

Dispositifs de captage intégrés aux machines à bois

Evaluation des performances et aide à la conception

J.M. DESSAGNE, J.P. MULLER, J.C. L'HUILLIER

Institut National de Recherche et de Sécurité, Centre de Lorraine, Avenue de Bourgogne,
54501 Vandoeuvre Cedex, France

Nature des risques

Les poussières produites lors des opérations usuelles de travail mécanique du bois, telles que sciage, fraisage, perçage ou ponçage, ne sont généralement pas captées en totalité par les dispositifs intégrés aux machines et peuvent donc être dispersées dans les ateliers. Elles sont à l'origine de pathologies respiratoires telles que des cancers des voies respiratoires supérieures (ethmoïde et fosses nasales) ou des lésions définitives graves (fibrose pulmonaire) lorsqu'elles sont inhalées par les opérateurs ou de pathologies de type allergique (eczéma et asthme).

En France, l'ensemble de ces affections est reconnu dans le tableau 47 des maladies professionnelles. Une Directive Européenne du 29 avril 1999 classe les poussières de bois durs (chêne, hêtre, ...) dans la catégorie des agents cancérogènes et fixe une valeur limite de moyenne d'exposition à 5 mg.m^{-3} [1]. Il s'agit toutefois d'une valeur plafond réglementaire ; en France, une valeur limite recommandée a été fixée à 1 mg.m^{-3} depuis 1997 [2]. Ces valeurs s'entendent pour la fraction inhalable au sens de la norme EN 481.

Mesures de prévention

La ventilation générale du local employée seule est une solution de protection collective largement insuffisante. Il est nécessaire de faire appel à des solutions d'encoffrement des machines ou de captage à la source à condition toutefois d'investir dans des études de conception des dispositifs de captage répondant aux spécificités des différentes familles de machines et d'adaptation pour les différents modèles d'une même famille. L'intégration dès la conception est la démarche à privilégier, mais elle ne s'applique qu'aux machines neuves.

Outre la satisfaction des exigences d'hygiène, un dispositif de captage correctement conçu devrait permettre d'améliorer les conditions de travail et la qualité de la production ainsi que, dans la plupart des cas, de réduire à performances égales, voire améliorées, les débits d'extraction et donc

les consommations de chauffage de l'air neuf de compensation. De plus, d'autres ordres de préoccupation doivent être pris en considération tels sécurité mécanique, ergonomie et, dans une moindre mesure, acoustique.

Critères d'évaluation

Evaluation de l'exposition

L'exposition des travailleurs a fait l'objet de nombreuses évaluations par prélèvement ambulateur ou à poste fixe et mesurage de concentrations en poussières inhalables. Bien que des progrès aient pu être constatés ces dix dernières années essentiellement grâce à la mise en place de dispositifs de captage et à l'amélioration de leurs performances, il convient de poursuivre dans cette voie, notamment en agissant sur les familles de machines fortement émettrices.

Certes, l'objectif final est bien l'obtention d'un niveau d'exposition au poste inférieur à la valeur limite et le critère de concentration dans l'air est donc pertinent pour répondre aux préoccupations d'hygiène. Cependant, de nombreux facteurs autres que ceux caractérisant les sources d'émission, et donc non spécifiques aux machines, exercent une influence sur ce critère. On peut citer le schéma d'écoulement de l'air et des poussières autour des machines et dans l'atelier, le comportement de l'opérateur, les conditions de maintenance des machines et de l'installation de ventilation, les émissions provenant d'autres machines que celle en examen. Seuls des critères intrinsèques à la machine peuvent être utilisés dans l'établissement d'exigences vis-à-vis de son constructeur.

Evaluation des performances de captage

Des critères intermédiaires, intrinsèques à une machine donnée, sont donc nécessaires pour une quantification de l'effet des actions de maîtrise des émissions sur cette machine. Le débit d'émission - c'est-à-dire la quantité de poussière émise par unité de temps et non une concentration en un point, aussi judicieuse que soit sa position - est un critère pertinent. Toutefois, sa détermination est généralement délicate puisqu'elle exige une enceinte d'essai dédiée et un personnel compétent dans ce domaine de mesurage (EN 1093-3). S'y ajoute, dans le cas particulier des machines à bois, une collecte incomplète des particules les plus grossières. Un autre critère, basé sur les performances des dispositifs de captage, peut être caractérisé au moyen des deux paramètres suivants :

- l’efficacité de captage mesurée par une technique de traçage gazeux. Elle est définie comme le rapport du débit-masse de poussières véhiculées par l’air et directement captées au débit-masse total de ces poussières émises par la machine ;
- l’indice d’assainissement défini comme le gain apporté par le fonctionnement du dispositif de captage (exprimé en écart de concentrations de poussière) rapporté à la concentration en l’absence d’aspiration, avec correction éventuelle du niveau résiduel. Cet indice se calcule suivant :

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

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

- C_a : machine en fonctionnement, aspiration arrêtée ;
- C_m : machine en fonctionnement, aspiration en marche ;
- C_f : machine et aspiration arrêtées.

Les méthodes de mesurage de ces paramètres sont décrites dans deux normes européennes récemment publiées en accompagnement de la Directive Européenne « Machines » [3, 4].

Paramètre d’évaluation et méthode de détermination

Les caractéristiques d’émission de poussière des machines à bois présentent certaines particularités rappelées ci-dessous :

- vitesse initiale élevée pouvant dépasser 100 m.s^{-1} pour certains outils rotatifs ;
- forte proportion de particules grossières (supérieures à $10 \mu\text{m}$) ;
- émission secondaire, par exemple au deuxième débouché de la fente d’une lame de scie circulaire ;
- ré-entraînement par l’outil, par exemple dans la denture d’une lame de scie à ruban.

Il en résulte que **la technique de traçage gazeux** est inadaptée dans la plupart des cas, puisque les deux hypothèses sur lesquelles repose sa validité - identité de génération du traceur et des poussières de bois et similarité de comportement aérodynamique - ne peuvent pas être respectées.

L'indice d'assainissement a alors été adopté par l'INRS dans le cadre d'études traitant du captage sur une dizaine de machines à bois. Cet outil d'évaluation s'est avéré pertinent pour classer les dispositifs existants, ainsi que les prototypes mis au point, ou pour quantifier l'effet des modifications apportées. Il est basé, comme indiqué ci-dessus, sur des mesures de concentrations en poussière de bois en un (ou plusieurs) point(s) autour de la machine et sur le calcul d'un rapport de ces concentrations. Toute confusion avec une évaluation de l'exposition est évitée grâce à l'emploi de concentrations relatives. Les mesurages peuvent être effectués soit par prélèvement sur filtre et pesée, soit par méthode directe (photomètre, compteur de particules). Dans ce dernier cas, la méthode est simple et ne nécessite pas d'étalonnage préalable de l'analyseur. Les résultats sont obtenus en une demi-heure. Ce paramètre a été utilisé dans l'exemple de la défonceuse présenté ci-après.

Méthodologie de conception

Guide d'aide à la conception

Les particularités de l'émission de poussière sur les machines à bois n'ont pas pour seules conséquences des difficultés d'ordre métrologique. Le captage efficace de ces poussières exige des efforts de conception et des compétences en aéraulique. Afin d'aider les constructeurs de machines neuves et les rénovateurs ou les utilisateurs de machines existantes, les Caisses Régionales d'Assurance Maladie (CRAM) et l'INRS ont élaboré une méthodologie de conception de ces dispositifs dont la première étape consiste à observer la source d'émission et à la caractériser sous l'aspect aéraulique. Un logigramme présentant les étapes successives de la démarche est proposé. Sept fiches présentent l'application de la méthode des machines dans le cadre d'études réalisées par l'INRS ou de travaux des CRAM. Certaines solutions originales de captage ainsi élaborées ont été testées chez des utilisateurs. Ces dispositifs prennent également en compte les aspects sécurité et ergonomie.

Ces données ont été rassemblées dans un guide d'aide à la conception publié par l'INRS et diffusé aux parties intéressées [5].

Principes de conception

La ventilation localisée consiste à capter les particules au plus près possible de leur source d'émission avant qu'elles ne pénètrent dans la zone des voies respiratoires des opérateurs.

L'application d'un certain nombre de principes reposant sur la dynamique des fluides, ainsi que sur le bon sens, facilite, lors de la phase de l'avant-projet sommaire, la conception de solutions efficaces adaptées aux cas à traiter.

Les principes suivants doivent être pris en considération en respectant au mieux l'ordre indiqué :

- utiliser les mouvements des particules ;
- envelopper au maximum la zone de production des particules ;
- induire une vitesse d'air suffisante ;
- capter au plus près de la zone d'émission ;
- prévoir des entrées d'air de compensation, de préférence directement sur la machine.

Logigramme

Les étapes successives de la démarche de conception ont été regroupées sous forme d'un logigramme. Il s'agit d'un processus itératif lorsque la solution à laquelle on aboutit introduit de nouvelles contraintes inacceptables. Un dispositif unique peut s'avérer inadapté pour tenir compte de tous les types de fonctionnement de la machine.

Une première étape consiste à observer la source au cours d'un même usinage et à définir des caractéristiques telles que mobilité, direction et amplitude de projection des particules. La seconde étape est celle d'un choix initial du dispositif : fixe ou mobile ? adapté aux changements de direction des projections ? Un choix complémentaire porte sur la possibilité de placer le dispositif de captage face à la direction de projection. Le cheminement dans le logigramme conduit à trois cas de contraintes croissantes. C'est l'étape de définition des caractéristiques géométriques et aérauliques du dispositif de captage tenant compte de la source d'émission. La recherche de la proximité source/captage n'intervient qu'à cette étape.

Le logigramme est présenté à la figure 4 sur lequel est indiqué en rouge un exemple de cheminement pour une défonceuse.

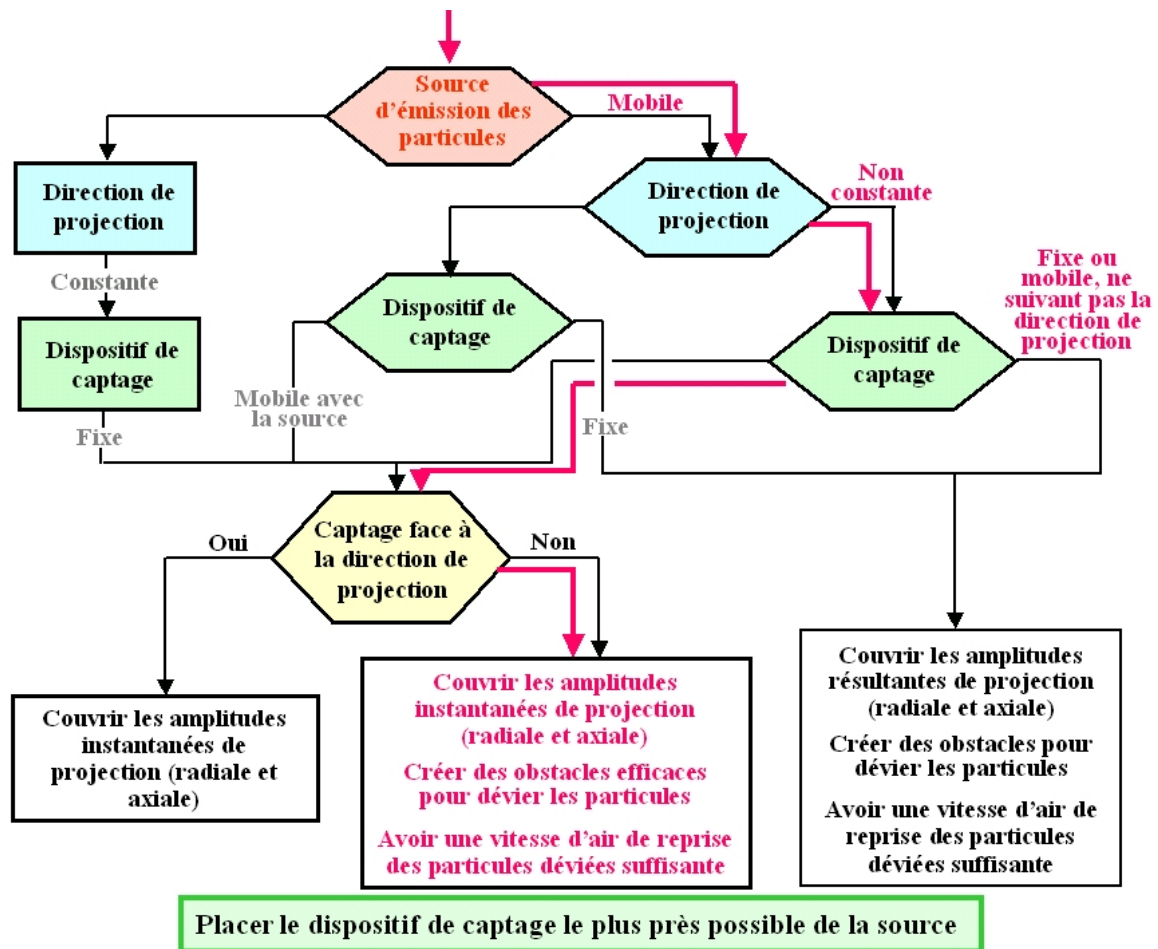


Figure 4. Logigramme appliqué à la défonceuse à commande numérique

Techniques de visualisation

Pour caractériser les projections des particules émises par l'outil et notamment les angles de projection caractérisant la dispersion des poussières, des essais de visualisation par tomographie ont été réalisés. Cette technique consiste à générer une nappe lumineuse de 1 à 2 mm d'épaisseur positionnée dans le jet des particules (cf. figure 1).

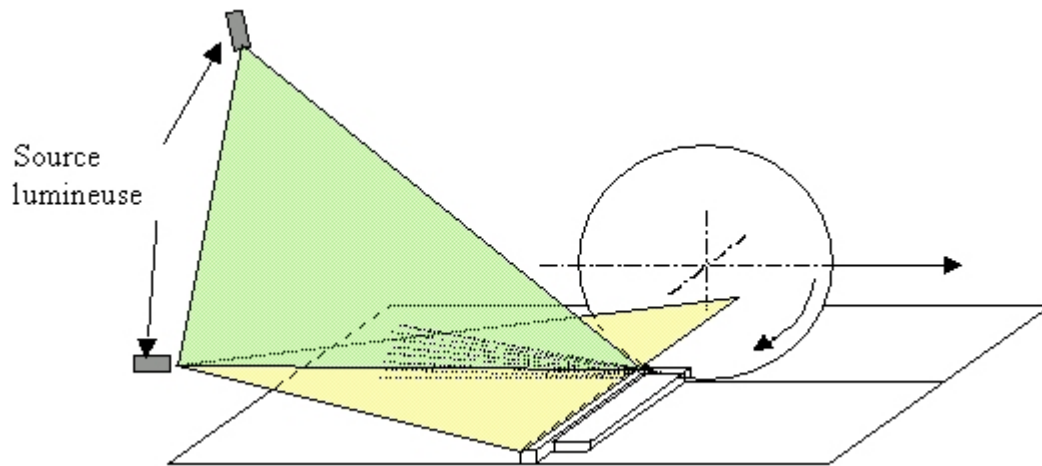


Figure 1. Position des deux plans lumineux sur une scie radiale

Les poussières de bois étant suffisamment réfléchissantes, la mise en œuvre de cette technique ne nécessite pas d'ensemencement en particules. Les poussières qui passent dans ce plan sont illuminées et les angles de dispersion sont facilement visualisables. L'émission des particules est filmée en continu. Deux types de sources lumineuses ont été utilisés : laser [6] et lumière blanche.

Application à une défonceuse à commande numérique [7]

La défonceuse à commande numérique est une machine de plus en plus utilisée dans les ateliers de la seconde transformation du bois. Equipée d'outils variés, elle permet de réaliser à grande vitesse des usinages très précis et très divers et peut générer de grandes quantités de poussières (figure 2).

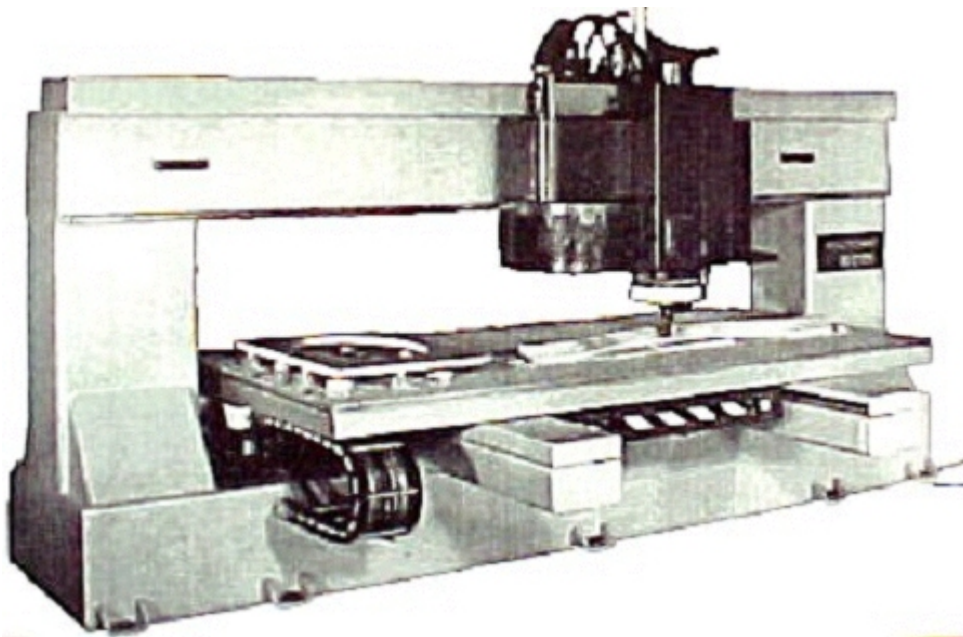


Figure 2. Exemple de défonceuse à commande numérique

La solution mise au point (figure 3) consiste à asservir en permanence la rotation du dispositif de captage au déplacement de l'outil de façon à ce que l'aspiration soit toujours placée face à la direction de projection des poussières et au plus près de la source d'émission.

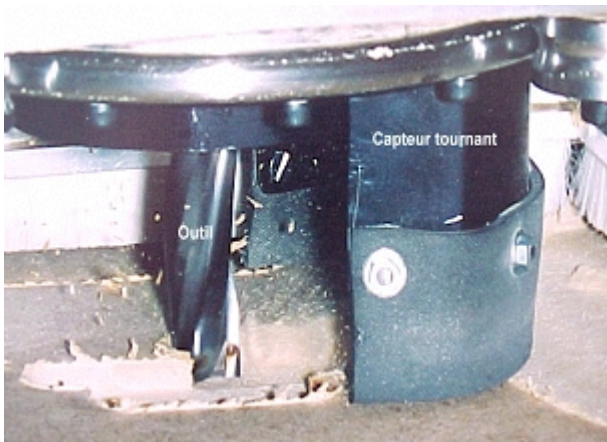


Figure 3. Dispositif de captage tournant

Les courbes de la figure 5 présentent les résultats d'indices d'assainissement mesurés avec le dispositif de captage existant et le nouveau dispositif, en fonction du débit d'aspiration. Les conditions d'essais ont été reproduites au mieux entre les deux campagnes d'essais et chaque configuration a fait l'objet de trois essais consécutifs. L'outil utilisé est une fraise à défonceur hélicoïdale tournant à $18\,000\text{ tr.min}^{-1}$. Toutes les pièces ont été usinées selon le même programme reproduisant les principaux usinages possibles avec une défonceuse.

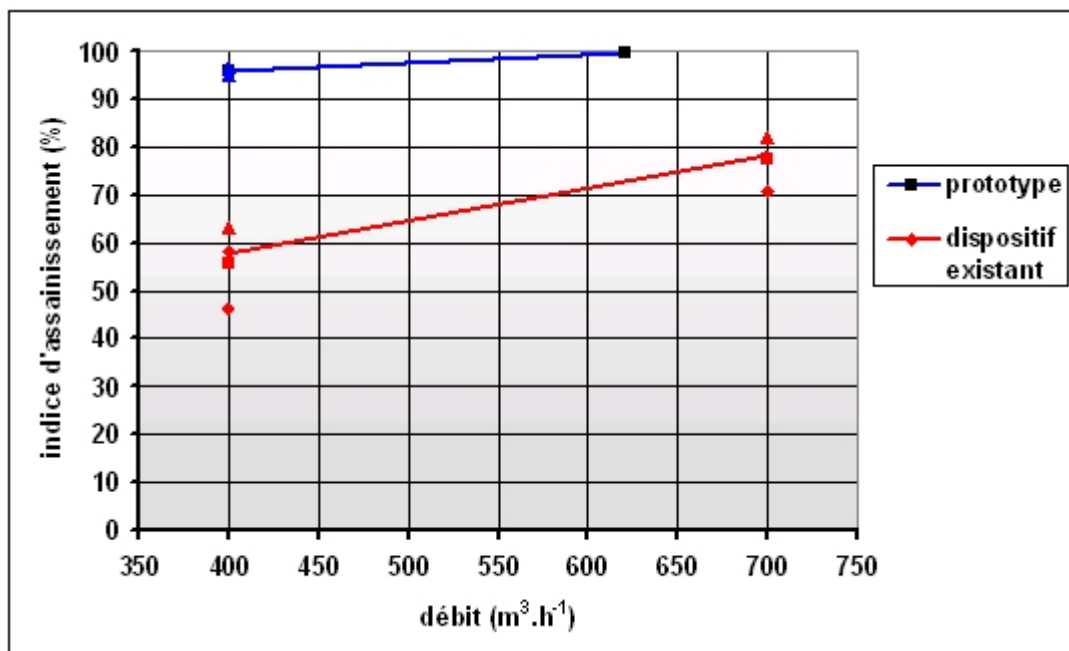


Figure 5. Evolution de l'indice d'assainissement pour les deux dispositifs de captage en fonction du débit d'air aspiré

On observe, à débit égal, le gain obtenu avec le prototype à déflecteur tournant. Un tel prototype a été adapté à une machine sur site. Le débit d'air mis en œuvre était initialement de $5\,000\text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ pour un dispositif fixe captant sur 360° . Avec ce dispositif tournant dont le secteur aspirant est d'environ 70° , le débit a pu être réduit à moins de $1\,000\text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ alors que l'indice d'assainissement est passé de 0,35 à 0,95. On a également observé une diminution considérable des dépôts de poussière sur la pièce usinée. La visibilité du travail en cours et la qualité de l'usinage sont ainsi améliorées et le temps de nettoyage final est très nettement réduit. Un tel modèle est actuellement disponible sur le marché.

Conclusions

La réduction de l'exposition aux poussières de bois dans les ateliers de la deuxième transformation du bois passe par la conception et la mise au point de dispositifs de captage efficaces. Ceci nécessite de faire appel à de solides compétences en dynamique des fluides et des particules. Une méthodologie de conception a été élaborée et publiée par l'INRS sous forme de brochure pour faciliter le travail des concepteurs. Conception et mise au point seront d'autant plus faciles que l'intégration du dispositif aura été réalisée en amont dans le processus de fabrication de la machine. Les efforts déployés lors de la phase de conception conduisent dans la plupart des cas à une réduction des débits par rapport aux solutions existantes pour des performances nettement améliorées.

L'évaluation des performances de captage constitue une étape indispensable, car "il n'y a progrès que s'il y a mesure". Le paramètre d'évaluation adopté par l'INRS est l'indice d'assainissement. Outre la validation des choix de conception, il a permis de déterminer l'évolution des performances de captage en fonction du débit d'aspiration.

Bibliographie

- [1] Directive 99/38/CE du Conseil. *Journal officiel des Communautés européennes*. 1.6.1999. L 138/66-69.
- [2] Valeurs limites d'exposition professionnelle aux substances dangereuses en France. Circulaire ministérielle n° 91-14 du 5 juillet 1991.
- [3] Norme EN 1093-4. Sécurité des machines. Evaluation de l'émission des substances dangereuses véhiculées par l'air. Mesure de l'indice d'assainissement.
- [4] Norme EN 1093-11. Sécurité des machines. Evaluation de l'émission des substances dangereuses véhiculées par l'air. Mesure de l'efficacité de captage.
- [5] Conception des dispositifs de captage sur machine à bois. INRS, ED 841, 1^{ère} édition (2001). Ré-impression avril 2002.
- [6] J.M. DESSAGNE, J.P. MULLER, J.C. L'HUILLIER, P.J. VIALLE, X. ATANGANA. - Visualization of Wood Dust Emission from a Circular Saw Using a Laser Sheet. Ventilation 2000, 6th International Symposium on Ventilation for Contaminant Control.
- [7] J.P. MULLER, J.C. L'HUILLIER. - Conception de dispositifs de captage performant sur scie radiale et défonceuse à commande numérique. INRS, *Cahiers de Notes Documentaires*, ND 2177-188-02.