.

Pour chaque type de machine, des pistes de progrès ont été identifiées et communiquées aux représentants des fabricants de matériel (Fédération des entreprises internationales de la mécanique et de l'électronique) : prévoir des dispositifs de captage plus enveloppants, améliorer la conception et l'implantation des buses ou orifices de raccordement de ces machines au réseau d'aspiration, optimiser l'aérodynamique du circuit d'aspiration pour réduire les pertes de charges, renforcer la résistance mécanique du dispositif de captage.

Des travaux de normalisation devraient être entrepris pour imposer au minimum un étiquetage des machines avec une indication de la valeur du débit d'aspiration recommandé et de la perte de charge associée et pour uniformiser les valeurs des diamètres des conduits de raccordement au réseau d'aspiration.

Cette étude a permis de vérifier que la nouvelle contrainte réglementaire concernant l'exposition professionnelle aux poussières de bois est un objectif atteignable à condition d'observer des pratiques professionnelles rigoureuses et d'utiliser le matériel le plus performant actuellement disponible.

Reçu le : 02/09/2009

Accepté le : 20/10/2009

## BIBLIOGRAPHIE

[1] Directive européenne 1999/38/CE du 29 avril 1999 - Protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérogènes au travail. Journal Officiel des Communautés Européennes, n° L 138 du 1er juin 1999, pp. L66-L69.

[2] Décret n° 2003-1254 du 23 décembre 2003 relatif à la prévention du risque chimique et modifiant le Code du Travail.

[3] Les poussières au coin du bois. INRS, 2004, ED 729.

[4] Poussières de bois. Prévenir les risques. INRS, 2006, ED 974.

[5] VINCENT R., DEMANGE V., GÖRNER P., FONTAINE B., MUR J.M., LESEUX B., DESSAGNE J.M., BERNARDÉ A. - Exposition professionnelle aux poussières de bois : évaluation et gestion des risques. Congrès international « Wood Dust », Strasbourg, 2006. DMT 109 (2007) pp. 61-65.

[6] Guide Pratique de Ventilation n° 12 - Deuxième transformation du bois. INRS, 2001, ED 750.

[7] Conception des dispositifs de captage sur machines à bois. INRS, 2001, ED 841.

[8] Poussières de bois - Guide de bonnes pratiques en deuxième transformation du bois. INRS, 2006, ED 978.

[9] REGNIER R., BRACONNIER R., AUBERTIN G. - Efficacité des dispositifs de captage intégrés aux machines portatives. INRS, Hygiène et Sécurité au Travail, Cahiers de Notes Documentaires, ND 1681-131-88.

[10] Norme NF EN 1093-11 - Sécurité des machines - Evaluation de l'émission de substances dangereuses véhiculées par l'air - Mesure de l'indice d'assainissement.

[11] Fiche MétroPol 085 - Concentration pondérale d'un aérosol, INRS (2009).

[12] Fiche MétroPol 02 - Concentration pondérale d'un aérosol sur mousse tournante (CIP10), INRS (2009).

[13] NF X 43-257 - Air des lieux de travail - Prélèvement d'aérosol à l'aide d'une cassette « fermée » (orifice 4 mm). Paris-La Défense, AFNOR, février 2008, 12 p.

[14] AFNOR NF NF X10-141 - Mesurage de débit de gaz dans les conduites fermées - Méthodes par traceurs - Partie 1 : généralités. Novembre 1982, 11 p.

[15] AFNOR NF X 10-112 - Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées - Méthode d'exploration du champ des vitesses pour des écoulements réguliers au moyen de tubes de Pitot doubles. Septembre 1977, 47 p.

[16] AFNOR NF X10-113 - Détermination du débit des fluides dans les conduites fermées de section circulaire - Méthode par mesure de la vitesse en un seul point. Novembre 1982, 12 p.

## Annexe

### COMPARAISON DES CONCENTRATIONS EN POUSSIÈRES ÉVALUÉES PAR PRÉLÈVEMENT SUR CASSETTE FERMÉE ET PAR CIP10

Pour chaque point de prélèvement, deux méthodes de prélèvement ont été utilisées (les deux systèmes étant placés à proximité l'un de l'autre) :

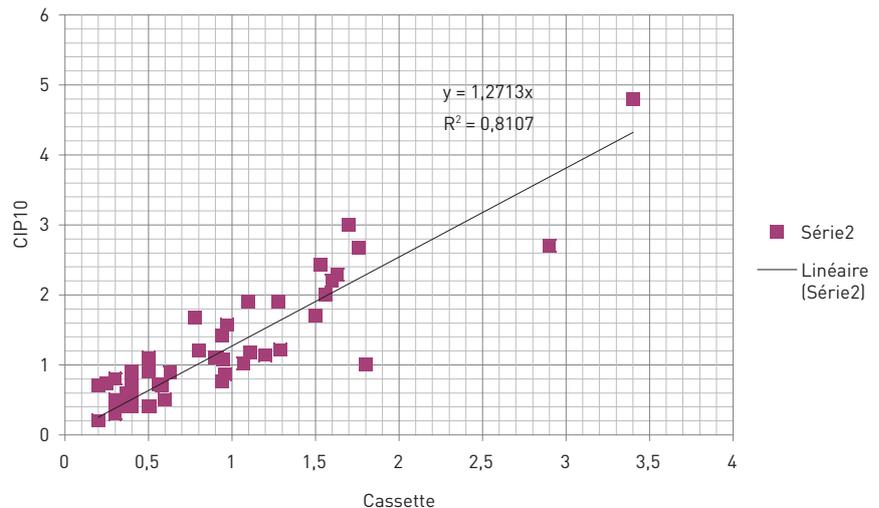
■ prélèvements par pompage sur filtre de quartz suivant la norme X 42-257 ; cette méthode est celle qui a été retenue lors de l'établissement de la valeur limite réglementaire ;

■ prélèvement par coupelle rotative à l'aide de CIP10 équipé de tête inhalable (1e génération).

En règle générale, les concentrations obtenues avec la coupelle sont plus élevées qu'avec le filtre. Les écarts entre les deux échantillonneurs s'aggravent lorsque la taille des particules augmente. Le but de cette annexe est de fournir la comparaison des résultats issus de ces deux méthodes.

FIGURE A1

Comparaison des concentrations en poussières de bois obtenues par CIP10 (C(CIP10)) et cassette fermée (C(cassette))



Une relation linéaire entre les deux réponses a été recherchée et elle est du type  $C(CIP10) = 1,27 C(cassette)$  (cf. Figure A1).

Le coefficient de corrélation  $R^2$  vaut 0,81. L'intervalle de confiance à 95 % de la pente est  $1,18 < \text{Pente} < 1,37$ .