

Conception des dispositifs de captage sur machines à bois

Cet ouvrage a été élaboré
par un groupe de travail CRAM-INRS comprenant
C. De Bailliencourt, P. Brouté, J.-M. Dessagne,
D. Jouffroy, J.-C. L'Huillier, J.-Y. Monneuse, J.-P. Muller,
J.-C. Osternaud, J.-L. Régnier, J.-Y. Trivin.

Mise à jour : Bruno Courtois

Ce document est la réédition d'un précédent document portant la référence ED 841.

ED 6330 • 1^{re} édition • novembre 2018

© INRS • ISBN 978-2-7389-2398-1 • Disponible uniquement en version électronique
Mise en pages : Sophie Boulet

Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris • Tél. 01 40 44 30 00 • www.inrs.fr • info@inrs.fr

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite.
Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

Conception des dispositifs de captage sur machines à bois

Sommaire

1. Nature des matériaux	6
2. Caractéristiques de l'émission	7
2.1. Influence du type d'usinage	7
2.2. Source d'émission des particules	8
2.3. Direction de projection des particules	10
2.4. Amplitudes de projection	11
2.5. Influence des paramètres d'émission sur le dispositif de captage	12
3. Principes de captage	13
3.1. Utiliser les mouvements des particules	13
3.2. Envelopper au maximum la zone de production des particules	13
3.3. Induire une vitesse suffisante	14
3.4. Capturer au plus près de la zone d'émission	14
3.5. Prévoir des entrées d'air	14
4. Méthodologie de conception	15
4.1. Notions fondamentales	15
4.2. Présentation du logigramme	15
4.3. Observation de la source	16
4.4. Choix du type de dispositif de captage	16
4.5. Disposition du dispositif de captage	16
4.6. Caractéristiques du dispositif de captage	17
4.7. Proximité du dispositif de captage	17
4.8. Sources secondaires	18
Annexe 1 : Évaluation des performances de captage	19
Annexe 2 : Méthodologie de conception d'un dispositif de captage	21
1. Scie circulaire à table	21
2. Scie verticale à panneaux	24
3. Scie radiale à aménagement manuel	27
4. Scie à ruban à table	31
5. Mortaiseuse à chaîne à poste fixe	33
6. Défonceuse à commande numérique. Dispositif de captage fixe	35
7. Défonceuse à commande numérique. Dispositif de captage tournant	37
Bibliographie	39

Introduction

Public visé

Ce guide est destiné aux constructeurs de machines à bois neuves, machines émettant des substances dangereuses sous forme de particules. Il appartient aux importateurs de machines de transmettre ces informations aux constructeurs. Il s'adresse également aux rénovateurs de machines ou aux utilisateurs qui souhaitent mettre eux-mêmes leurs installations en conformité avec les lois et règlements applicables à l'utilisation.

Il intéresse aussi les utilisateurs qui, au-delà d'un aspect réglementaire (élimination ou réduction de l'émission de substances dangereuses, interdiction d'accès à l'outil, bruit...), souhaitent accroître les performances de leurs équipements, que ce soit en vue d'améliorer la qualité d'usinage, de réduire les temps de nettoyage ou bien encore de réduire les opérations de reprise ou de finition.

Ces opérations ont aussi une incidence sur la sécurité (accident grave, maladie). En effet, augmenter leur fréquence, c'est augmenter les risques qu'elles présentent. Le nettoyage est indispensable pour poursuivre la production ; s'il est continu, on évite une interruption du processus de fabrication qui nécessiterait d'attendre et de s'assurer de l'arrêt complet de l'équipement.

Domaine d'application

Ce guide traite d'une méthodologie de la conception du dispositif de captage.

Les machines pour l'usinage du bois génèrent :

- des poussières inhalables à l'origine de maladies inscrites au tableau 47 des maladies professionnelles [1] dont le cancer de l'ethmoïde ;
- des copeaux, sciures et poussières contribuant au risque incendie ; leur élimination participe à la propreté des locaux et à la réduction des accidents ;
- des poussières susceptibles d'exploser.

Les dispositifs de captage font, le cas échéant, partie intégrante des protecteurs. Ils doivent donc en posséder toutes les caractéristiques (résistance mécanique...). Dans tous les cas, ils ne devront pas générer d'autres risques pendant les phases habituelles d'utilisation, ni durant les phases de réglage et de maintenance de la machine et du dispositif de captage.

En pratique, l'étude qui fait l'objet de ce guide devra être poursuivie par l'intégration du dispositif de captage à la conception et à la construction d'une machine.

Les problèmes suivants doivent être résolus sous peine de voir le dispositif de captage rejeté par l'utilisateur :

- phase de réglage de la machine : le dispositif de captage reste en place ou est facilement remis en position s'il doit être déposé... ;
- phase de réglage du dispositif de captage : facilité de réglage vis-à-vis de l'accès, stabilité du positionnement... ;
- phase de production : nécessité ou non de voir l'outil en mouvement... ;
- phase de maintenance : nettoyage du dispositif de captage, de la machine, remplacement des pièces d'usure, facilité de remise en position...

1. Nature des matériaux

Les bois massifs et les panneaux semi-dérivés du bois possèdent des propriétés et caractéristiques très variées. Pendant leur usinage, ils produisent des particules de taille semblable (par exemple, panneaux de particules...) ou hétérogènes.

Les produits à travailler peuvent être classés en deux catégories :

- 1) les bois massifs provenant des résineux et des feuillus,
- 2) les panneaux semi-dérivés du bois :

– reconstitués : les panneaux de contre-plaqué, lamellés, OSB (*Oriented Straight Board*),

– agglomérés : les panneaux de fibres (MDF : *Medium Density Fiberboard*...), de particules recouverts d'un décor (stratifiés, mélaminés...).

Les principales caractéristiques des essences de bois pouvant influencer la nature des polluants émis pendant l'usinage sont les suivantes :

- La résistance mécanique : elle est influencée par la densité et l'humidité du matériau.
- Le façonnage : en général, les résineux sont plus faciles à façonner que les feuillus.
- Les singularités :
 - les nœuds ;
 - les singularités de croissance : torsion de fibre, contre-fil difficile à travailler ;
 - les arrachements de fibres lors du sciage pour les résineux (épicéa...).
- Les vaisseaux (ou pores) : leur grosseur indique la finesse du grain, classé suivant leurs tailles (*tableau 1*).
- La densité : elle définit la dureté du bois (*tableau 2*).
- La morphologie : on trouve entre autres comme particules :
 - les particules fibreuses de diamètre compris entre 20 et 30 μm et de longueur variant de 20 à 250 μm ,
 - les particules sphéroïdales, par exemple dans le cas des bois durs, avec des diamètres de particules inférieurs à 10 μm .

TABLEAU 1

CLASSEMENT DE QUELQUES ESSENCES DE BOIS EN FONCTION DE LEUR TAILLE DE GRAIN

Finesse du grain	Très fin	Fin	Moyen	Grossier
Taille en mm	0,077		0,14	0,21
Essences	Hêtre			Chêne
	Merisier	Peuplier		
	Tilleul	Épicéa		
		Sapin		Pin des Landes
	Ramin, moabi	Movingui	Framiné	

TABLEAU 2

CLASSEMENT DE QUELQUES ESSENCES DE BOIS EN FONCTION DE LEUR DENSITÉ

Densité					
0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
→					
Dureté					
Très tendre	Tendre	Mi-dur		Dur	
Bois massifs					
Tilleul		Sapin		Hêtre	
Épicéa, Pin (1)				Pin (2)	
Peuplier				Chêne, Movingui	
				Moabi	
Panneaux					
Panneaux de particules				Panneaux de contre-plaqué	
				Panneaux de fibres de bois de moyenne densité (MDF)	

(1) Pin maritime ou pin des Landes à bois non géménés.

(2) Pin maritime ou pin des Landes à bois géménés.

2. Caractéristiques de l'émission

2.1. Influence du type d'usinage

2.1.1. Vitesse de coupe

Une particularité des opérations d'usinage de l'industrie de deuxième transformation du bois est la vitesse de coupe élevée. Celle-ci varie de 40 à 80 m.s⁻¹ (exceptionnellement 120 m.s⁻¹) suivant le type d'outil utilisé et le type d'usinage effectué.

Une vitesse de coupe aussi importante a pour conséquence une projection des copeaux, sciures, poussières à une vitesse initiale élevée. Cette vitesse de projection est en fait la vitesse de coupe. En raison de cette grande vitesse, les particules possèdent une énergie cinétique importante lors de leur formation et de leur projection par l'outil.

Suivant leur grosseur et leur masse volumique, le frottement de l'air les freine plus ou moins rapidement :

- pour les petites particules, la vitesse décroît plus rapidement que pour les plus grosses à densité égale,
- pour les particules légères, la vitesse décroît plus rapidement que pour les plus lourdes à volume égal (figure 1).

Il faut tout de même nuancer ces propos en précisant que, généralement, les particules projetées lors d'un usinage de bois sont de nature hétérogène, notamment en taille.

2.1.2. Caractéristiques des particules

La taille, la forme et la densité des particules projetées dépendent du matériau usiné, de la forme de l'outil utilisé, du type d'usinage et des conditions de coupe.

Le matériau usiné: essence, dérivés du bois.

La densité des matériaux peut

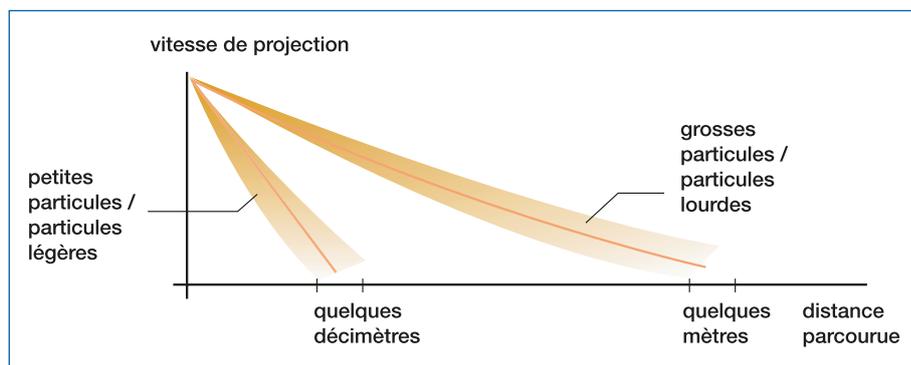


Figure 1. Distance parcourue par les particules pour une vitesse de coupe donnée.

varier d'un facteur 2 environ (cf. chapitre 1) influençant d'autant l'énergie cinétique des particules.

L'hétérogénéité des particules dépend également fortement de la nature des matériaux usinés :

- au contraire des bois massifs qui, en général, produisent des particules de tailles très variables mêlées les unes aux autres lors de leur projection, certains matériaux dits homogènes (par exemple, panneaux de particules, MDF...) génèrent des particules de taille semblable;

- la diversité des essences de bois conduit également à noter que la fragmentation des particules au moment où elles sont produites est différente selon la nature des bois; par exemple, certains bois exotiques ne produisent que de fines particules alors que les bois résineux produisent, dans les mêmes conditions de coupe, des particules plus grosses et plus hétérogènes en taille.

La forme de l'outil utilisé: outil pour scier, profiler, raboter, poncer...

Les opérations de sciage et de défouçage fragmentent plus les particules que les autres opérations (rabotage, perçage, profilage...). Les particules produites lors de ces usinages sont donc de taille moindre, ce qui diminue d'autant leur énergie cinétique. La vitesse initiale décroît donc rapidement et facilite le captage, toutes choses égales par ailleurs.

Les opérations de ponçage produisent des particules de taille nettement

plus faible que celle des particules produites par d'autres types d'usinage.

Le type d'usinage: en avalant ou en opposition.

Le type d'usinage a une incidence sur la direction de projection des particules (cf. définition au § 2.3.1). Le travail en opposition se traduit par une plus grande fragmentation des copeaux.

Les conditions de coupe: vitesse de coupe, vitesse d'avance, profondeur et largeur de passe, sens du travail par rapport aux fibres...

Les conditions de coupe sont optimisées afin d'assurer une qualité d'usinage selon les critères d'aspect de la surface générée, d'usure de l'outil, de l'énergie consommée pour mettre en œuvre l'usinage...

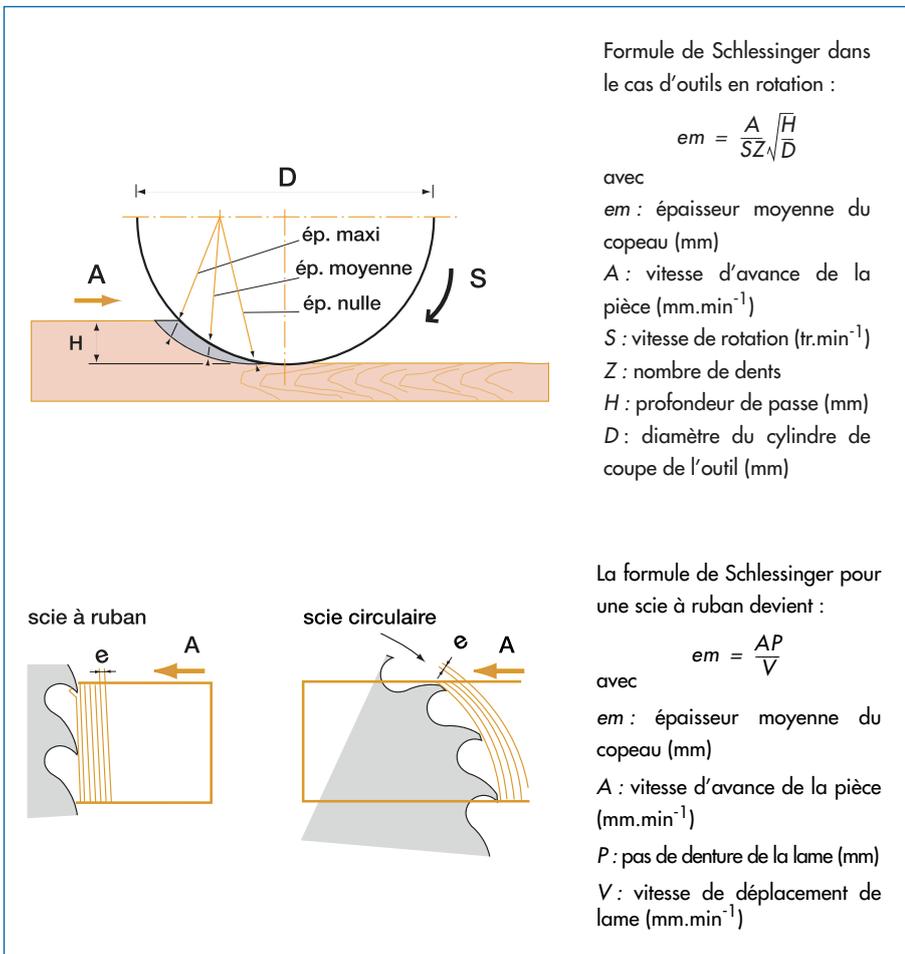
Tout cela est calculé d'après des lois d'usinage. Celle qui conditionne la qualité d'un usinage est la formule de Schlessinger permettant de calculer l'épaisseur moyenne du copeau formé.

Pratiquement, l'épaisseur moyenne est comprise pour un usinage :

- grossier entre 0,16 et 0,4 mm;
- soigné entre 0,04 et 0,16 mm;
- très soigné entre 0,02 et 0,04 mm.

Note: lorsque l'épaisseur des copeaux est inférieure à 0,06 mm, les outils sont rapidement désaffûtés.

Il est possible de calculer le débit de copeaux usinés en effectuant le produit de la vitesse d'amenage, de



de l'outil cesse d'être en contact avec le matériau en sortie d'usinage (figure 2).

Cette source peut être rectiligne ou curviligne (figure 3).

Nous appellerons donc **source d'émission de particules** l'ensemble des points communs au matériau à usiner et à l'outil, correspondant au moment où les particules sont projetées.

Cette définition peut être étendue aux outils à mouvement rectiligne, semi-circulaire ou elliptique.

2.2.2. Mobilité de la source

La source d'émission de particules peut être :

- fixe tout au long d'une même opération d'usinage : par exemple, sciage sur scie à ruban, à table, à format, dégauchissage (figure 4), rabotage, toupillage au guide, rainurage sur moulurière...
- mobile au cours d'une même opération d'usinage : par exemple, toupillage à l'arbre (figure 5), sciage sur scie radiale (figure 6), défonçage (figure 7).

la profondeur de passe et de la largeur d'usinage (égale à la largeur de la pièce ou de l'outil selon le type d'usinage). Cela permet d'évaluer rapidement la quantité de particules produites dans un atelier de seconde transformation au cours d'une journée de travail : plusieurs mètres cubes par machine et par jour.

Le nombre des facteurs influençant la forme, la taille et la masse des particules produites lors d'un usinage de matériaux bois ou dérivés peut toutefois être réduit en ne prenant en compte que les paramètres suivants :

- vitesse de coupe (influençant directement la vitesse de projection),
- énergie cinétique (tenant compte également de la densité et de la granulométrie des particules).

À partir de ces deux paramètres, il est possible de définir les conditions de projection.

2.2. Source d'émission des particules

2.2.1. Définition de la source

La source est constituée par l'ensemble des points où la partie active

Pendant l'usinage de rainures avec la défonceuse, la source se déplace de 90° à la circonférence de l'outil.

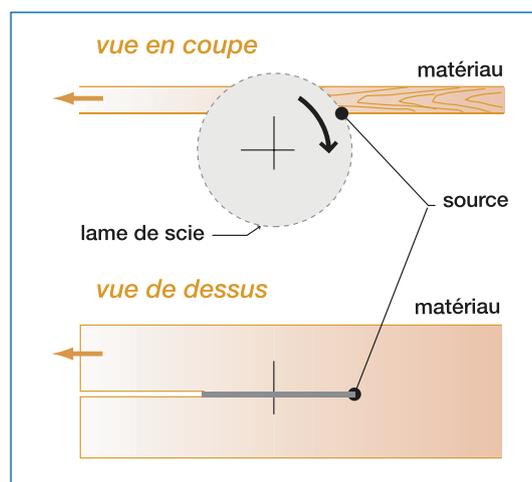


Figure 2.
Localisation de la source sur une scie circulaire.

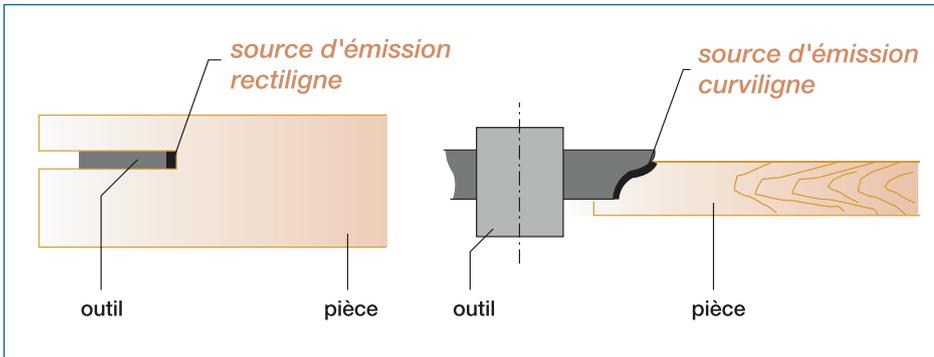


Figure 3. Différentes formes de sources d'émission de particules.

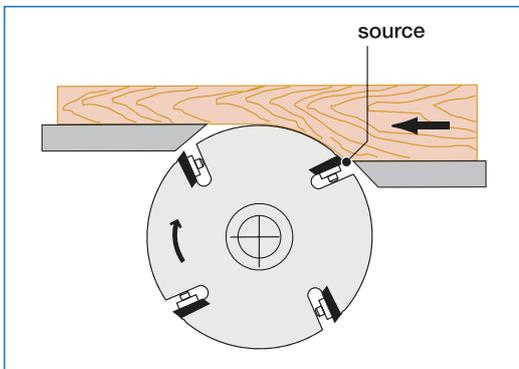


Figure 4. Dégauchisseuse : source fixe.

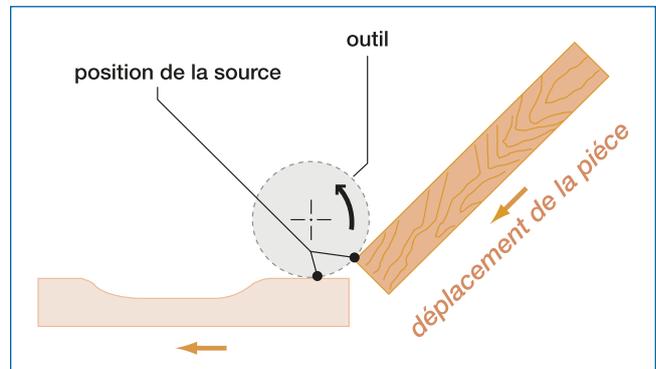


Figure 5. Toupie : travail à l'arbre (outil fixe, pièce mobile) : source mobile.

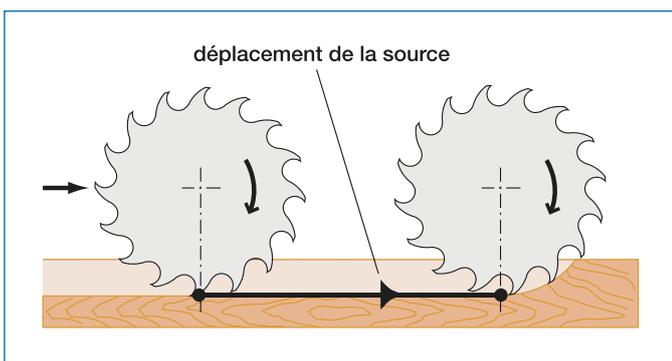


Figure 6. Scie radiale (outil mobile selon une droite, pièce fixe) : source mobile.

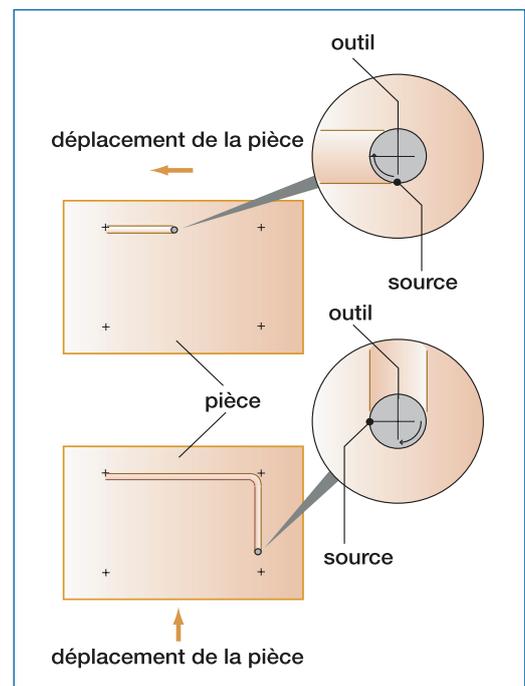


Figure 7. Défonceuse : mobilité de la source due à un changement de direction d'usinage (position d'outil fixe).

2.3. Direction de projection des particules

2.3.1. Définition

Lorsque les particules cessent d'être emprisonnées entre l'outil et le matériau, elles se trouvent projetées à l'extérieur dans une direction appelée **direction de projection**.

Celle-ci suit les tangentes au profil de découpe de l'outil aux points de sortie du matériau usiné formant la source d'émission (*figure 8*).

2.3.2. Variations possibles

La direction varie selon le type d'usinage, en opposition (*figure 9*) ou en avalant (*figure 10*).

L'angle formé par la direction de projection et un plan de référence peut varier selon le type d'usinage effectué, mais aussi en fonction de la profondeur de passe (*figure 11*) et du diamètre de l'outil (*figure 12*).

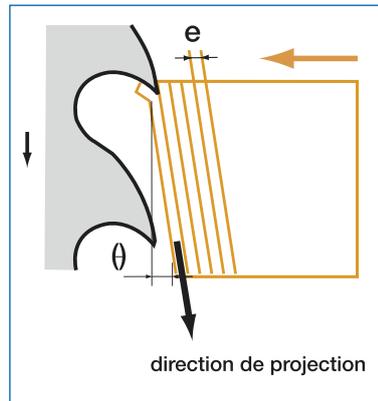


Figure 8. Direction de projection.

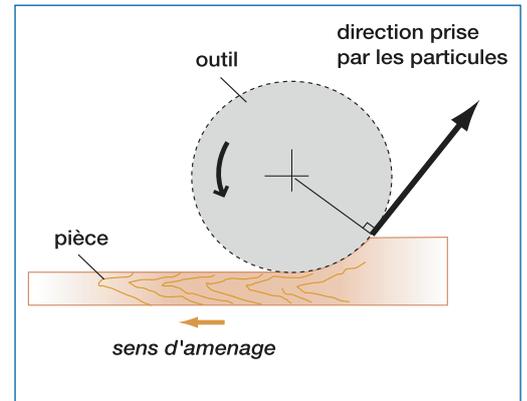


Figure 9. Direction de projection lors d'un travail en opposition.

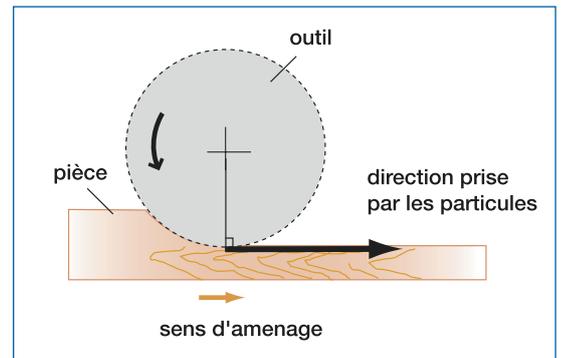


Figure 10. Direction de projection lors d'un travail en avalant.

Figure 11. Variation de la direction de projection en fonction de la profondeur de passe (à diamètre d'outil constant).

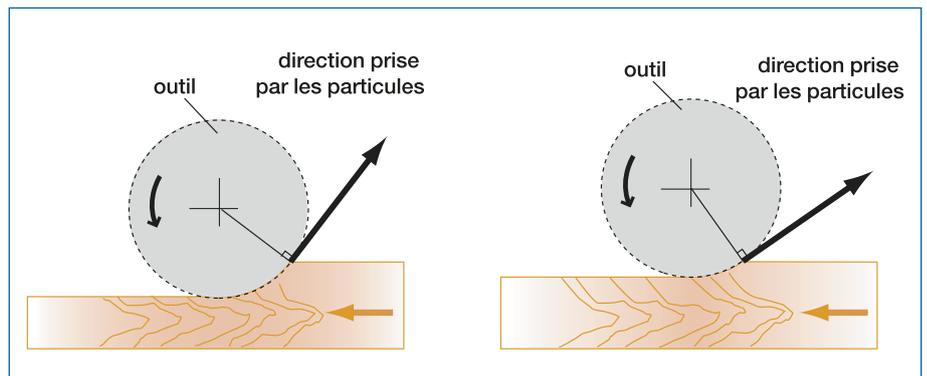
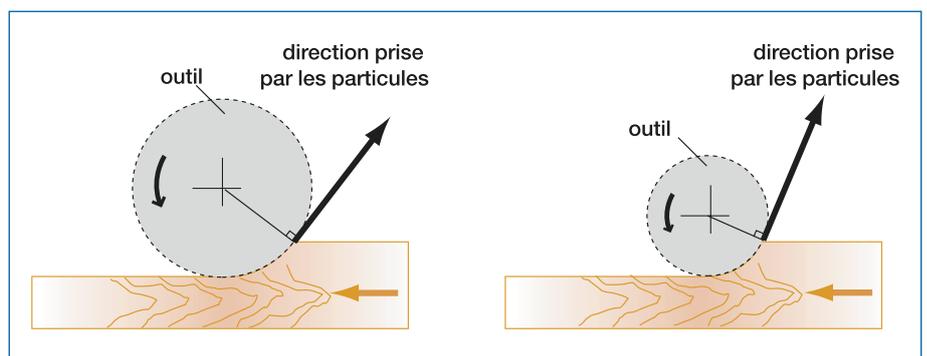


Figure 12. Variation de la direction de projection en fonction du diamètre de l'outil (à profondeur de passe constante).



2.4. Amplitudes de projection

Influencées par leur poids, leur forme, leur énergie cinétique différents, les particules qui se trouvent projetées se dispersent autour de la direction de projection.

La dispersion des particules s'effectue selon un angle, nommé **angle de dispersion**, plus ou moins grand selon le type d'outil (scie circulaire, outil à profiler...), la nature du matériau (l'hétérogénéité du matériau favorise une augmentation de l'angle de dispersion des particules), le type d'usinage (en opposition ou en avalant)...

Selon le plan dans lequel l'émission des particules est visualisée, on peut définir deux types d'amplitudes instantanées: l'amplitude radiale et l'amplitude axiale.

2.4.1. Amplitude radiale

Cas des outils en rotation

Dans un plan radial (perpendiculaire à l'axe de rotation) (*figure 13*), la dispersion s'effectue suivant un angle α (angle de dispersion) plus ou moins grand selon le type d'outil et l'hétérogénéité des particules.

L'étendue a , formée par la dispersion des particules dans le plan radial, définit l'amplitude radiale instantanée.

L'amplitude dépend de l'angle de dispersion ainsi que de la distance de la source à laquelle elle est mesurée.

Autres cas

Dans le cas d'outils travaillant selon un déplacement rectiligne (par exemple, scie à ruban, ponceuse), on considérera comme plan radial le plan perpendiculaire aux axes des volants ou des poulies d'entraînement de l'outil.

L'amplitude radiale instantanée est donc définie comme étant l'étendue formée par la dispersion des particules

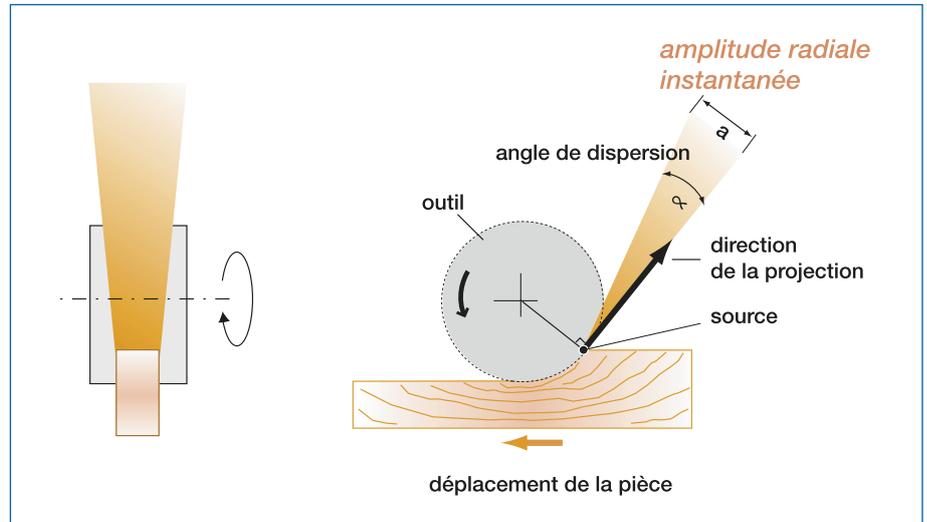


Figure 13. Amplitude radiale instantanée.

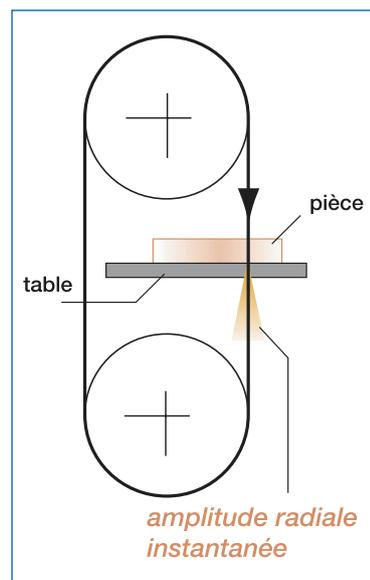


Figure 14. Amplitude radiale instantanée pour une scie à ruban.

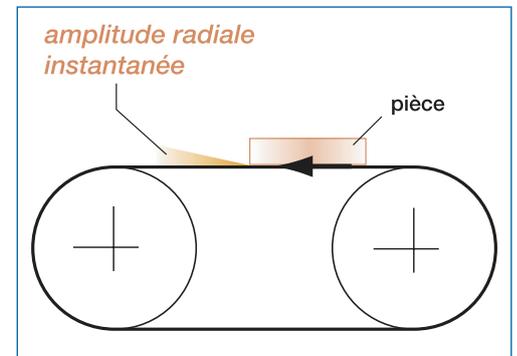


Figure 15. Amplitude radiale instantanée pour une ponceuse à bande étroite.

dans le plan radial à tout instant de l'usinage (*figure 14* et *figure 15*).

2.4.2. Amplitude axiale

Cas des outils en rotation

Dans un plan axial (parallèle à l'axe de rotation) (*figure 16*), la dispersion s'effectue suivant un angle β (angle de dispersion) plus ou moins grand selon la largeur de passe, le type d'outil et l'hétérogénéité des particules.

L'étendue b , formée par la dispersion des particules dans le plan axial, définit l'amplitude axiale instantanée.

De même que pour l'amplitude radiale, l'amplitude axiale dépend de l'angle de dispersion et de la distance de la source à laquelle elle est mesurée. Elle dépend également de la largeur de passe (correspondant soit à la largeur de l'outil, soit à celle de la pièce comme sur la *figure 18*).

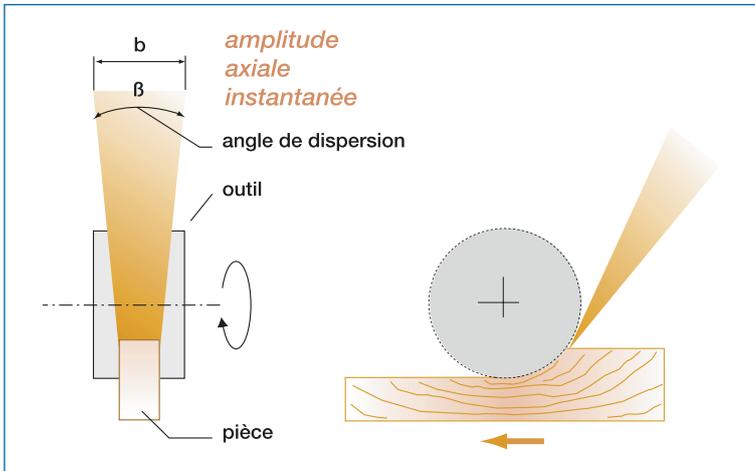


Figure 16. Amplitude axiale instantanée.

Autres cas

De même que pour l'amplitude radiale (§ *Autres cas* p. 11), on considérera comme plan axial le plan perpendiculaire au plan radial défini précédemment et passant par le plan de l'outil.

L'amplitude axiale instantanée est donc définie comme étant l'étendue formée par la dispersion des particules dans le plan axial à tout instant de l'usinage (figures 17 et 18).

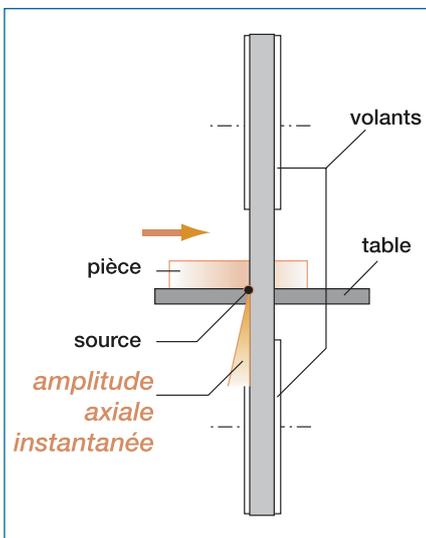


Figure 17. Amplitude axiale instantanée pour une scie à ruban.

2.5. Influence des paramètres d'émission sur le dispositif de captage

2.5.1. Surface frontale de projection

La surface liée aux amplitudes instantanées radiale (a) et axiale (b) définit la **surface frontale minimale de projection** servant de référence pour le dispositif de captage.

La surface de captage (surface d'ouverture du dispositif de captage) dépend de la surface frontale de projection des particules. En effet, la surface frontale minimale de captage

sera d'autant plus grande que le dispositif de captage sera éloigné de la source et que la surface frontale de projection sera importante (figure 19).

2.5.2. Amplitude résultante

L'amplitude résultante est définie comme étant l'amplitude de projection de particules pouvant résulter d'une mobilité de la source, de la variation de la direction de projection et de l'amplitude instantanée correspondante, au cours d'une même opération d'usinage.

La figure 20 page suivante montre un type d'usinage au cours duquel la source d'émission est mobile, la direction de projection associée varie selon un angle de 180° et les amplitudes augmentent cet angle pour le porter à une valeur proche de 220° . Il faudra donc tenir compte de cette configuration lors de la conception d'un dispositif de captage.

La conception d'un dispositif de captage optimal est fortement conditionnée par la prise en compte de la nature de la source et des caractéristiques de l'émission telles que direction et amplitudes d'émission des particules, ainsi que des éventuelles variations de ces caractéristiques au cours d'une même opération d'usinage.

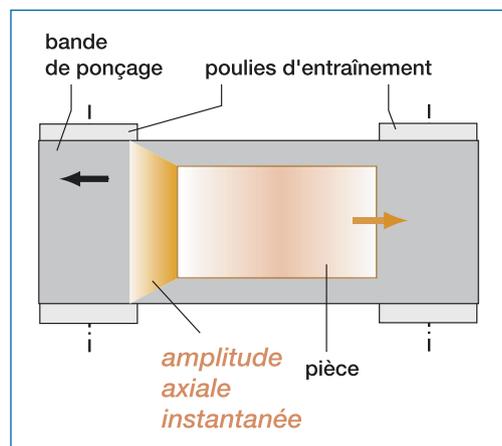


Figure 18. Amplitude axiale instantanée pour une ponçeuse à bande étroite.

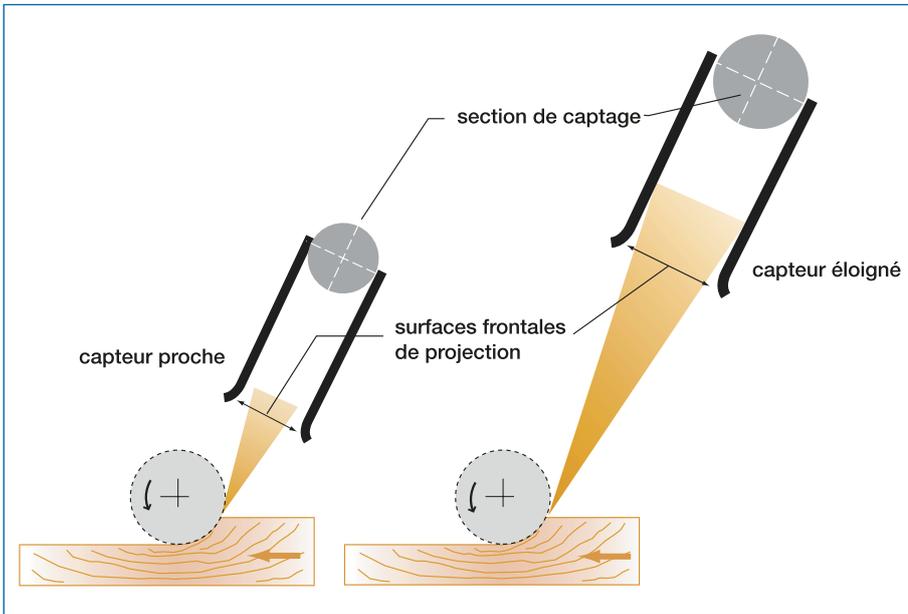


Figure 19. Variation de la surface frontale de projection.

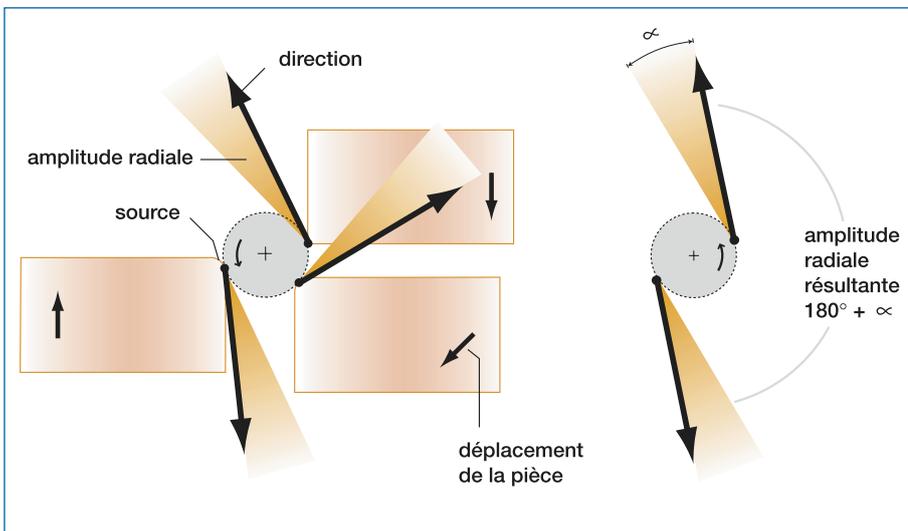


Figure 20. Variation de la projection des particules au cours d'une même opération de toupillage à l'arbre avec galets à bille.

3. Principes de captage

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 et ne soient dispersées dans toute l'atmosphère du local.

Les ventilations localisées maintiennent ces particules dans un volume aussi faible que possible et les évacuent. On évite ainsi la dilution des polluants.

L'application d'un certain nombre de principes établis ci-après facilite, lors de la phase de l'avant-projet sommaire, la conception des solutions efficaces adaptées au cas à traiter [2].

3.1. Utiliser les mouvements des particules

Lors de l'usinage du bois, par outil de coupe ou d'abrasion, les opérations émettent des jets de particules à grande vitesse initiale.

Le dispositif de captage sera placé de préférence sur la trajectoire des particules les plus grosses et, ainsi, les particules fines qui sont dans leur sillage seront entraînées.

En cas d'impossibilité et dans tous les cas pour éviter la dispersion, on sera conduit à casser ou à dévier au préalable le mouvement des grosses particules, ce qui conduit à envelopper au maximum la zone de production des particules.

3.2. Envelopper au maximum la zone de production des particules

À partir de la ou des sources d'émission, il s'agit d'empêcher la dispersion

des particules qui sont projetées au moyen de capots, de parois complétées par des brosses, de lèvres en caoutchouc, d'un soufflage...

Les dispositifs de captage ont par conséquent une fonction de freinage et de réception des particules. Cette fonction *dispositif de captage récepteur* (voir encadré 1) est nécessaire. Elle n'est cependant pas suffisante, il faut en plus induire une vitesse de reprise adaptée.

3.3. Induire une vitesse suffisante

Dès lors que les particules sont empêchées de sortir d'un dispositif de captage dit récepteur (voir encadré 1), il est nécessaire de les évacuer au fur et à mesure de leur production. Pour cela, il convient d'induire une vitesse d'air suffisante pour les entraîner et les diriger dans le système de transport.

S'agissant de particules de taille et de masse diverses, les vitesses à induire peuvent être différentes (des vitesses de l'ordre de 20 m.s⁻¹ sont suffisantes pour des particules de bois secs issues d'opérations de sciage, par exemple).

Le dispositif de captage est alors à la fois un dispositif récepteur et inducteur (voir encadré 1), dont les dimensions seront limitées sous réserve de capter au plus près de la zone d'émission.

3.4. Capter au plus près de la zone d'émission

(figure 19)

L'efficacité de l'aspiration diminue rapidement avec la distance, la vitesse d'air décroissant très rapidement. Or, il est indispensable que la vitesse de captage induite permette l'évacuation des particules.

ENCADRÉ 1

On distingue trois types principaux de dispositifs de captage:

- Les dispositifs de captage enveloppants: enceintes ou cabines qui entourent la zone d'émission de telle sorte que toute l'action dispersive initiale du polluant ait lieu à l'intérieur de celles-ci;
- Les dispositifs de captage inducteurs: placés à proximité de la source, ils doivent générer des vitesses d'air dans la zone d'émission pour entraîner l'air pollué à l'intérieur du réseau d'aspiration. Le critère à respecter est la vitesse d'air induite au point d'émission des polluants;
- Les dispositifs de captage récepteurs: placés à proximité de la source, ils ne sont utilisables que dans le cas où les polluants sont entraînés spontanément vers le dispositif de captage par le processus de travail. Le rôle du ventilateur se limite à évacuer l'air pollué au fur et à mesure.

Le positionnement au plus près du dispositif d'aspiration permet de garder une bonne efficacité en utilisant des débits d'aspiration plus faibles. Toutefois, la somme des débits de chacun des dispositifs de captage, mis en œuvre simultanément, sera souvent importante et conduira à prévoir des entrées d'air.

3.5. Prévoir des entrées d'air

Une solution intéressante consiste à amener, en totalité ou en partie, l'air de compensation à l'aide de dispositifs d'amenée implantés directement sur

la machine. Une disposition judicieuse de l'introduction et du captage peut permettre, en créant des vitesses de soufflage suffisantes, de faciliter le transport des poussières vers le dispositif de captage (figure 21).

Dans le cas plus général où l'introduction de l'air de compensation concerne tout l'atelier, celle-ci est assurée:

- soit naturellement, les entrées d'air sont généralement implantées sur l'enveloppe du bâtiment,
- soit mécaniquement, l'introduction est généralement réalisée au moyen de diffuseurs répartis dans le local [3].



Figure 21. Exemple d'introduction d'air sur une ponceuse à large bande.

4. Méthodologie de conception

4.1. Notions fondamentales

En préambule à toute démarche de conception, il convient de se poser la question de l'adaptation du dispositif de captage à tous les types de fonctionnement de la machine. Cette mise en garde paraît évidente pour un centre d'usinage ou pour des opérations aussi différentes que le travail au guide ou à l'arbre d'une toupie; elle l'est moins lorsque les différences portent par exemple sur :

- le mode d'usinage en opposition ou en avalant;
- la position de l'outil (inclinaison, hauteur...) ou sa géométrie (diamètre, forme...).

L'incidence des divers paramètres de fonctionnement doit être prise en considération et il convient de concevoir autant de dispositifs de captage que nécessaire afin de répondre efficacement à chacune des situations rencontrées sur la machine. On s'efforcera cependant de limiter le nombre de dispositifs par regroupement des configurations conduisant à des solutions de captage proches. Dans ce cas, le dispositif de captage doit couvrir les amplitudes globales pour l'ensemble des opérations concernées. La démarche exposée dans ce chapitre concerne un type d'opération bien déterminé et doit donc être renouvelée pour chacun d'eux.

On ne rappellera jamais assez que, dans le cas des machines neuves, une conception simultanée du dispositif de captage et des autres parties constitutives de la machine conduit à la solution la moins coûteuse et la plus efficace permettant de tenir compte de l'ergonomie et de l'ensemble des contraintes, notamment celles liées à la protection mécanique et à l'encombrement.

L'encoffrement partiel ou total de la machine dans les conditions d'utilisation prévues est une solution intéressante

pour isoler la source polluante (ainsi que la source sonore) du reste de l'atelier. De plus, elle peut permettre une amenée d'air de compensation directement dans l'encoffrement et donc sans chauffage préalable. Toutefois, cela ne dispense pas de concevoir un dispositif de captage évacuant efficacement les déchets (copeaux, poussières, délignures...) de façon à faciliter l'alimentation en bois, limiter le nettoyage et assainir l'atmosphère au cours des opérations de réglage. Il convient également de ne pas oublier la protection mécanique de l'opérateur pouvant pénétrer dans cet encoffrement.

4.2. Présentation du logigramme

La présentation sous forme de logigramme permet de visualiser plus facilement les étapes successives de la démarche de conception. Les commentaires ci-après expliquent ces étapes.

Le processus est itératif; les choix adoptés peuvent conduire à des contraintes, voire des impossibilités, telles que de nouveaux choix doivent alors être effectués. Le plus souvent, plusieurs solutions émergeront et seront à comparer en fonction de leurs avantages et inconvénients.

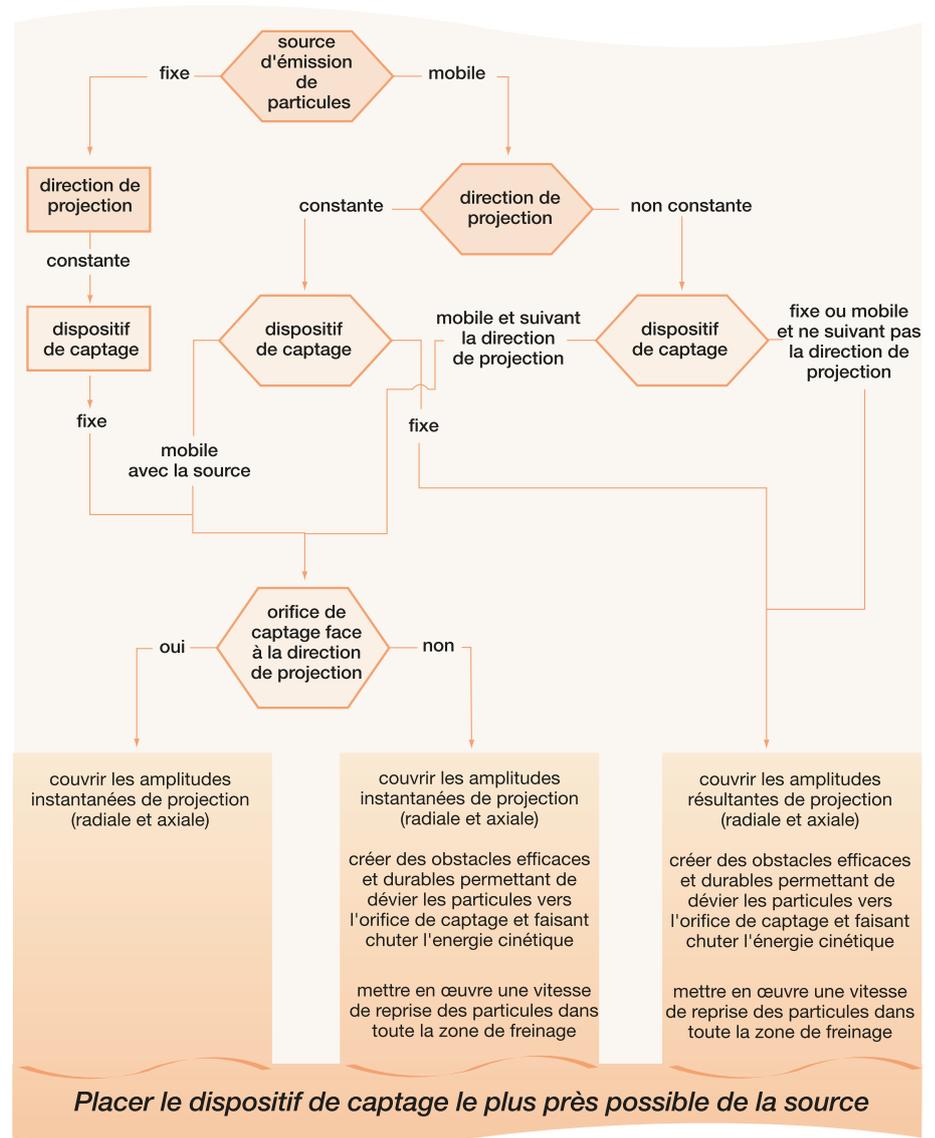


Figure 22. Démarche de conception pour un type d'opération déterminé.

4.3. Observation de la source

La première étape consiste à observer la source **au cours d'un même usinage** et à définir les caractéristiques de l'émission (définies au chapitre 2, § 2, 3 et 4):

- mobilité;
- direction de projection des particules;
- amplitudes de projection instantanées ou résultantes.

L'intérêt de la prise en compte de la mobilité de la source n'apparaît pas toujours évident lorsque les sources successives sont très rapprochées (cas de certains travaux de toupillage à l'arbre ou de défonçage). Ne pas s'en préoccuper risque d'aboutir à une solution peu efficace ou exigeant des débits d'air élevés.

Le cas d'une source fixe admettant une direction de projection variable ne paraît pas répondre à une réalité. Les trois possibilités retenues sont mentionnées dans le *tableau 3*; quelques exemples de machines courantes sont également indiqués.

Suivant les choix ultérieurs, le paramètre pertinent sera l'amplitude instantanée ou l'amplitude résultante de projection des particules.

4.4. Choix du type de dispositif de captage

Dans le premier cas, source fixe avec direction de projection constante, le dispositif de captage fixe s'impose.

Lorsque la source est mobile, le concepteur a le choix entre:

- un dispositif fixe pour la conception duquel il devra prendre en compte les amplitudes résultantes conduisant à des débits d'aspiration élevés;
- un dispositif mobile avec la source, mais d'orientation constante; il conviendra de prendre en compte les amplitudes résultantes si la direction de projection des particules est variable;

TABLEAU 3

CARACTÉRISTIQUES MOBILITÉ / DIRECTION DES SOURCES			
	Source fixe Direction constante	Source mobile Direction constante	Source mobile Direction variable
Exemples de machines	Scie à ruban Scie circulaire à format	Scie à déligner à lame mobile	Défonceuse
	Travail au guide à la toupie	Scie radiale	Travail à l'arbre à la toupie

- un dispositif mobile s'orientant de plus en fonction de la direction de projection.

Avec un dispositif de captage s'adaptant aux variations de l'émission (déplacement et éventuellement direction), on est ramené au cas du dispositif fixe où seules les amplitudes instantanées sont à prendre en compte.

s'adaptant aux variations de l'émission (déplacement et éventuellement direction). Cette disposition est très favorable, car elle permet de bénéficier pleinement de l'effet récepteur et permet de plus d'utiliser l'énergie cinétique des particules (*figure 23*).

Cependant dans certains cas, il est très difficile, voire matériellement impossible, d'orienter ainsi le dispositif de captage et l'énergie cinétique ne peut alors être utilisée.

4.5. Disposition du dispositif de captage

L'orifice du dispositif de captage ne peut être orienté en permanence face à la direction principale de projection des particules que pour les sources fixes ou les dispositifs mobiles

Dans le cas particulier d'une direction de projection verticale descendante, il peut être intéressant de bénéficier en outre de l'effet de la gravité. Le dessin du dispositif de captage sera conçu de façon à éviter les dépôts.

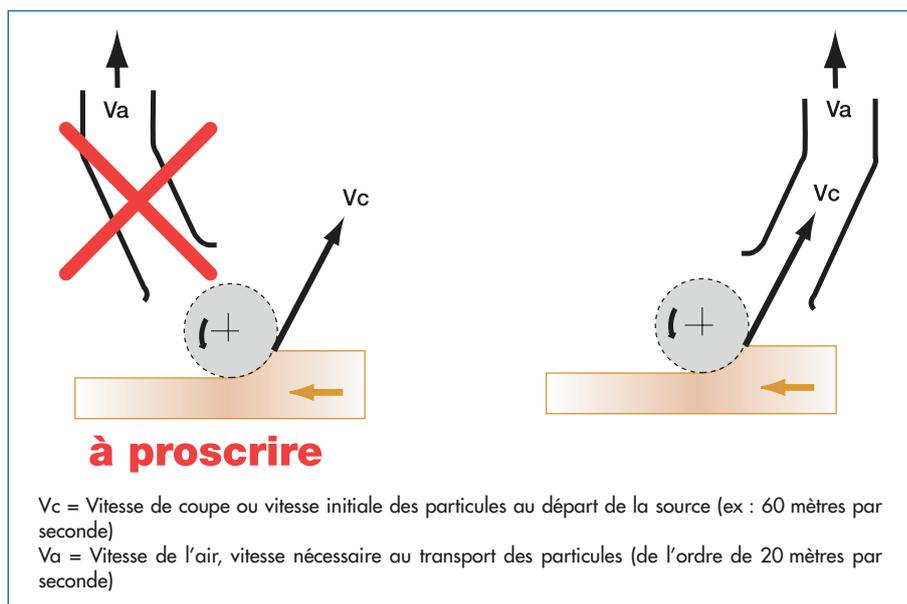


Figure 23. Disposition du dispositif de captage par rapport à l'émission.

ENCADRÉ 2

Intérêt économique d'un captage bien conçu

Les choix opérés lors de la conception d'un dispositif de captage efficace ne sont pas sans conséquences économiques. Mais le rôle du concepteur est de mettre en application les principes de captage développés dans cette brochure pour optimiser l'efficacité du captage de sa machine, c'est-à-dire récupérer la plus grande quantité des particules émises en utilisant le plus faible débit possible (jusqu'à cinq à dix fois moins que les valeurs couramment recommandées).

La justification du surcoût d'investissement qui en découle doit être expliquée à l'utilisateur en lui montrant les avantages qu'il peut en retirer tant pour des préoccupations de sécurité de ses employés et d'amélioration des conditions de travail, qui sont de sa responsabilité, que pour une meilleure qualité de sa production. À ces considérations s'ajoute l'économie d'énergie de chauffage de l'air entrant dans l'atelier obtenue grâce à une réduction du débit d'air aspiré pour une efficacité de captage des particules équivalente, voire le plus souvent améliorée. Un chiffrage même sommaire de ces éléments devrait lui permettre de vérifier que ce surcoût apparent sera très vite amorti.

Exemple

L'exemple de la défonceuse à commande numérique permet d'illustrer l'intérêt de considérer les amplitudes instantanées plutôt que résultantes. Les ordres de grandeur des débits d'aspiration à mettre en œuvre sont suivant les cas :

- 9 000 m³.h⁻¹ pour un dispositif encoffrant les têtes d'usinage ;
- 5 000 m³.h⁻¹ pour un dispositif mobile avec la source avec aspiration annulaire suivant 360° (cf. fiche 6) ;
- 1 000 m³.h⁻¹ (5 000 x 72/360) pour un dispositif mobile dont l'aspiration serait assurée au travers d'un secteur angulaire de 72° pivotant avec la direction de projection (cf. fiche 7).

4.6. Caractéristiques du dispositif de captage

Dans les trois cas de figures apparaissant au bas du logigramme, la disposition et la géométrie de l'ouverture du dispositif de captage devront permettre de couvrir les amplitudes de projection de l'émission. Le troisième cas amène à prendre en compte non plus les amplitudes instantanées mais les amplitudes résultantes au cours d'une même opération. Les éléments fournis au paragraphe 2.5.2 indiquent clairement que cela conduit à des dimensions de dispositif de captage et des débits d'aspiration nettement plus élevés qu'en considérant les seules amplitudes instantanées.

Lorsque l'ouverture du dispositif de captage n'est pas placée en permanence face à la direction de projection des particules, c'est-à-dire pour

les deux cas de droite au bas du logigramme, ne pouvant bénéficier ni de l'effet récepteur du dispositif de captage, ni de l'énergie cinétique des particules, il convient :

- tout d'abord de faire chuter l'énergie cinétique des particules en créant des obstacles efficaces et durables permettant de dévier ces particules dans l'orifice de captage ; ces obstacles peuvent être des parois matérielles, des balais-brosses, des jets d'air ; la pièce à usiner ou un gabarit adapté peuvent également faire office de parois ;

- ensuite, de mettre en œuvre, dans toute la zone de freinage de ces particules, une vitesse d'aspiration de l'ordre de 20 m.s⁻¹ pour les entraîner ; la vitesse des particules ayant fortement décru, leur transport est alors assuré par le flux d'air entrant dans le dispositif de captage ; le diagramme de la figure 24 ci-après représente l'évolution

des vitesses des particules et de l'air entre la source et le conduit de transport ; on constate qu'il ne se produit aucun arrêt des particules ;

- et également d'assurer la répartition la plus homogène possible des vitesses afin que l'air transporte les particules dans toute la zone de freinage et les évacue.

Dans le cas des sources fixes ou des dispositifs de captage s'adaptant aux variations de l'émission avec ouverture face à la projection, l'énergie cinétique est un paramètre favorable et il n'y a pas lieu de la réduire. Il se produit dans la zone d'aspiration du dispositif de captage un phénomène analogue à celui décrit par le diagramme de la figure 24.

Remarque 1

Ces parois matérielles ne doivent pas encoffrer complètement l'outil et la pièce, mais doivent ménager des orifices d'entrée d'air. Des entrées d'air sous-dimensionnées génèrent des pertes de charge élevées et le risque de ne pouvoir assurer le débit d'aspiration nécessaire tant pour un captage satisfaisant que pour le transport des déchets dans les conduits. Une entrée d'air supplémentaire peut parfois être utile.

Remarque 2

Afin de limiter le phénomène de rebond des particules sur les parois du dispositif de captage et leur reprise par l'outil en rotation accompagnée d'éjection, on s'efforcera d'éviter les singularités dans le dessin de ce dispositif.

4.7. Proximité du dispositif de captage

L'ouverture du dispositif de captage doit bien évidemment être placée au plus près de la source, sans que cela constitue une priorité par rapport à la prise en compte des paramètres évoqués ci-dessus. On a montré clairement au paragraphe 2.5.1 que l'éloignement du dispositif de captage se traduit par une augmentation de ses dimensions et du débit d'aspiration avec un risque de dégradation des performances de captage.

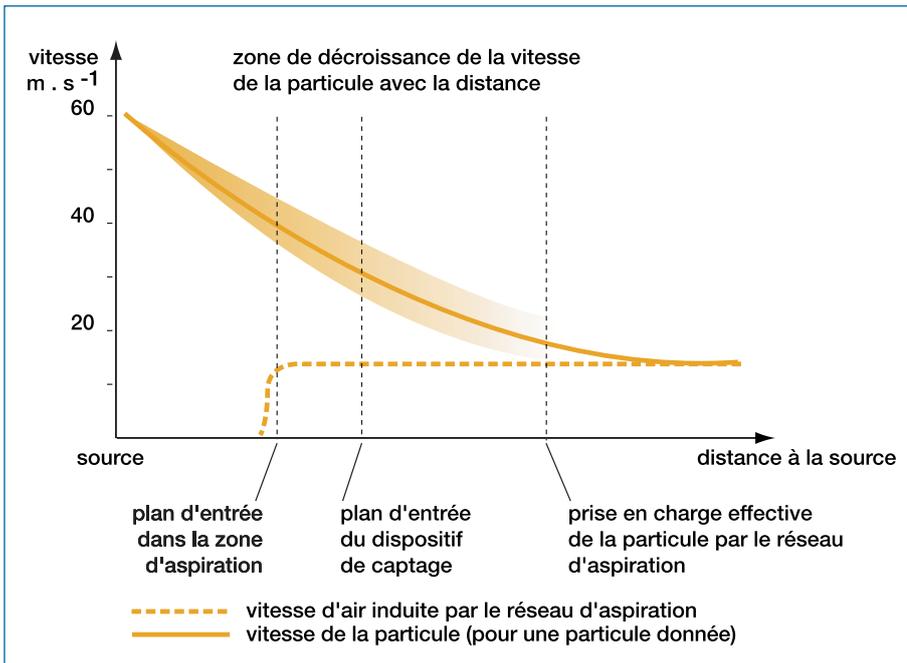


Figure 24. Diagramme des vitesses de l'air et des particules.

4.8. Sources secondaires

Sur certaines machines, on observe l'existence d'une source secondaire. Il convient de traiter ces sources secondaires suivant une démarche analogue à celle décrite pour la source principale.

Pour les scies circulaires à table ou à format par exemple, une émission secondaire est en partie provoquée par la lame qui reprend dans la fente une faible épaisseur de matériau et éjecte ainsi des particules au-dessus de la pièce. Un dispositif de captage intégré à la cape de protection permet de maîtriser cette source secondaire pour ces machines (figure 25).

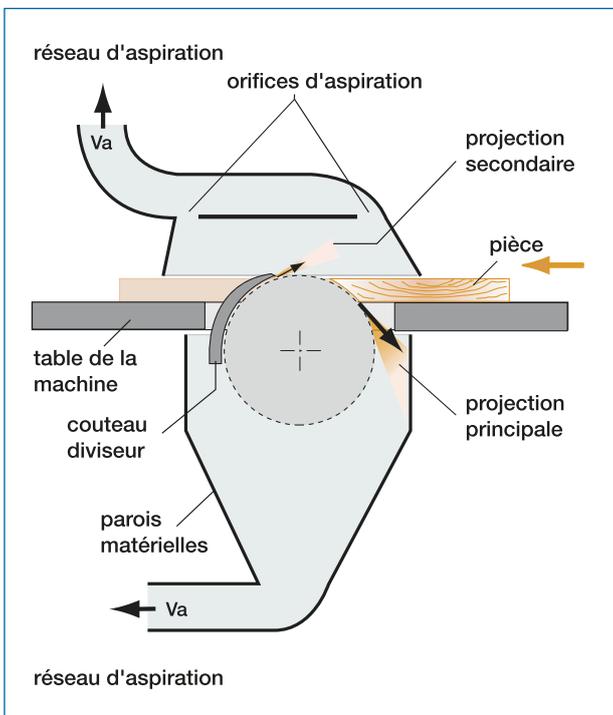


Figure 25. Exemple d'émission secondaire sur une scie circulaire à table ou à format.

Annexe 1

Évaluation des performances de captage

L'un des critères décrits ci-après peut être utilisé pour l'évaluation des performances des dispositifs de captage.

Efficacité de captage

L'efficacité de captage d'un dispositif d'aspiration est définie comme le rapport du débit-masse de poussières véhiculées par l'air et directement captées par le dispositif de captage au débit-masse total de ces poussières émises par la machine.

Le principe de mesurage repose sur une méthode par traçage consistant à simuler l'émission de poussières par un traceur plus facile à générer, à prélever et à analyser. Celui-ci est généré suc-

cessivement dans le conduit (concentration C_2) et au(x) point(s) d'émission de poussières (concentration C_3). Le mélange air/traceur est prélevé à une distance minimale de 20 diamètres de l'entrée du conduit d'aspiration à l'aide d'une sonde multitrous. Une correction de niveau résiduel (concentration C_1 avant génération, après) est effectuée. Ces différentes phases sont illustrées aux figures 26 et 27).

Les conditions de génération du traceur doivent être adaptées à chaque machine spécifique de façon à reproduire au mieux les caractéristiques d'émission et de diffusion des poussières.

Le débit de gaz traceur est maintenu constant. Si le débit d'air aspiré peut être considéré comme constant,

alors l'efficacité moyenne de captage s'obtient à partir des seules concentrations par :

$$\eta = \frac{C_3 - C_1'}{C_2 - C_1} \times 100 \quad (\%)$$

Ce critère et sa méthode de mesurage sont décrits dans la norme NF EN 1093-4 [4].

Indice d'assainissement

Dans certains cas, les caractéristiques de l'émission de poussières sont telles que leur comportement aérodynamique ne peut pas être reproduit correctement à l'aide d'un gaz traceur (vitesse de projection élevée, diamètre de particules supérieur à $30 \mu\text{m}$, émission secondaire...). Une solution alternative consiste alors à faire appel à un critère d'évaluation basé sur des mesures relatives de concentrations du polluant réel en un ou plusieurs points autour de la machine.

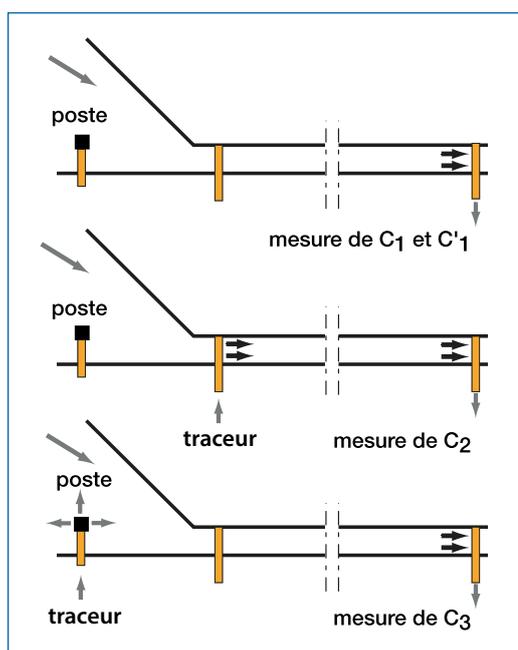


Figure 26. Efficacité de captage. Différentes phases du mesurage.

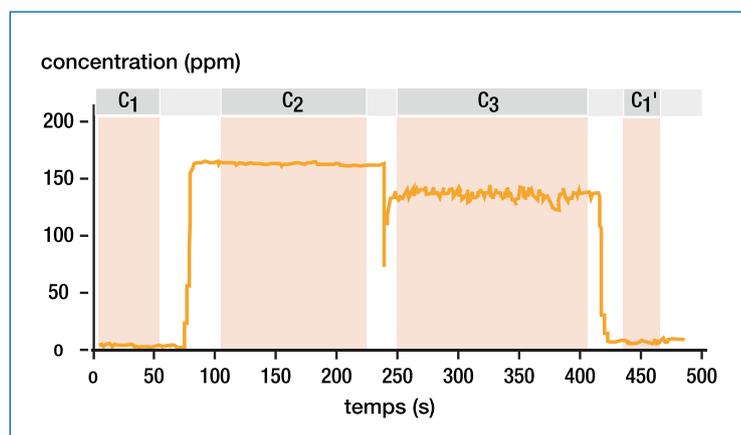


Figure 27. Signal de concentration en gaz traceur obtenu lors d'une mesure d'efficacité de captage.

L'indice d'assainissement est défini comme le gain apporté par le fonctionnement du dispositif de captage (exprimé en écart de concentration de poussière) rapporté à la concentration en l'absence d'aspiration, avec correction éventuelle de niveau résiduel.

Cet indice s'exprime ainsi :

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

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

Cet indice permet de comparer les performances de dispositifs de captage sur une machine donnée et donc

de qualifier les modifications apportées à ces dispositifs. **Les concentrations nécessaires à la détermination de cet indice ne doivent en aucun cas être utilisées en absolu, par exemple pour une estimation de l'exposition au poste de travail.**

Ces concentrations peuvent être déterminées soit à partir de prélèvements sur filtre, soit directement à l'aide d'appareils de mesure de concentration de poussière.

L'indice d'assainissement et sa méthode de mesurage sont décrits dans la norme NF EN 1093-11 (AFNOR) [5].

Remarque

La méthode ne s'applique pas lorsque l'accumulation de déchets consécutive à l'arrêt de l'aspiration risque de gêner le fonctionnement normal de la machine.

Annexe 2

Méthodologie de conception d'un dispositif de captage Exemples d'application

1. Scie circulaire à table

1.1. La machine

1.1.1. L'outil

Lame de scie circulaire travaillant en opposition et fixe en cours de travail.

Son plan peut être orienté (généralement de 90 à 45°) par rapport au plan de la table. L'outil est réglable en hauteur en fonction de l'épaisseur du matériau à couper.

La présence éventuelle d'un inciseur provoque une émission supplémentaire sous la table.

1.1.2. Les pièces à usiner

Il s'agit de panneaux ou de bois massif avancés manuellement sur une table fixe. Les usinages consistent en des coupes droites ou angulaires.

1.2. Caractéristiques de l'émission

L'émission principale sous la table (lame et éventuellement inciseur) n'est pas prise en compte dans cette fiche. Seule est traitée l'émission secondaire.

1.2.1. Observation de la source

La source est fixe et l'émission commence dès que la lame sort de la partie supérieure de la pièce. On considère la direction des particules comme constante.

1.2.2. Amplitude de projection radiale instantanée

La poussière est toujours générée dans le plan de la lame :

- d'une part sous la table, à l'attaque

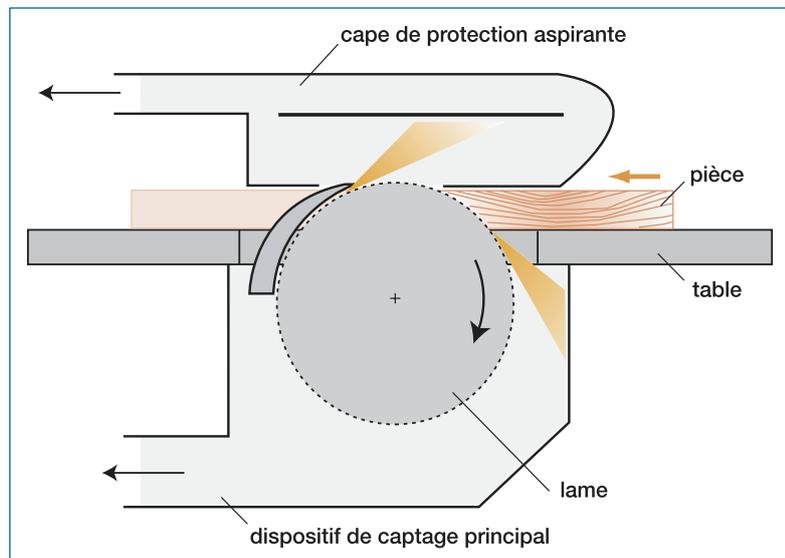


Figure 1. Principe de fonctionnement.

et pendant toute la durée du sciage (émission principale),

- d'autre part à la sortie du plan supérieur de la pièce puis pendant tout le sciage (émission secondaire).

L'émission secondaire est tangentielle à la lame avec un angle de dispersion α d'une vingtaine de degrés pouvant varier suivant les caractéristiques de la denture.

1.2.3. Amplitude de projection axiale instantanée

L'angle β reste constant et se situe autour d'une vingtaine de degrés pouvant varier suivant les caractéristiques de la denture.

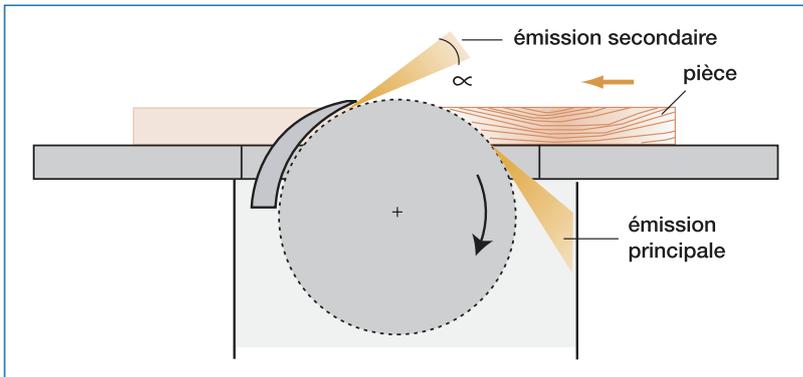


Figure 2. Amplitude de projection radiale instantanée.

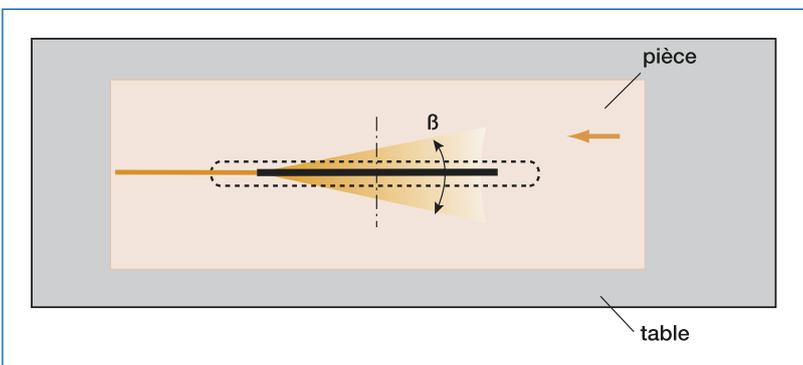


Figure 3. Amplitude de projection axiale instantanée.

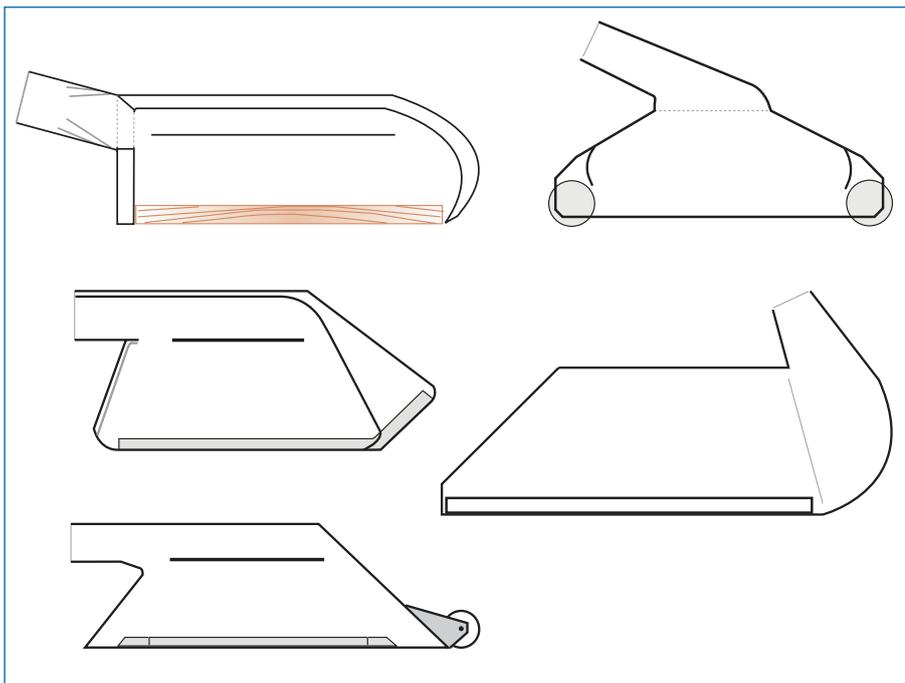


Figure 4. Capes de protection aspirantes.

1.3. Utilisation du logigramme

Au cours d'une même opération d'usinage (même position de la lame), on détermine des amplitudes de projection axiale et radiale résultantes bien définies.

On applique le logigramme de la page suivante.

1.4. Exemples de réalisation

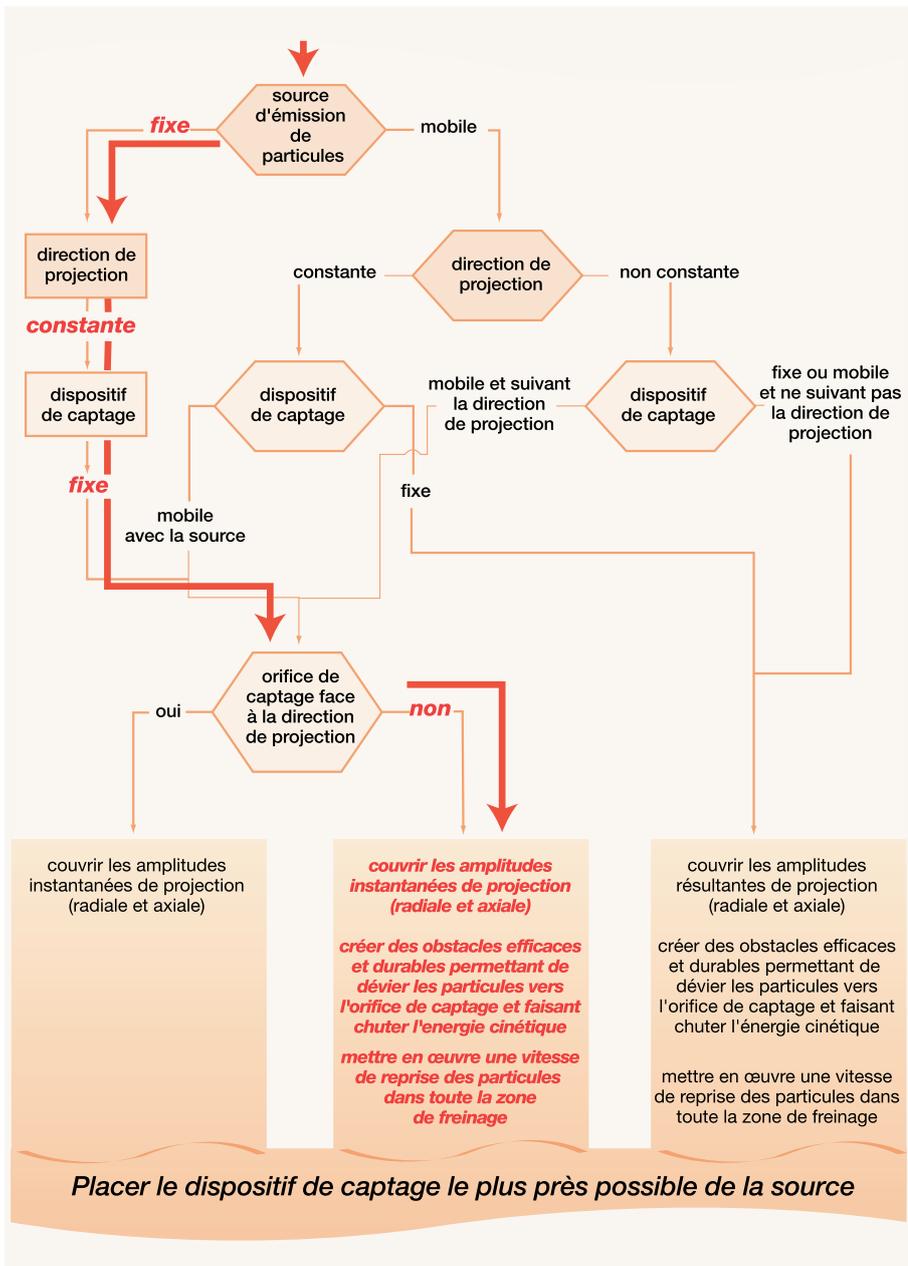
La solution consiste à aspirer dans la cape de protection. Les capes commercialisées présentent des géométries diverses comme le montrent les exemples ci-dessous.

De nouvelles capes de protection avec aspiration avant apparaissent sur le marché.

Amplitudes de projection axiale et radiale résultantes globales

La scie circulaire à table offre la possibilité de réaliser des coupes droites ou des coupes angulaires dans différents plans par rapport à la table. À chaque angle de coupe correspond une direction de projection déterminée. L'ensemble des amplitudes de projection axiale et radiale résultantes détermine un volume à traiter équivalent aux différentes latitudes de coupe de la machine. Il est donc nécessaire de couvrir la globalité des amplitudes de projection résultantes axiale et radiale afin de s'adapter à toutes les configurations de coupe. Dans la pratique, on utilise des capes étroites pour les coupes droites et des capes larges pour les coupes angulaires. La figure 5 présente deux types de cape permettant les coupes angulaires.

La partie basse des capes est protégée par des lisses. Celles-ci permettent en outre de limiter l'entrée d'air et d'améliorer le confinement.



Remarque

Il est important de rappeler qu'une scie circulaire à format qui n'est pas équipée de cape de protection ne répond pas aux exigences de la réglementation. Cette cape fait partie intégrante de la machine afin d'assurer la fonction de protection de l'opérateur contre les risques de coupe. Le seul fait de la mettre en place sur la scie, sans raccordement au réseau d'aspiration, permet déjà une amélioration de l'efficacité de captage. Lorsqu'elle est reliée à l'aspiration, le gain est d'environ 15 % à partir de $700 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, ce qui permet d'atteindre un indice d'assainissement d'environ 95 %. La répartition du débit d'air total doit être de 60 % pour l'aspiration sous la table et de 40 % pour l'aspiration dans la cape.

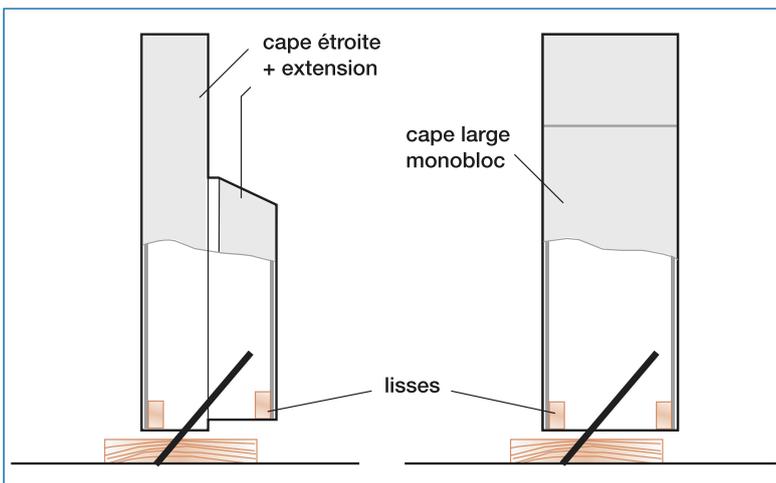


Figure 5. Capes larges.

2. Scie verticale à panneaux

2.1. La machine

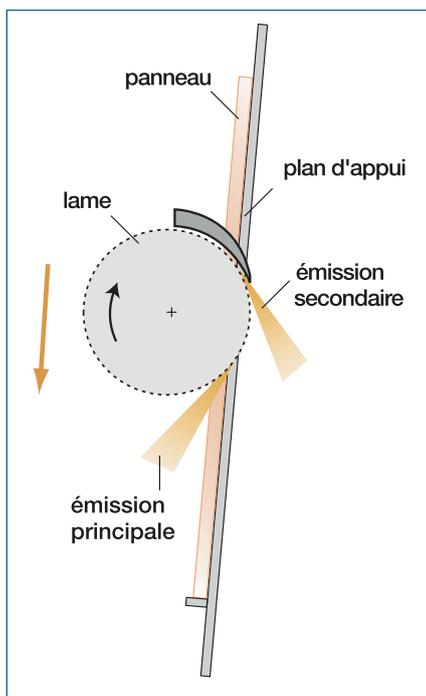


Figure 1. Principe de fonctionnement.

2.1.1. L'outil

La lame de scie circulaire travaille en opposition et peut se déplacer verticalement ou horizontalement.

Son plan est fixe et perpendiculaire au plan d'appui. La distance de l'axe de rotation de la lame au plan de travail reste constante après la plongée pendant toute l'opération de sciage quelle que soit l'épaisseur du matériau à couper.

La présence éventuelle d'un inciseur constitue une autre source d'émission.

2.1.2. Les pièces à usiner

Il s'agit de panneaux positionnés sur le plan d'appui de la machine. Les usinages consistent en des coupes droites de part en part ou en plein bois (usinage d'oculus).

2.2. Caractéristiques de l'émission

L'émission principale étant déjà prise en compte quel que soit le modèle, cette fiche ne traite que l'émission secondaire.

2.2.1. Observation de la source

La source est mobile et l'émission commence dès que la lame sort de la face arrière de la pièce. On considère la direction des particules comme constante.

2.2.2. Amplitude de projection radiale instantanée

La poussière est toujours générée dans le plan de la lame :

- d'une part du côté du groupe de sciage, à l'attaque et pendant toute la durée du sciage (émission principale),
- d'autre part à la sortie de la face arrière du panneau, puis pendant tout le sciage (émission secondaire).

L'émission secondaire est tangentielle à la lame avec un angle de dispersion α

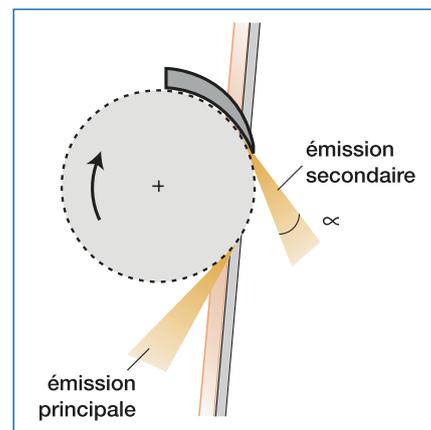


Figure 2. Amplitude de projection radiale instantanée.

d'une vingtaine de degrés pouvant varier suivant les caractéristiques de la denture.

2.2.3. Amplitude de projection axiale instantanée

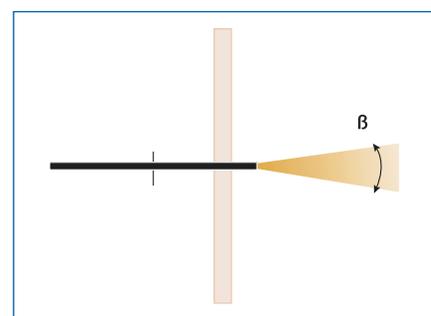


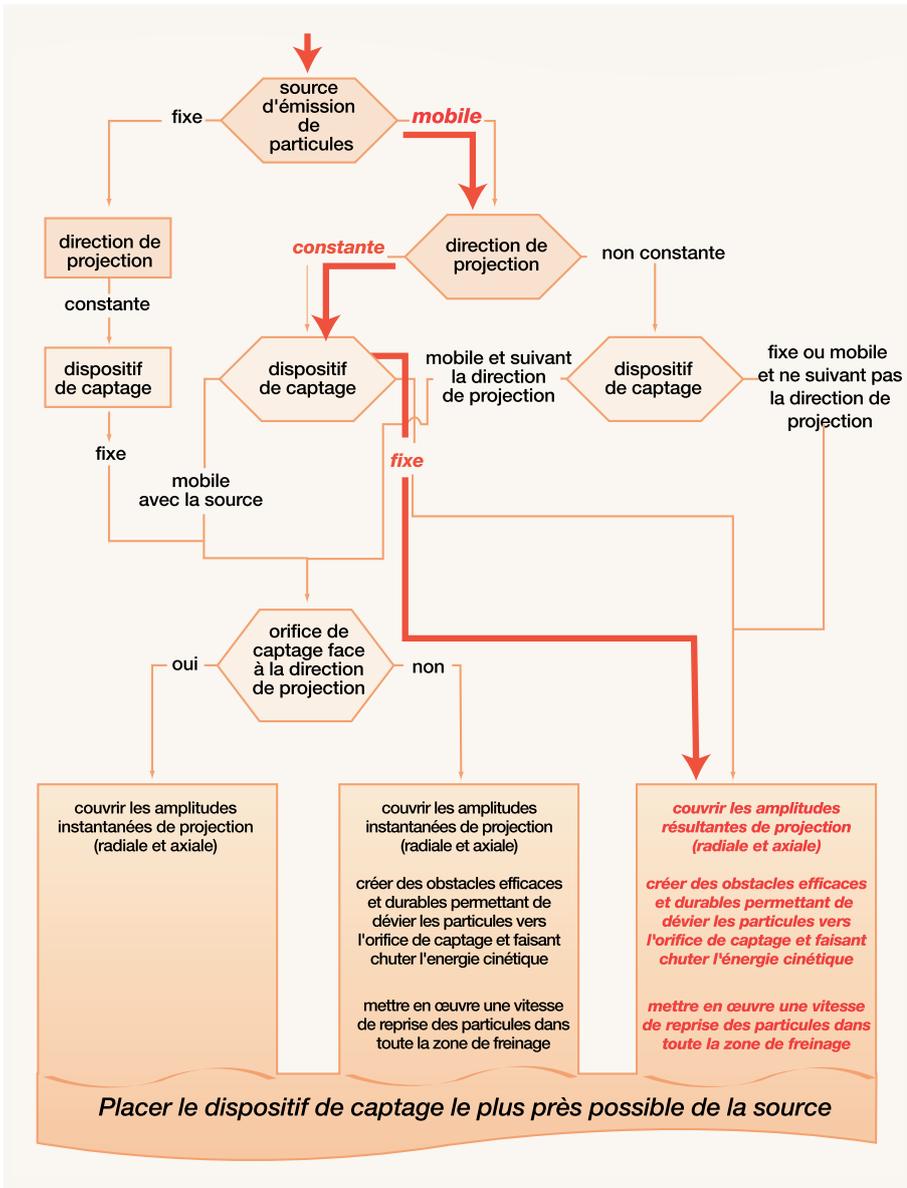
Figure 3. Amplitude de projection axiale instantanée.

L'angle β reste constant et se situe autour d'une vingtaine de degrés pouvant varier suivant les caractéristiques de la denture.

2.3. Utilisation du logigramme

Au cours d'une même opération d'usinage (même position de la lame), on détermine des amplitudes de projection axiale et radiale résultantes bien définies.

On applique le logigramme suivant au cas d'un dispositif de captage fixe. La solution du dispositif mobile existe également.



d'air engendrés par le retrait des pièces débitées.

2.4.2. Deuxième solution

Une autre solution consiste à placer les plans de coupe en des positions prédéterminées. Le plan de coupe devient alors le plan de référence et la cote désirée est obtenue par le déplacement de la butée (mobile dans ce cas). La lame se déplace dans des fentes qui canalisent les poussières vers un collecteur principal. Cette solution limite considérablement les amplitudes résultantes à couvrir et donc le débit d'aspiration.

Le débit d'air à mettre en œuvre sur ce type de machine est de l'ordre de 1500 à 2000 m³.h⁻¹.

Les figures 4 et 5 de la page suivante présentent les schémas des deux solutions appliquées à des coupes verticales.

Remarque

Le même principe de captage s'applique aux coupes horizontales.

2.4. Exemples de réalisation

L'émission secondaire se produit derrière le panneau. Le captage suppose de couvrir les amplitudes de projection résultantes. Deux solutions peuvent être mises en œuvre.

2.4.1. Première solution

Traditionnellement, le dimensionnement d'une coupe se fait à partir d'une référence fixe (matérialisée par une butée fixe) et du déplacement de la poutre support du groupe de sciage. L'émission secondaire se produit donc suivant une verticale (ou une horizontale)

pouvant occuper une position quelconque dans la majeure partie du plan d'appui. Le dispositif de captage doit assurer la couverture des amplitudes de projection résultantes s'étendant à ce plan, il convient alors de mettre en œuvre un débit d'air important. L'efficacité d'un tel dispositif est médiocre d'autant plus que les vitesses de reprise des particules sont trop faibles pour les entraîner correctement. Malgré l'obstacle mis en place pour dévier les particules vers l'orifice de captage, les plus fines peuvent échapper à ce captage du fait du confinement limité par les dimensions des panneaux à couper et des mouvements

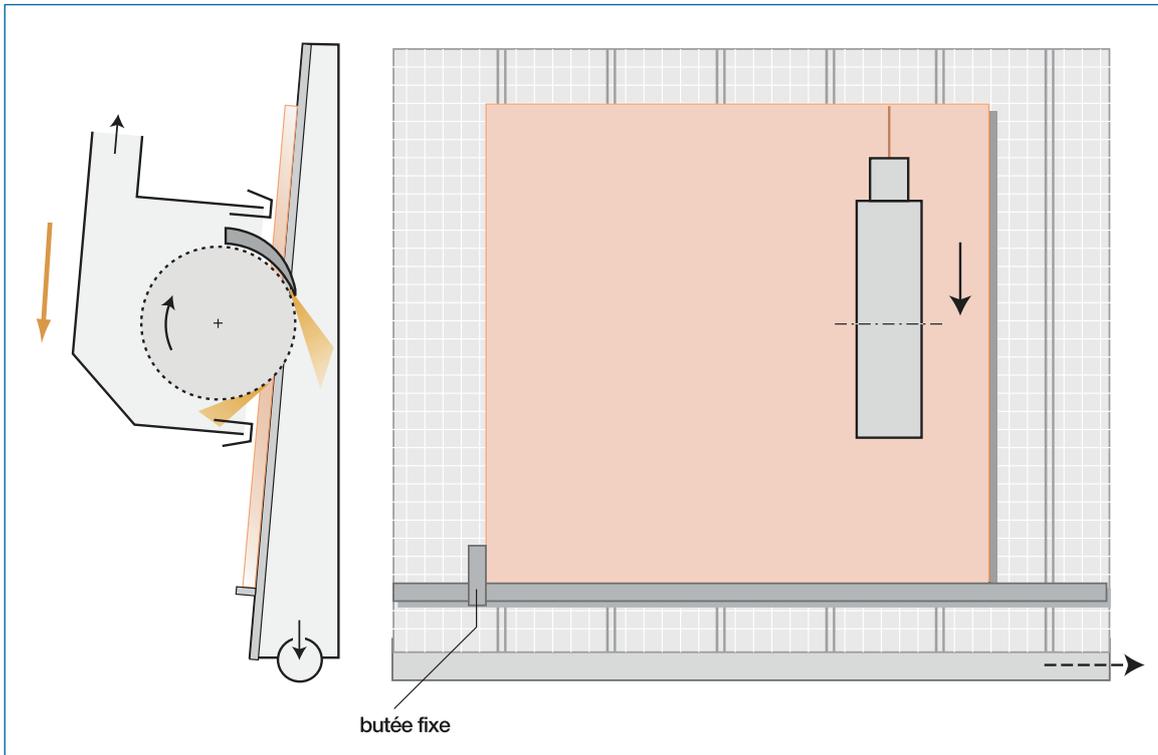


Figure 4. Conception classique.

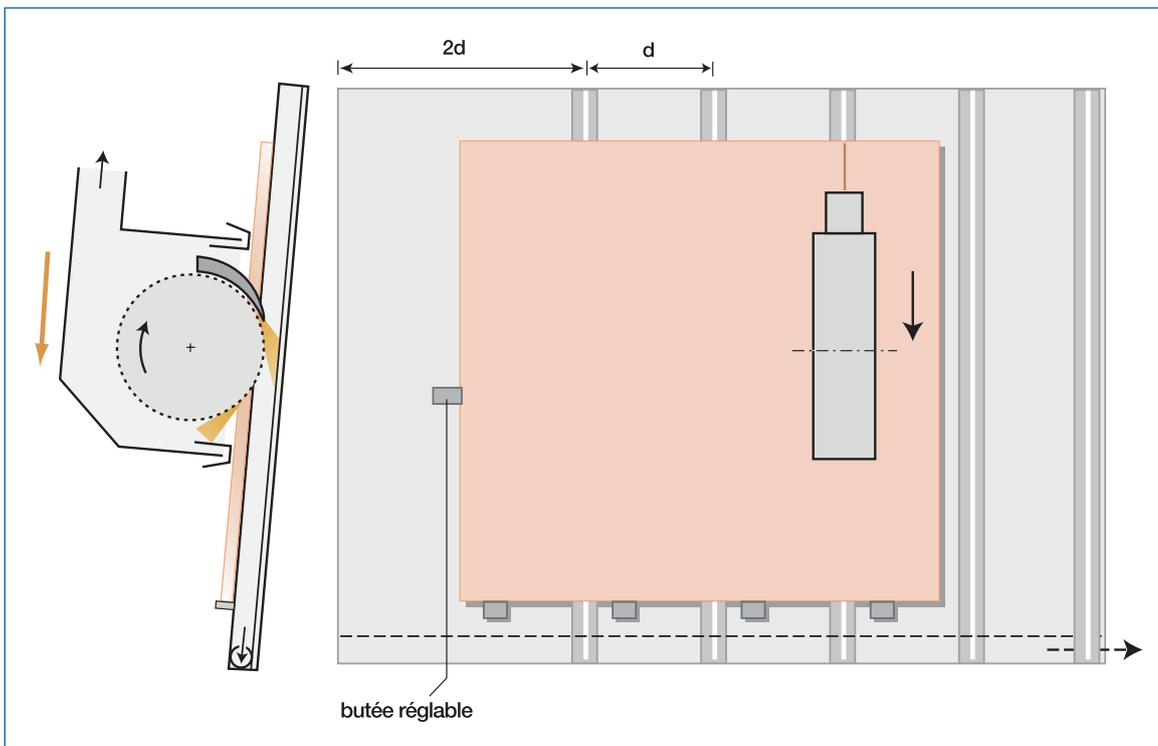


Figure 5. Autre conception.

3. Scie radiale à aménagement manuel

3.1. La machine



3.1.1. L'outil

Lame de scie circulaire travaillant en avalant et dont le plan peut être orienté généralement de 90 à 45° par rapport au plan de la table et/ou de $\pm 60^\circ$ par rapport au plan perpendiculaire au guide (angle δ , figure 1).

Le premier trait de scie pratique dans la table, sur toute la capacité de sciage, une rainure de faible profondeur et de largeur équivalente à la voie de la lame

3.1.2. Les pièces à usiner

Elles ont généralement une surface de référence plane.

Les usinages consistent en des coupes droites ou angulaires sur des pièces brutes (prédébit) ou sur des pièces usinées (corniches, charpentes...)

La machine est conçue pour tronçonner perpendiculairement ou réaliser des coupes d'onglet.

L'opération peut permettre de réaliser des usinages à mi-bois (assemblage de charpentes, claustras...).

3.2. Caractéristiques de l'émission

3.2.1. Observation de la source

La source est mobile depuis le début de l'attaque de la pièce jusqu'à son épaisseur maximale (figure 2a). Elle se déplace ensuite **parallèlement au plan** de la table pendant le reste de la coupe (figure 2b). On considère la direction des particules comme non constante.

Dans le cas de l'assemblage à mi-bois, la source se déplacera **dans un autre plan parallèle** à celui de la table. On traite ici une seule opération, cependant en fonction des possibilités de coupes (droites ou angulaires), cette émission pourra prendre des directions différentes dans d'autres plans toujours parallèles à la table (figure 4).

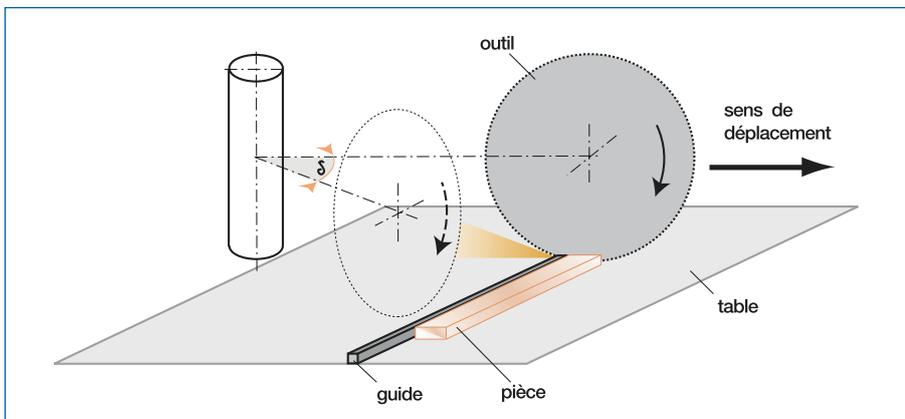


Figure 1. Principe de fonctionnement. Groupe de sciage perpendiculaire au guide ou incliné par rapport au guide.

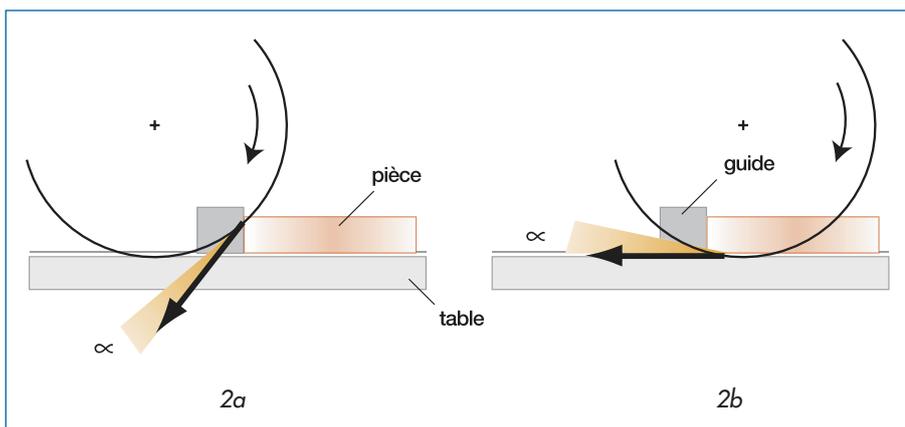


Figure 2. Amplitude de projection radiale instantanée.

3.2.2. Amplitude de projection radiale instantanée

La poussière est toujours générée dans le plan de la lame :

– dans un premier temps, au moment de l'attaque de la pièce comme cela est présenté à la *figure 2a*,

– ensuite, en plein bois, à partir de son point de tangence avec la table (*figure 2b*). La présence de celle-ci interdit l'ouverture de l'angle de dispersion α vers le bas. Sa valeur est d'une quinzaine de degrés.

3.2.3. Amplitude de projection axiale instantanée

L'observation de l'amplitude axiale instantanée pour ce type d'usinage met en évidence une variation de l'angle β (*figure 3*).

Au départ, cet angle se situe autour d'une vingtaine de degrés. Il va se limiter ensuite. Le trait de scie dans le guide, dans la pièce et dans la table canalise le flux de particules.

À l'arrière du guide où seule subsiste la rainure dans la table, le flux sera en partie canalisé dans celle-ci et le reste sera dispersé suivant l'angle β maximum.

3.3. Utilisation du logigramme

Au cours d'une même opération d'usinage (même position de lame), on détermine des amplitudes de projection axiale et radiale résultantes bien définies.

On applique le logigramme ci-dessous.

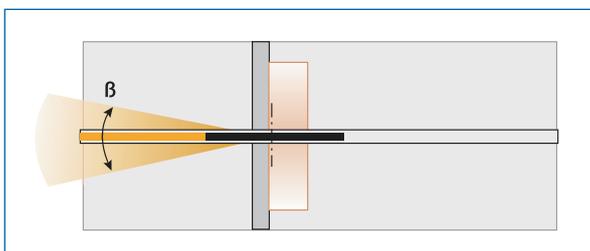
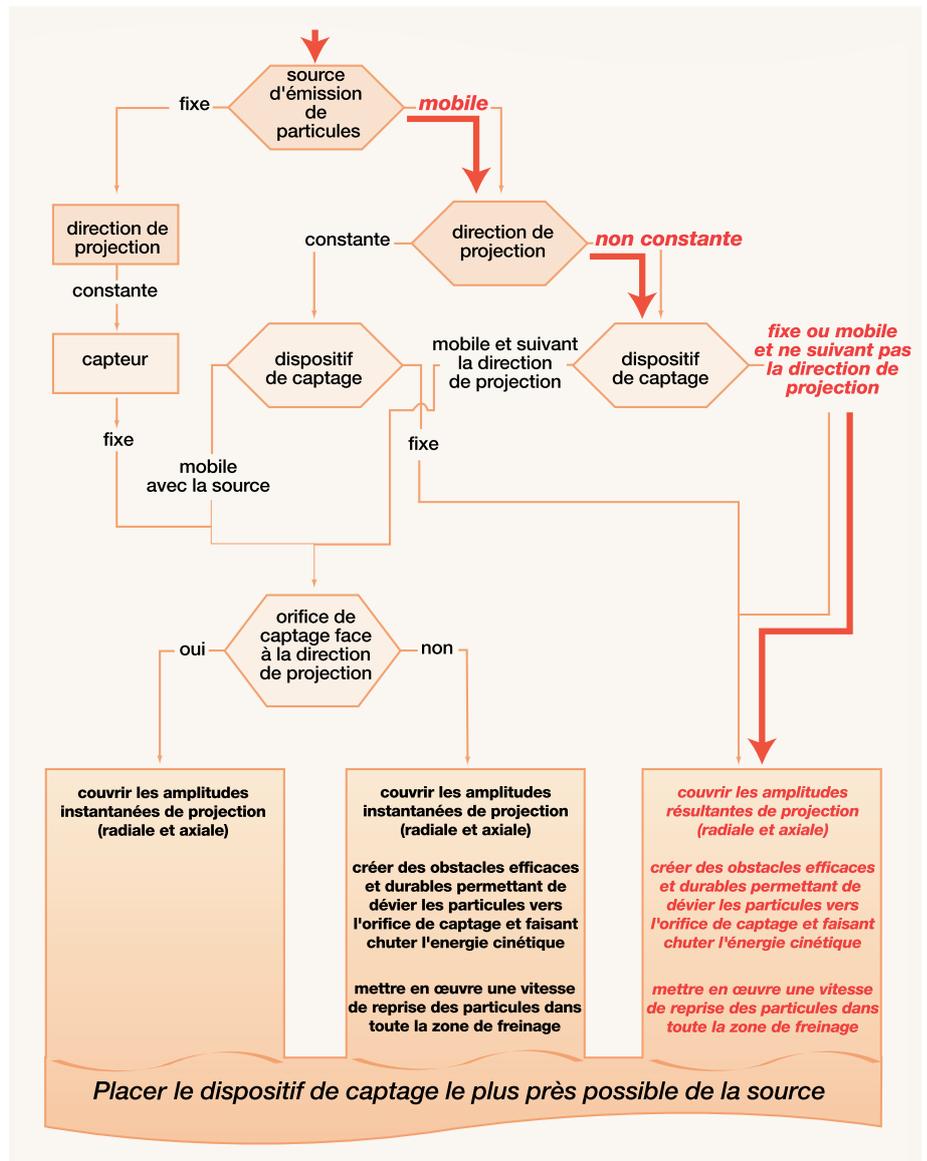


Figure 3. Amplitude de projection axiale instantanée.



Remarques

• Dans la plupart des configurations de travail sur cette machine, la durée pendant laquelle la direction de projection des particules varie est très courte par rapport à la durée totale d'émission. Considérer cette direction comme constante modifie le trajet sur le logigramme mais conduit aux mêmes recommandations *in fine*.

• Les amplitudes résultantes sont réduites par la présence du trait de scie dans la table qui canalise le jet de particules. Cette situation ne favorise pas, a priori, la reprise aisée des particules. En effet, leur concentration va créer un agglomérat qui sera plus difficilement aspirable qu'un jet dispersé.

3.4. Exemple de réalisation sur machine existante

La figure ci-dessous présente une solution de captage des particules pour cette machine.

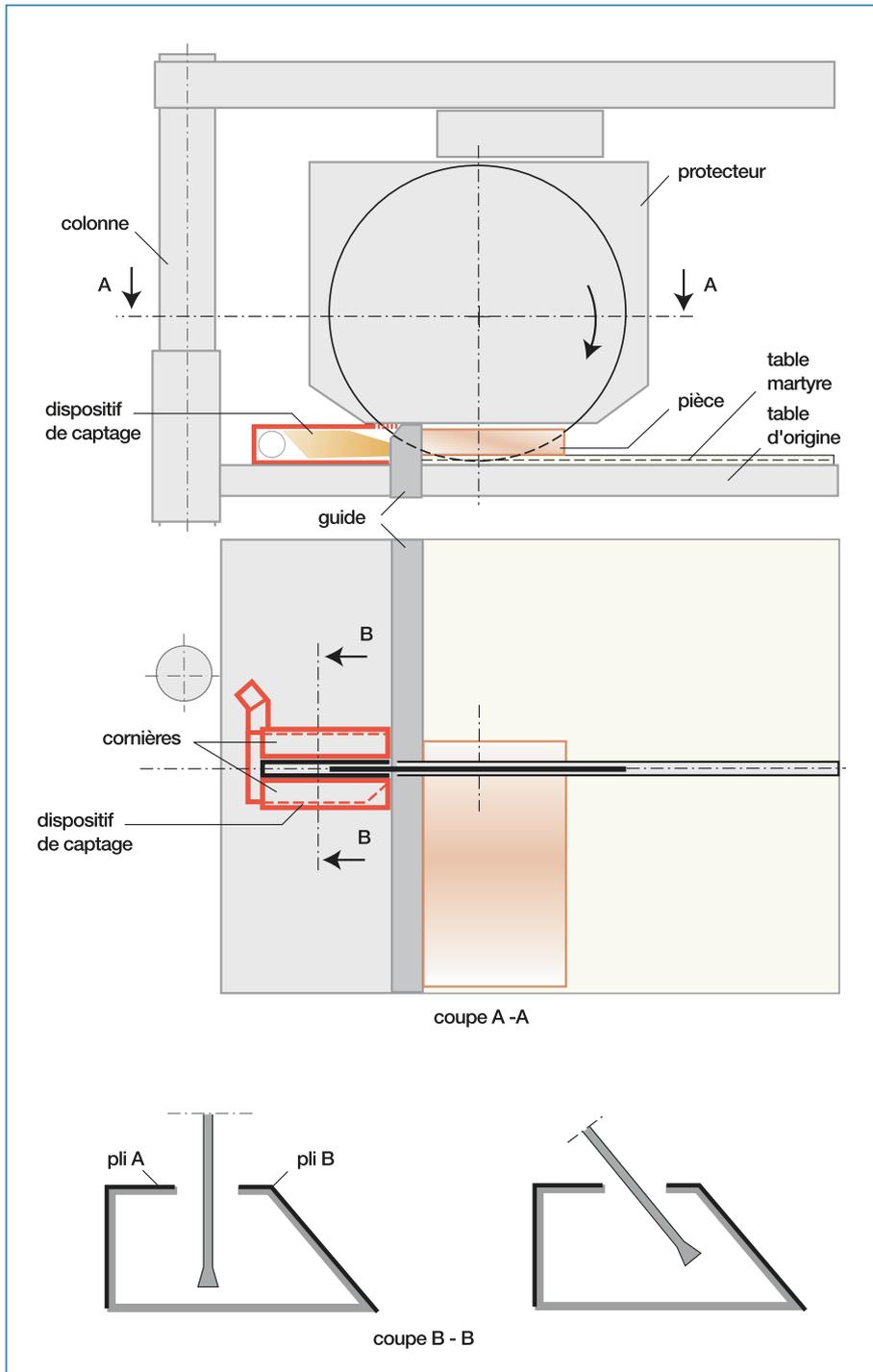


Figure 4. Dispositif de captage.

3.4.1. Principe et description

(figure 4)

Fixation du dispositif de captage

La colonne a été choisie comme point de référence fixe. Cette colonne peut être fixe ou orientable et disposer de latitude de monte et baisse pour la profondeur de passe de la lame.

Il faudra créer une adaptation permettant la fixation et la rotation du dispositif de captage et éventuellement sa monte et baisse aussi bien pour les machines en service que pour les modèles à venir.

La table

La rainure dans la table à l'arrière du guide limite la dispersion du jet de poussière. Toutefois, pour éviter de l'endommager, il faut installer une table «martyre» qui va rehausser le plan de travail. Ce gain de hauteur permettra de faire pénétrer la lame dans le dispositif sans le couper de part en part. Sa longueur devra correspondre à la distance entre l'arrière du guide (en position arrière maximale) et la colonne.

On rehaussera également le guide afin de conserver une bonne tenue de la pièce à scier.

La hauteur du dispositif de captage devra correspondre à celle du nouveau guide afin que le protecteur de la lame puisse venir s'appuyer sur ce dispositif en position de repos. Le contact permanent de la base du protecteur avec le dessus du dispositif supprime l'effort au moment du passage du guide.

Qu'il soit à réglage automatique ou manuel, le protecteur devra toujours être en appui sur le dispositif de captage afin de supprimer le risque de tout contact avec la lame au repos.

3.4.2. Amplitudes de projection axiales et radiales résultantes globales

La scie radiale offre la possibilité de réaliser des coupes droites ou des coupes angulaires dans différents plans par rapport au guide et à la table. À chacune des différentes opérations de coupe correspond une direction de projection déterminée. L'ensemble des amplitudes de projection axiale et radiale résultantes détermine un volume à traiter équivalent aux différentes latitudes de coupe de la machine.

Il est donc nécessaire de couvrir la globalité des amplitudes de projection résultantes axiale et radiale afin de s'adapter à toutes les configurations de coupe.

3.4.3 Configurations de coupe les plus courantes

La lame est perpendiculaire au guide et perpendiculaire à la table.



La lame n'est plus perpendiculaire au guide mais est perpendiculaire à la table. Le dispositif pivote autour de la colonne pour se placer face à la position de coupe.



La lame est perpendiculaire au guide et inclinée par rapport à la table. Le dispositif de captage doit être déplacé latéralement jusqu'à la position de coupe grâce au système de réglage prévu à cet effet⁽¹⁾.



La lame n'est plus perpendiculaire au guide et est inclinée par rapport à la table. Le dispositif de captage pivote autour de la colonne et doit être déplacé latéralement jusqu'à la position de coupe grâce au système de réglage prévu à cet effet⁽¹⁾.



Pour la réalisation d'assemblages à mi-bois, généralement perpendiculaires au guide, le dispositif dont la fixation reste, dans ce cas, solidaire de la colonne se déplacera avec elle vers le haut.



Suivant les différentes coupes angulaires, le dispositif de captage s'éloignera plus ou moins de l'arrière du guide. Des cornières réglables indépendamment manuellement ou mieux automatiquement, placées de part et d'autre du dispositif, permettront alors d'obturer les espaces laissés libres.

Remarques

Il a été observé que l'efficacité de captage du dispositif était fonction non seulement de ses dimensions mais aussi de la forme du profilé. En effet, la présence des plis A et B (figure 4), de part et d'autre de la lame, limite fortement l'éjection des particules vers l'extérieur. La hauteur du dispositif de captage devra être au minimum de 80 mm pour permettre la mise en place de la pièce de raccordement à l'installation d'aspiration. Cette pièce sera placée sur la partie chanfreinée du profil et inclinée d'une vingtaine de degrés.

Pour optimiser l'efficacité de captage, il serait préférable que l'arrière du dispositif aille au-delà de la fente pratiquée par la lame et possède une surface inclinée pour dévier les particules vers le bas et vers la buse.

La mise en place de ce dispositif de captage sur la scie radiale permet d'obtenir un indice d'assainissement d'environ 95 % pour un débit d'air de 700 m³.h⁻¹.

3.5. Application aux machines neuves

Dans le cas d'une machine neuve, le problème ne se pose plus dans les mêmes termes car la démarche de l'intégration du captage dès la conception permet de s'affranchir de certaines contraintes technologiques. Il est par exemple envisageable de garder le plan de sciage fixe et de faire pivoter le guide (ou l'ensemble guide-table) pour réaliser les coupes d'angle.

Cette disposition permet de concevoir un système de captage plus simple et directement intégré dans la table, centré sur le plan de sciage.

(1) Dans ce cas, l'opérateur descendra la colonne pour atteindre le niveau de la table martyre. Il faut donc prévoir une latitude de réglage en hauteur.

4. Scie à ruban à table

4.1. La machine

4.1.1. L'outil

La scie peut être équipée de «ruban» ayant des caractéristiques de largeur, d'épaisseur et de denture différentes suivant les travaux à réaliser. La forme de denture la plus utilisée est dite «triangulaire couchée». La vitesse linéaire de la lame est de l'ordre de 20 m.s^{-1} .

4.1.2. Les pièces à usiner

Cette machine est destinée aux sciages rectiligne et curviligne de pièces de bois et de panneaux. On l'utilise pour déligner, chantourner ou exécuter des tenons.

4.2. Caractéristiques de l'émission

4.2.1. Observation de la source

La source est fixe et sa direction est constante. Les particules sont générées à des vitesses de l'ordre de 20 m.s^{-1} .

4.2.2. Amplitude de projection axiale instantanée

(figure 1)

Dans ce cas d'outils travaillant selon un déplacement rectiligne, le plan axial est perpendiculaire à l'axe des volants. L'angle de dispersion dans ce plan ne dépasse pas une dizaine de degrés.

4.2.3. Amplitude de projection radiale instantanée

(figure 1)

Dans ce cas, le plan axial passe par le plan de l'outil et l'angle de dispersion ne dépasse pas une dizaine de degrés.

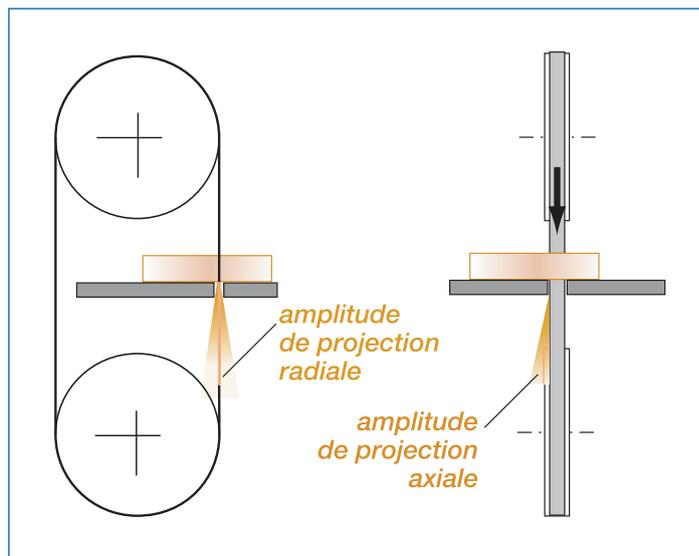


Figure 1. Amplitudes de projection radiale et axiale instantanées.

4.3. Utilisation du logigramme

La source d'émission des particules est fixe et la direction de projection constante. Le dispositif de captage fixe doit couvrir les amplitudes de projection instantanées et être placé dans la direction de projection des particules.

4.4. Exemple de réalisation

Cet exemple présente le dispositif aspirant placé dans la direction des particules et qui a été réalisé, adapté et testé sur une machine existante (figure 2).

Ce dispositif de captage de type enveloppant implanté directement sous la table de la machine englobe une partie de la lame et du volant inférieur en laissant un passage minimal. Le mouvement d'air provoqué par la rotation du volant et par la lame ainsi insérés dans le carter s'ajoute au flux induit par l'aspiration. L'air pénètre par diverses ouvertures dans la partie supérieure. Une entrée d'air additionnelle canalisée par une plaque dirige le flux sur la lame afin de la nettoyer en permanence.

Ce dispositif permet un captage direct des particules en évitant qu'elles soient reprises par la lame, véhiculées vers le carter supérieur et dispersées ensuite dans l'environnement de l'opérateur.

Avec ce type de dispositif de captage, l'indice d'assainissement mesuré est supérieur à 90 % pour un débit d'air d'environ $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

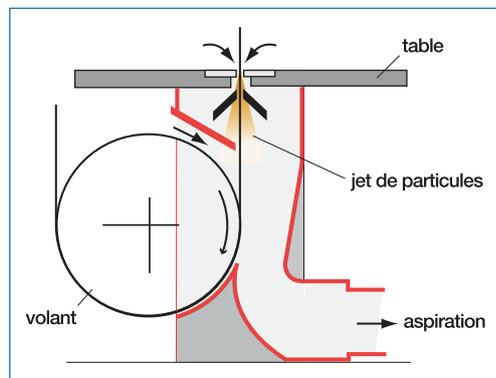
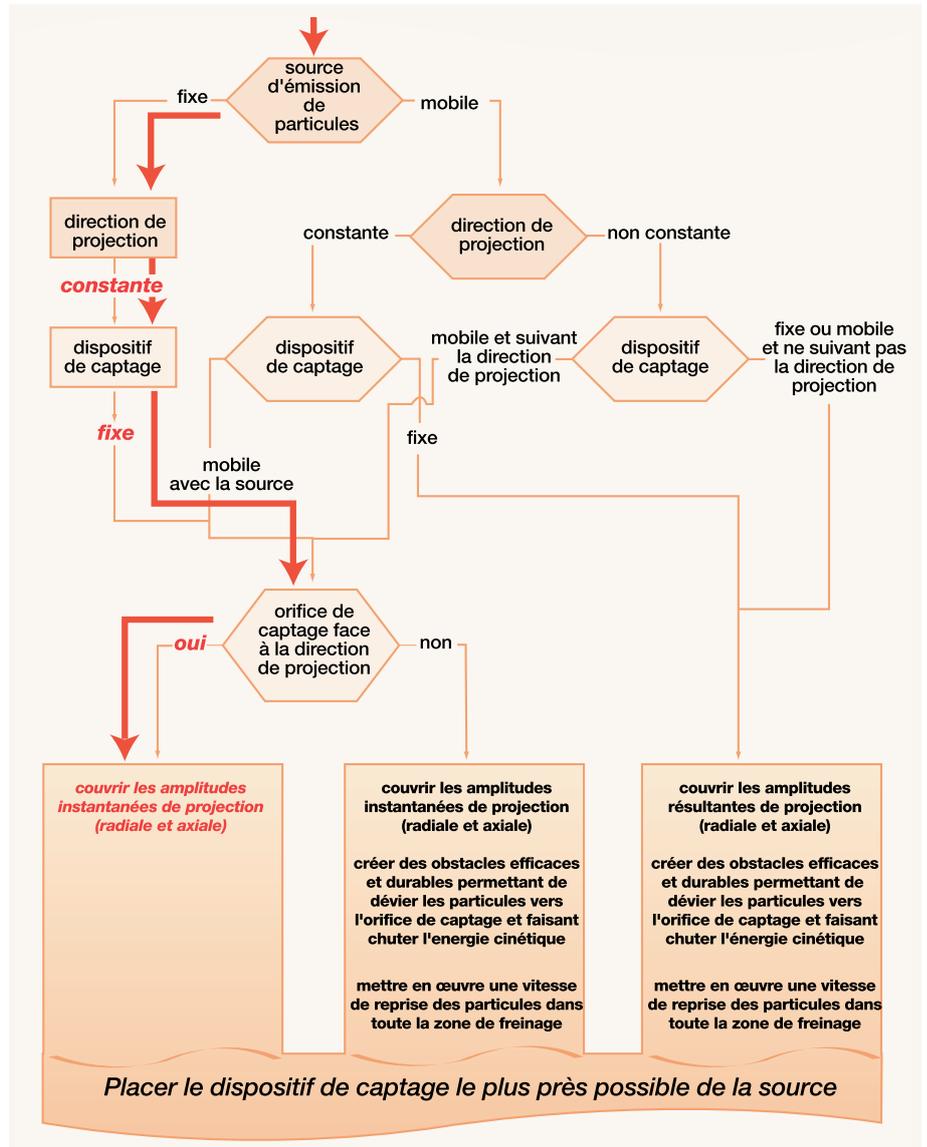


Figure 2. Principe du dispositif.



Prototype installé sur une scie à ruban.

5. Mortaiseuse à chaîne à poste fixe

5.1. La machine

5.1.1. L'outil

La tête de mortaisage se compose d'une «garniture» (chaîne, guide-chaîne, pignon) montée sur un bloc moteur guidé verticalement sur deux colonnes rectifiées liées au bâti et réglables transversalement pour positionner la largeur de la mortaise dans l'épaisseur de la pièce de bois.

5.1.2. Les pièces à usiner

Cette machine est destinée à usiner des mortaises de section rectangulaire dans une pièce de bois. Lorsque les dimensions de la mortaise sont supérieures à celles de l'outil, la table mobile sur laquelle est fixée la pièce de bois est déplacée par l'opérateur pour terminer le travail.

5.2. Caractéristiques de l'émission

5.2.1. Observation de la source

La source est mobile et se déplace suivant la profondeur de passe et la longueur de la mortaise. On considère sa direction comme non constante. La présence d'un pare-éclats incliné (figure 1) ou placé à la base du protecteur (figure 4) peut modifier le point de génération lors de la première passe.

5.2.2. Amplitude de projection radiale instantanée

La direction de la projection radiale instantanée est variable et dépend de la position de l'outil dans la pièce. L'angle de dispersion se situe autour d'une vingtaine de degrés pouvant varier suivant les caractéristiques de l'outil. Dans un premier temps, au moment de l'attaque de l'outil dans la pièce, la projection est horizontale. Au

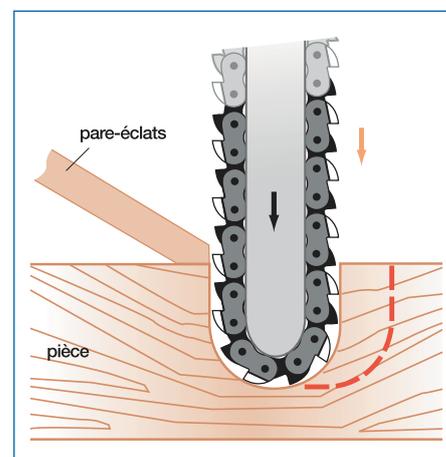


Figure 1. Principe de fonctionnement.

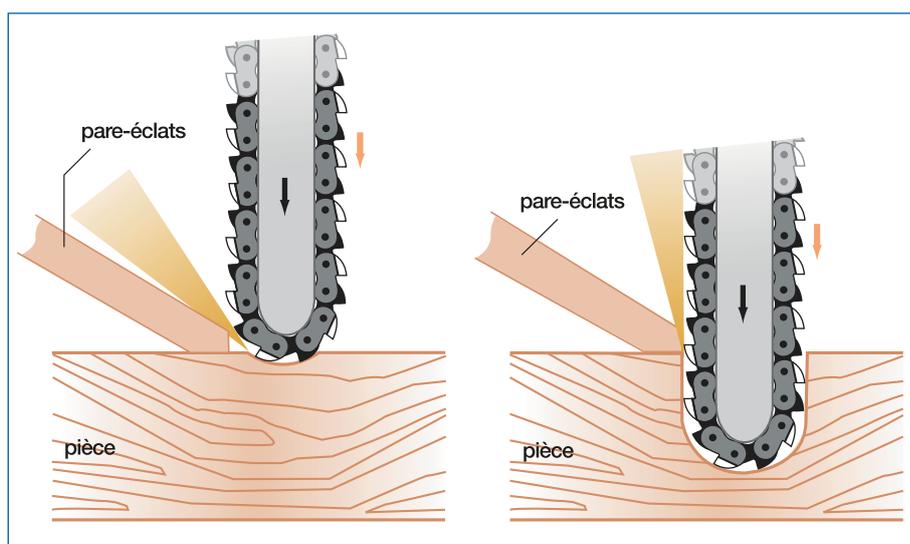


Figure 2. Variations de direction de la projection radiale.

cours de la pénétration dans le bois, la direction de projection des poussières se rapprochera de plus en plus de la verticale comme le montre la figure 2.

5.2.3. Amplitude de projection axiale instantanée

L'observation de l'amplitude axiale pour ce type d'usinage met en évidence une variation de l'angle entre le début et la fin de l'usinage.

Au départ, cet angle se situe autour d'une vingtaine de degrés. Il va se

réduire ensuite et être limité par l'usage réalisé lors de la descente de l'outil dans la pièce.

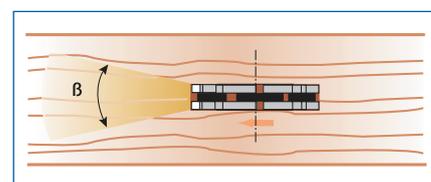


Figure 3. Amplitude de projection axiale.

5.3. Utilisation du logigramme

La source d'émission des poussières est mobile et la direction de projection est non constante. Deux possibilités pour la mise en œuvre du dispositif de captage sont offertes à partir du logigramme :

- dispositif mobile avec la source et suivant la direction de projection ;
- dispositif fixe ou mobile et ne suivant pas la direction de projection.

La solution technique la plus simple consiste à opter pour un dispositif fixe couvrant au maximum les amplitudes de projection résultantes.

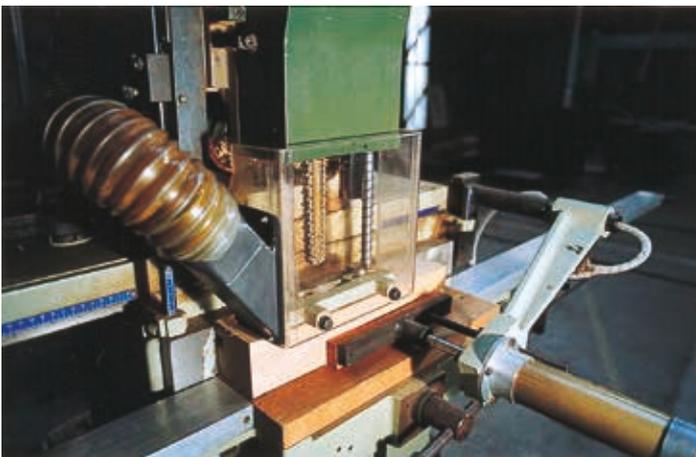
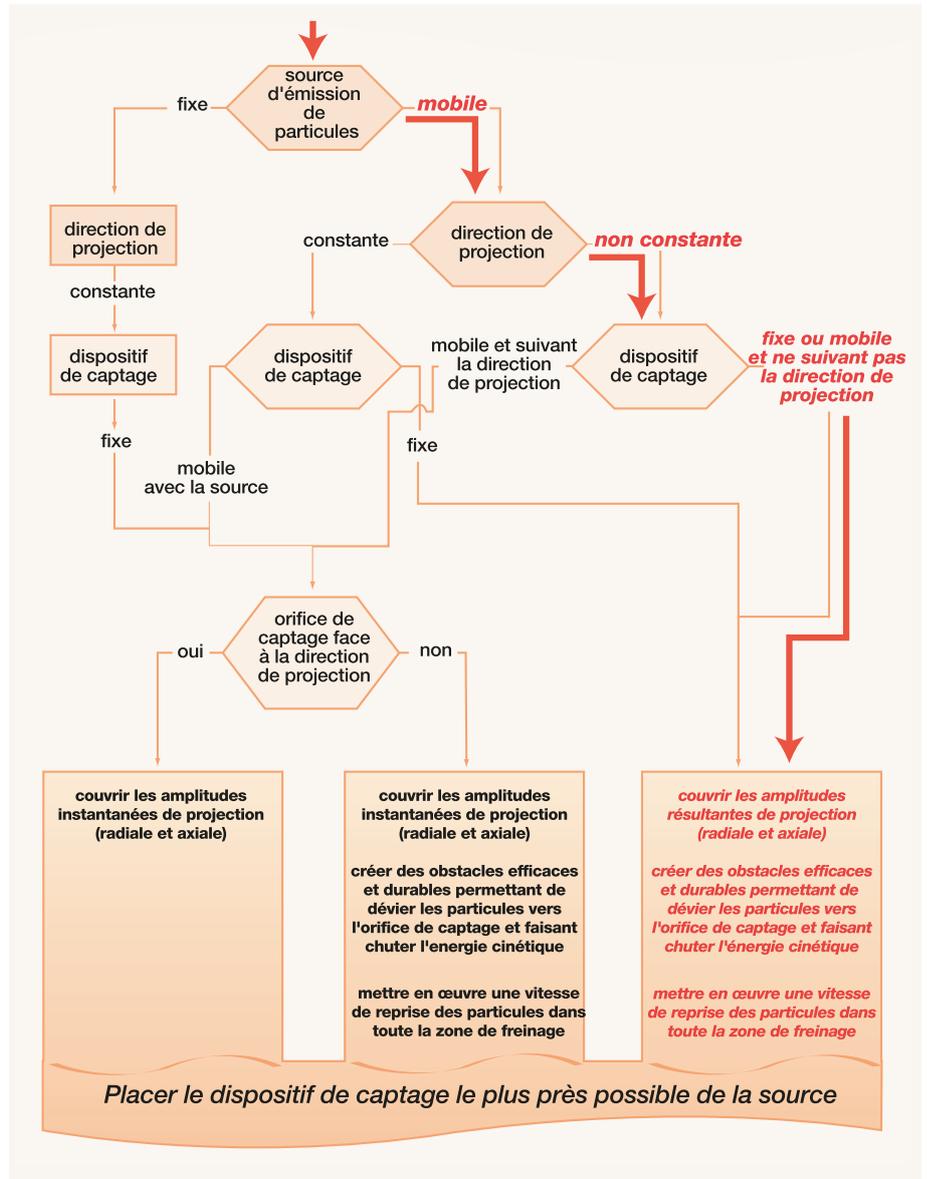
5.4. Exemple de réalisation

L'exemple de dispositif de captage présenté ci-dessous a été conçu et étudié en partenariat avec un installateur de systèmes de ventilation.

Ce dispositif est fixé sur l'écran protecteur transparent en polycarbonate coulissant verticalement.

La couverture des amplitudes de projection résultantes n'étant pas totale, une vitesse de reprise plus importante doit être mise en œuvre afin d'obtenir une efficacité d'aspiration des particules satisfaisante.

Le débit mis en œuvre avec ce dispositif de captage est d'environ $400 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.



Dispositif de captage implanté sur la machine.

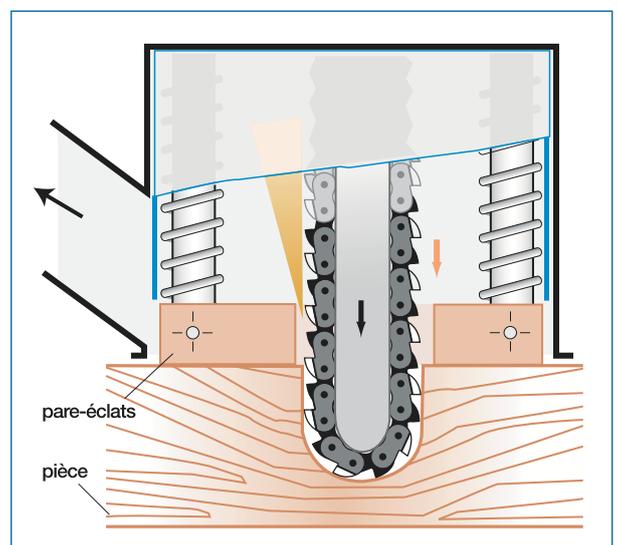


Figure 4. Dispositif de captage en schéma.

6. Défonceuse à commande numérique. Dispositif de captage fixe

6.1. La machine

6.1.1. L'outil (figure 1)

L'outil peut se déplacer verticalement suivant l'axe Z. La table supportant la pièce se déplace horizontalement suivant les axes X et Y. Ces axes sont à commande numérique.

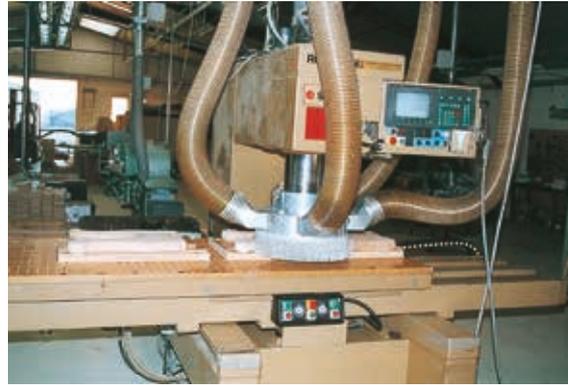
6.1.2. Les pièces à usiner

Elles ont généralement une surface de référence plane. Les usinages sont réalisés en partie extérieure et l'épaisseur maximale est de 50 mm.

6.2. Caractéristiques de l'émission

6.2.1. Observation de la source

La source est mobile et peut se déplacer à la périphérie de la pièce à usiner dans toutes les directions en fonction des différents travaux ou formes à réaliser. La direction des particules est donc considérée comme



non constante. D'autre part, les usinages étant effectués à des vitesses de coupe élevées (40 à 60 m.s⁻¹), les particules sont générées à grande vitesse.

6.2.2. Amplitude de projection radiale instantanée

Au cours de l'ensemble de l'opération de détournage d'une pièce, la source effectue un parcours à la périphérie extérieure de la pièce. L'amplitude de projection radiale résultante est donc de 360° (figure 2).

6.2.3. Amplitude de projection axiale instantanée

L'amplitude axiale instantanée va dépendre notamment de la forme de l'outil et de la hauteur de passe.

6.3. Utilisation du logigramme

On applique le logigramme de la page suivante.

La source d'émission des particules est mobile et la direction de projection est non constante. Le logigramme montre deux possibilités pour la mise en œuvre du capteur :

- un dispositif de captage uniquement mobile avec la source, qui doit couvrir les amplitudes résultantes et donc posséder une aspiration sur 360°. En outre, des obstacles sont nécessaires pour faire chuter l'énergie cinétique des particules. Cette solution appliquée à une machine existante est traitée dans cette fiche technique ;
- un dispositif de captage mobile avec la source, suivant en permanence la direction de projection des particules sur 360°. Cette solution est traitée au § 7.

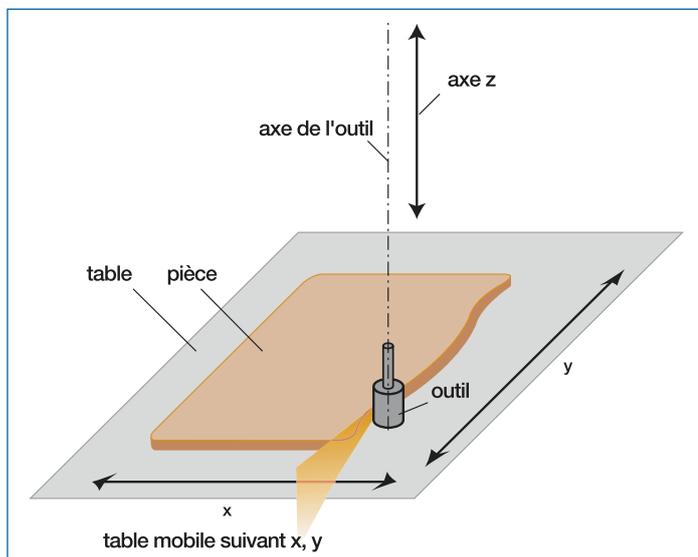


Figure 1. Principe de fonctionnement.

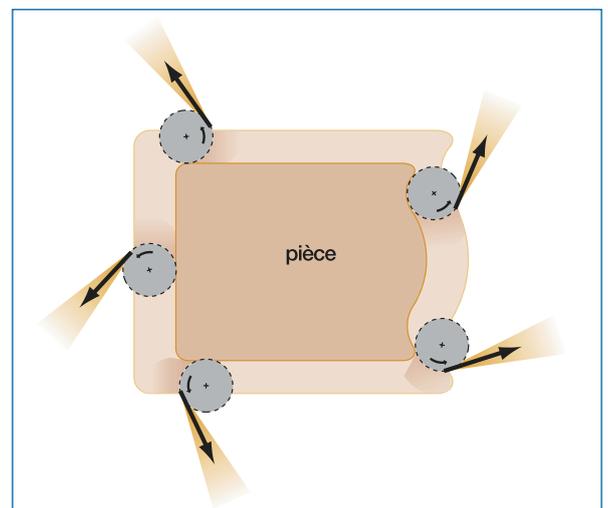


Figure 2. Amplitude de projection radiale résultante.

6.4. Exemple de réalisation

Le schéma de la *figure 3* et la photo correspondante présentent une solution de captage des particules mise en œuvre sur une machine existante.

Afin de couvrir les amplitudes radiales résultantes, le dispositif permet de capter sur 360° grâce à une géométrie de révolution. Pour couvrir les amplitudes résultantes axiales, ce dispositif prend en compte la hauteur de passe maximale, ainsi que la dispersion axiale.

Les obstacles permettant de faire chuter l'énergie cinétique des particules sont constitués de parois métalliques complétées par des brosses dont la souplesse permet leur effacement au passage des pièces. Ces brosses sont placées à une distance suffisante de l'outil afin d'éviter tout contact avec celui-ci. Une vitesse d'air de l'ordre de $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ sur toute la surface d'arrêt doit permettre l'entraînement des particules quelle que soit leur taille.

Enfin, le dispositif est placé au plus près de la source de manière à limiter le débit d'air aspiré, tout en prévoyant une entrée d'air suffisante, répartie et sans perte de charge excessive.

Le débit d'air mis en œuvre avec ce dispositif de captage est d'environ $5000 \text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.

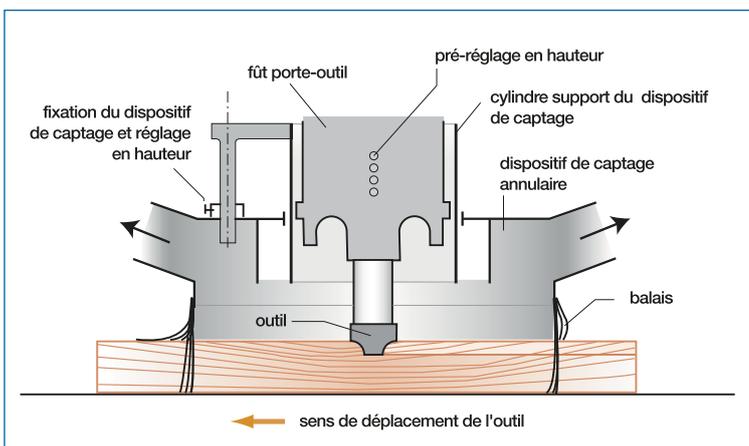
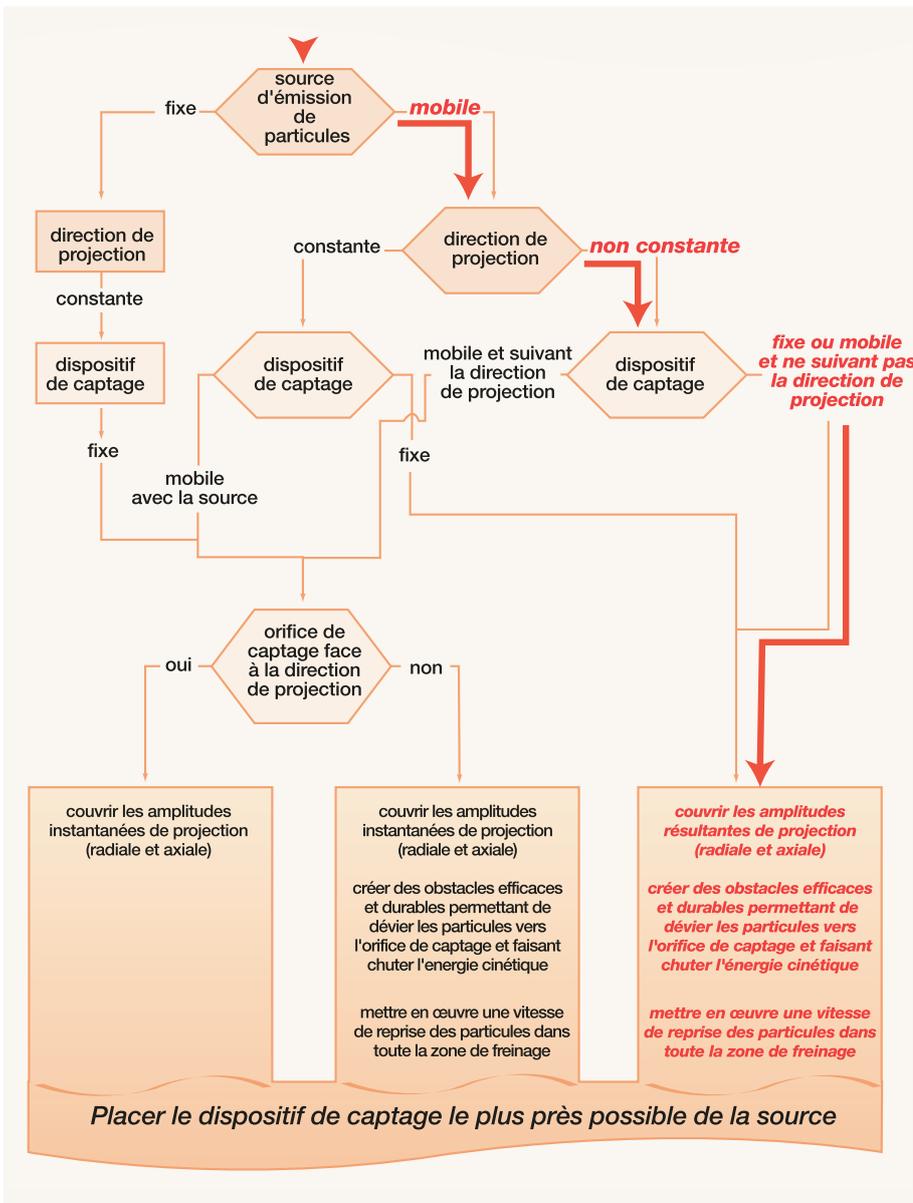


Figure 3. Dispositif de captage.



Exemple de dispositif de captage en position de travail (vu en écorché).

7. Défonceuse à commande numérique. Dispositif de captage tournant

7.1. La machine

7.1.1. L'outil

L'outil se déplace horizontalement suivant l'axe X et perpendiculairement au plan de la table suivant l'axe Z. La table supportant la pièce se déplace horizontalement suivant l'axe Y. Ces axes sont à commande numérique.

7.1.2. Les pièces à usiner

Elles sont généralement planes. Les usinages sont très variés (défonçage, rainurage, perçage, etc.) et les outils utilisés de formes diverses.

7.2. Caractéristiques de l'émission

7.2.1. Observation de la source

La source est mobile et peut se déplacer dans toutes les directions en fonction des différents travaux ou formes à réaliser. La direction des particules est donc considérée comme non constante. D'autre part, les usinages étant effectués à des vitesses de coupe élevées (40 à 60 m.s⁻¹), les particules sont générées à grande vitesse.

7.2.2. Amplitude de projection radiale instantanée

Les multiples possibilités d'usinage de cette machine conduisent à une amplitude de projection résultante de 360°.

7.2.3. Amplitude de projection axiale instantanée

L'amplitude axiale instantanée va dépendre notamment de la forme de l'outil et de la hauteur de passe.

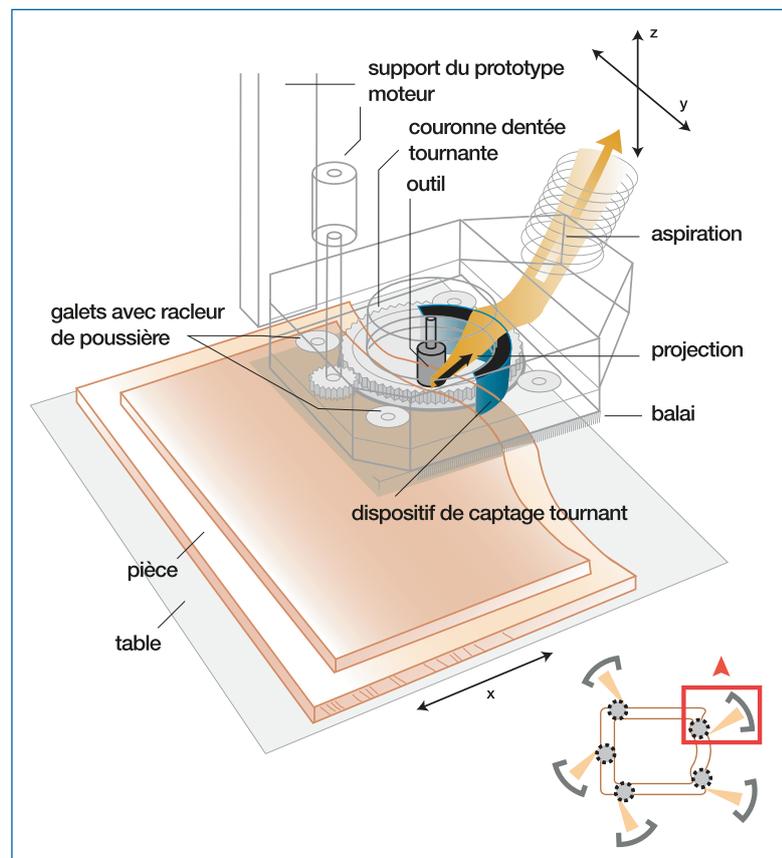
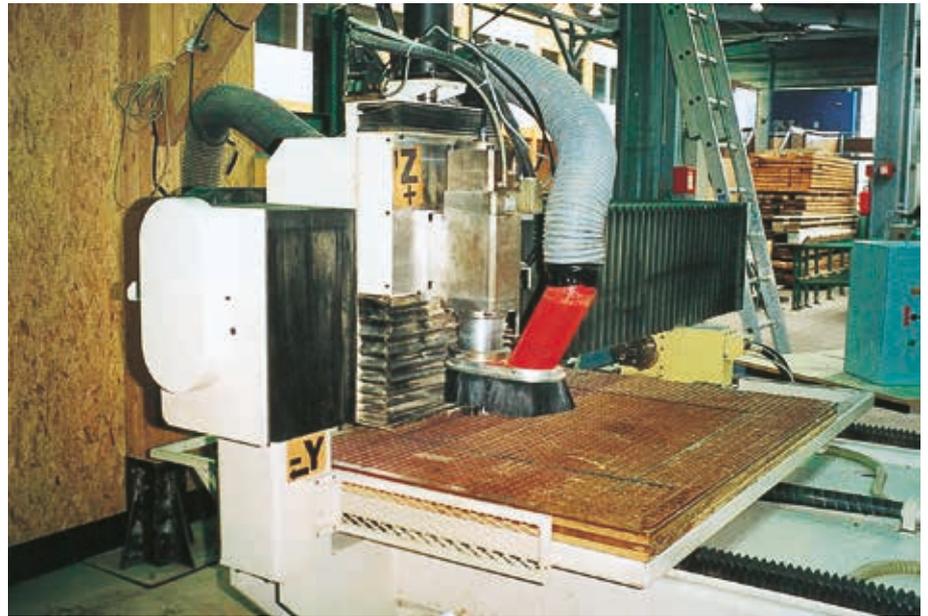


Figure 1. Principe du prototype.

7.3. Utilisation du logigramme

La source d'émission des particules est mobile et la direction de projection est non constante. Le logigramme montre deux possibilités pour la mise en œuvre du capteur :

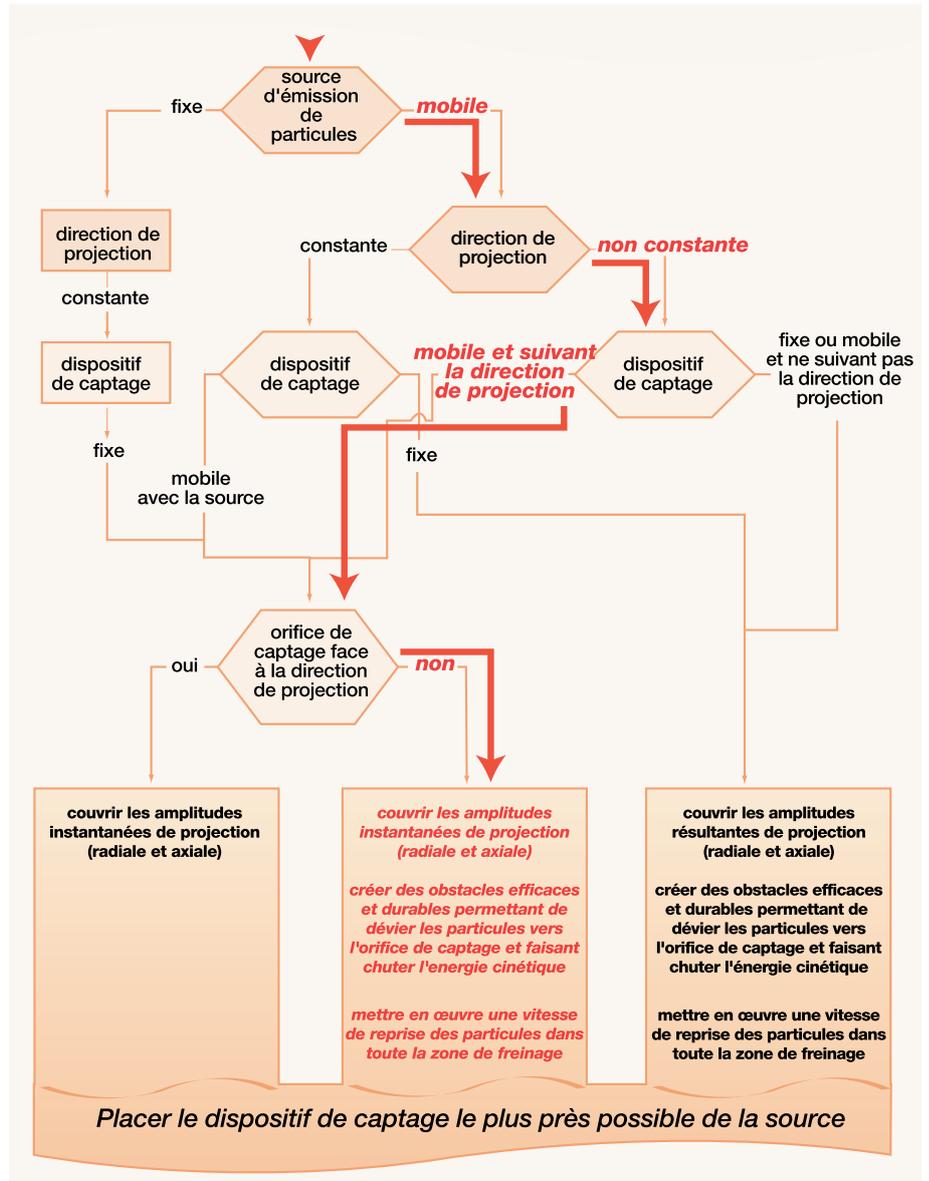
- un dispositif de captage uniquement mobile avec la source, qui doit couvrir les amplitudes résultantes et donc posséder une aspiration sur 360° ; en outre, des obstacles sont nécessaires pour faire chuter l'énergie cinétique des particules ; cet exemple est traité au § 6 ;

- un dispositif de captage mobile avec la source, suivant en permanence la direction de projection des particules sur 360°.

7.4. Exemple de réalisation

(figure 1)

Un dispositif de captage tournant pilotable par la commande numérique pouvant être adapté à une machine existante a été étudié, réalisé et testé. Cette solution peut être adaptée à d'autres modèles de défonceuse à commande numérique.



Prototypé monté sur la tête d'usinage.

La section d'aspiration tournante est solidaire d'une couronne dentée coaxiale avec l'outil de coupe. Cette couronne guidée en rotation par quatre galets peut tourner sur 360°. Elle est asservie en position à la trajectoire des particules par l'intermédiaire d'un moteur électrique piloté directement par un programme de la commande numérique. Chaque changement de direction du jet de particules entraîne une nouvelle position du capteur afin que l'efficacité de captage soit toujours optimale. De surcroît, des parois de confinement terminées par des brosses permettent de récupérer les particules qui pourraient échapper au dispositif tournant.



Exemple de dispositif de captage tournant en position de travail.

Les différentes positions du dispositif de captage tournant par rapport à l'émission des particules sont déterminées dans un programme «captage» au moment de la programmation des

opérations d'usinage. Ainsi, pendant les phases d'usinage, le programme va positionner le capteur en permanence afin qu'il soit dans l'axe de l'émission.

Remarque

Dans le cas où les pièces à usiner auraient des différences d'épaisseur non négligeables, il conviendra de piloter le dispositif en monte et baisse pour suivre les différences de profil. Cependant, au cours des phases pendant lesquelles celui-ci s'éloignera du plan de la pièce qui limite son domaine d'aspiration, l'efficacité de captage sera réduite.

7.5. Intérêt de la solution

Le débit généralement mis en œuvre sur ces machines se situe entre 5000 et 9000 m³.h⁻¹.

À efficacité égale, avec ce dispositif de capteur tournant, le débit peut être réduit à 1000 m³.h⁻¹ et son principe de fonctionnement diminue considérablement les dépôts de poussière sur la pièce usinée. La visibilité de l'opérateur et la qualité de l'usinage sont ainsi améliorées et le temps de nettoyage final est réduit.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Les maladies professionnelles (régime général). Aide-mémoire juridique 19. INRS, TJ 19, 2016.
- [2] Guide pratique de ventilation n° 0. Principes généraux de ventilation. INRS, ED 695, 2015.
- [3] Guide pratique de ventilation n° 12. Deuxième transformation du bois. INRS, ED 750, 2011.
- [4] NF EN 1093-4+A1. Sécurité des machines. Évaluation de l'émission des substances dangereuses véhiculées par l'air. Partie 4. Efficacité de captage d'un système d'aspiration. Méthode par traçage. AFNOR, 2008.
- [5] NF EN 1093-11+A1. Sécurité des machines. Évaluation de l'émission des substances dangereuses véhiculées par l'air. Partie 11. Indice d'assainissement. AFNOR, 2008.
- [6] MULLER J.-P., LAMOUREUX P. Amélioration des dispositifs d'aspiration localisée. Étude sur quatre machines à bois traditionnelles. INRS, Cahiers de notes documentaires, *Hygiène et sécurité du travail*, 1996, 163, 2019, p. 149-165.
- [7] MULLER J.-P., L'HUILLIER J.-C. Conception de dispositifs de captage performants sur scie radiale et défonceuse à commande numérique. INRS, Cahiers de notes documentaires, *Hygiène et sécurité du travail*, 2002, 188, 2177, p. 53-69.