

## CHAPITRE 1

### REVUE DE LA LITTÉRATURE

#### 1.1 Pathologies respiratoires des poussières métalliques d'usinages

La première publication suggérant l'existence d'une pathologie respiratoire due aux «poussières» date de 1940. Les auteurs [15] signalent qu'après seulement deux ans d'exposition, 8 parmi 27 ouvriers allemands employés à la production de carbures métalliques présentent des anomalies radiographiques évoquant une maladie pulmonaire, pneumoconiose. Par la suite, cette pathologie apparaîtra sporadiquement dans la littérature médicale des pays industrialisés, jusqu'à ce qu'en 1959, en Allemagne, Moschinski et al, examinent 300 salariés et découvrent des signes de fibrose pulmonaire débutante chez 39 de ces ouvriers. Ces auteurs constatent également la fréquence exceptionnellement élevée des symptômes bronchiques parmi les ouvriers affectés à l'usinage des pièces frittées. C'est la première mention qui ait été faite d'une pathologie bronchique propre liée à l'exposition aux poussières métalliques.

Une enquête menée par Bech et al. [10] parmi 255 ouvriers britanniques de l'industrie des carbures métalliques révèle l'existence d'une sensation d'oppression thoracique et de râles chez certains d'entre eux. Le premier cas documenté d'asthme professionnel relié aux poussières métalliques ne sera cependant rapporté qu'en 1962 [10]. Le risque d'asthme était 4,8 fois plus élevé.

En 1983, Kusada et al. [13], au Japon, observent une prévalence des maladies asthmatiques de 5,6% parmi 317 des travailleurs japonais exposés aux poussières métalliques lors de l'usinage à sec. En 1988 aux États-Unis, Sprince et al. [16] détectent la présence de râles chez 10,9% des 1039 travailleurs et de plus ils remarquent que la fréquence des symptômes respiratoires croît avec le degré et le temps d'exposition aux

poussières métalliques. À la suite de ces travaux sur la toxicité des poussières métalliques, les exigences des organismes chargés de la santé des travailleurs sont devenues de plus en plus strictes. Les industriels de la fabrication mécanique doivent revoir leur procédé d'usinage qu'il soit à sec ou lubrifié en vue de minimiser la quantité de poussières générées.

## **1.2 Usinage lubrifié**

Tea et al. [4] ont étudié l'émission d'aérosol pendant le tournage lubrifié. Ils ont constaté que la vitesse axiale en usinage lubrifié influence la taille de l'aérosol produit. À mesure que la vitesse augmente, le diamètre moyen des particules diminue et la concentration d'aérosol augmente. Ils ont également modélisé le mode de formation des aérosols et ont trouvé que le mécanisme de génération d'aérosol est principalement expliqué par les collisions des jets de fluides de coupe sur la pièce et sur l'outil ainsi que son évaporation suite à la chaleur générée par la coupe.

Amadi et al. [2] ont prouvé que la génération des particules aéroportées des fluides de coupe constitue une menace potentielle pour les opérateurs. Selon ces auteurs les aérosols sont formés de particules métalliques (la poussière) et de brouillard liquide généré par le fluide de coupe. De plus, le jet de fluide de coupe sous forme d'aérosol liquide peut causer des maladies de peau et des maladies respiratoires.

## **1.3 Usinage à sec**

Sutherland et al. [1] ont étudié les émissions d'aérosols au tournage à sec et lubrifié. La qualité de l'air a été caractérisée en mesurant la concentration et la distribution des particules dans l'air. Ils ont constaté que la quantité de brouillard et de poussières produites lors de l'usinage croient avec la vitesse de coupe et que la quantité des aérosols (définie comme les particules solides ou liquides suspendues dans l'air)

produite lors de l'usinage lubrifié était de 12 à 80 fois plus élevée que celle produite lors de l'usinage à sec. Le brouillard de coupe non seulement a comme conséquence des concentrations beaucoup plus élevées d'aérosols mais également ces particules sont composées d'un plus grand pourcentage de particules fines. Ces particules fines peuvent demeurer en suspension dans l'environnement du poste de travail pendant une longue période et peuvent donc facilement être inhalées par les opérateurs.

Balout et al. [5] ont étudié l'influence des conditions de coupe et du matériau sur les poussières fines (inférieures à  $2,5\mu$ ) produites lors du perçage à sec. Ils ont trouvé que les paramètres de coupe (avance, vitesse de coupe, profondeur de coupe) influencent fortement la production de poussières. La concentration de poussières atteint un maximum au début du perçage et se stabilise quand les tranchants du foret deviennent complètement enfoncés dans la pièce. Afin de trouver les conditions de coupe qui peuvent réduire la production de poussières, ils ont étudié l'influence de la température sur la concentration des aérosols en faisant des essais de perçage sur quatre métaux à des températures variant de  $-40^{\circ}\text{C}$  à  $20^{\circ}\text{C}$ . Ils ont trouvé que la concentration de poussières lors du perçage diminue avec la diminution de la température de la pièce. La diminution de la température augmente la fragilité de la pièce. Ces auteurs ont aussi montré qu'il existe une corrélation entre la formation des copeaux et les émissions de poussières. Les matériaux produisant des copeaux longs et continus émettent plus de poussières fines que ceux produisant des copeaux discontinus.

#### **1.4 Formation des copeaux en fraisage**

La forme du copeau donne des renseignements intéressants sur les conditions de formation du copeau. Astakhov et al. [36] ont montré qu'il est possible de généraliser en considérant le phénomène de coupe au fraisage comme un processus cyclique. Chaque cycle se décompose en trois phases : détachement et glissement des copeaux fragmentés, formation à la surface de fissures, compression du matériau de la pièce au

bout du bec de l'outil. Ce mécanisme explique l'aspect souvent cyclique de la morphologie du copeau qui est une source de production de poussières (figure 1).

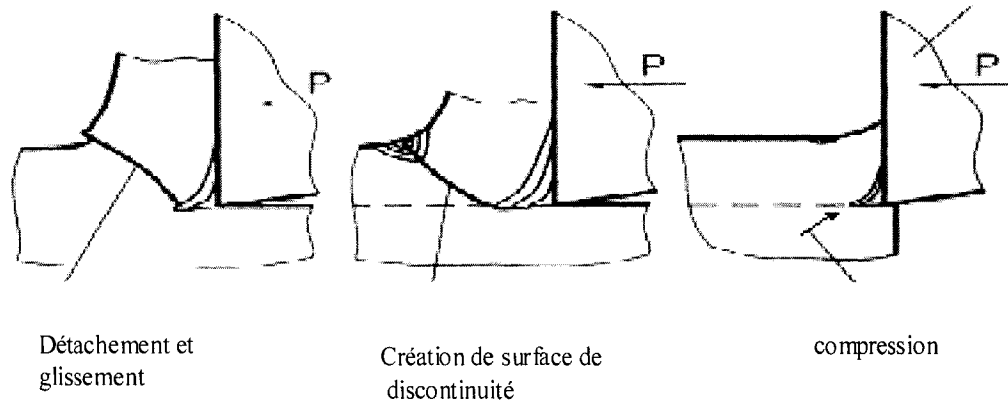


Figure 1 Séquence de formation de copeau, Bayoumi [51]

### 1.5 Classification des formes des copeaux en fraisage

La figure 2 montre les différentes formes des copeaux obtenues par le tournage de l'acier au carbone avec une vitesse de coupe de 200 m/min et une vitesse d'avance de 0,1mm/tr [38]. Selon les conditions de coupe, on peut distinguer trois familles de copeaux :

**Copeau continu** : les déformations plastiques dans les zones de cisaillement sont quasi stationnaires (figure 2a).

**Copeau dentelé** : il est formé d'éléments séparés générés plutôt par une rupture du matériau qu'à un cisaillement de celui-ci (figure 2b).

**Copeau segmenté** : il est composé d'éléments plus ou moins connectés entre eux, résultant de fissuration (figure 2c).

La figure 2 montre l'image des copeaux obtenus par Calvez [38].

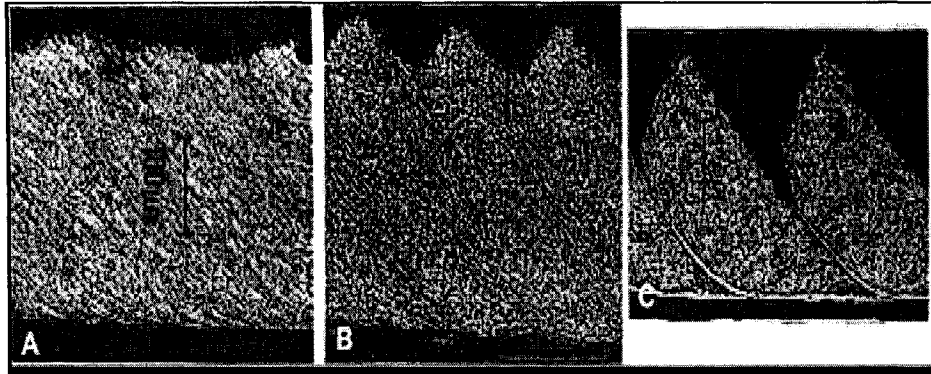


Figure 2 Microstructures, a. copeau continu; b. copeau dentelé; c. copeau segmenté [38].

## 1.6 Perçage

Sandvik [29] souligne que le perçage est de loin l'opération d'usinage la plus répandue. Ce procédé combine deux mouvements : la rotation et le déplacement linéaire.

Le copeau est obtenu par déformation plastique, de sorte que l'épaisseur effective des copeaux  $h_2$  diffère de la profondeur de coupe  $h_1$  (figure 3a). Cette profondeur  $h_1$  augmente avec l'avance et l'angle de pointe  $\varphi$  (figure 3b) [29] :

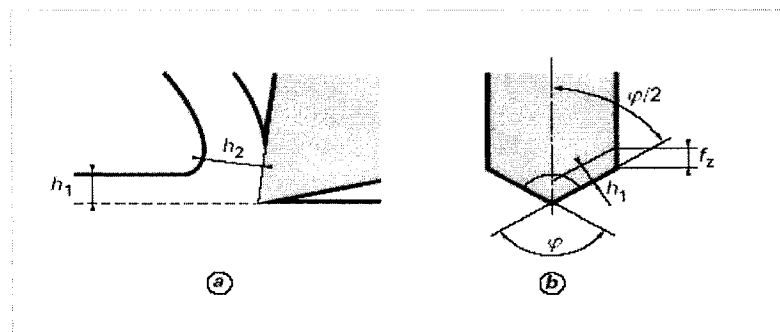


Figure 3 Facteurs géométriques de formation des copeaux Sandvik [29]

$$h_1 = ft * \sin \frac{\varphi}{2} \quad (\text{mm}) \quad [29] \quad (1)$$

$h_1$ -profondeur effective des copeaux avant déformation;  $h_2$ -épaisseur théorique du copeau déformé et  $ft$ - avance par tour.

La formation des copeaux est affectée par la nature de la matière à usiner, la géométrie de l'outil, la vitesse de coupe et l'avance. La longueur des copeaux est considérée comme acceptable lorsque ceux-ci peuvent être évacués sans empêcher le bon fonctionnement de l'opération. L'étude de la plage de formation des copeaux en fonction de la vitesse et de l'avance [  $v_c$ ,  $ft$  ] fournit un bon aperçu de la manière dont il convient de régler les conditions de coupe. La zone possible de formation des copeaux courts est obtenue en procédant à un essai de l'outil, sous différentes combinaisons de vitesse de coupe et d'avance (figure 4). Cette zone est délimitée par le périmètre dans lequel les copeaux se détachent de manière satisfaisante.

Lorsque le foret attaque la surface de la pièce, il faut que le rapport de la vitesse de coupe sur la vitesse d'avance soit inférieur à une valeur critique donnée pour avoir une bonne évacuation du copeau.

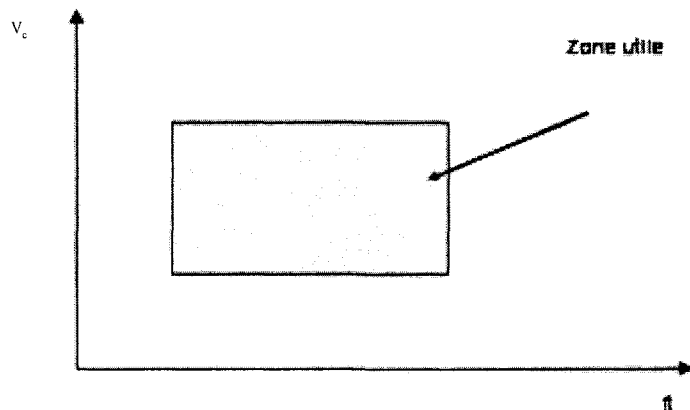
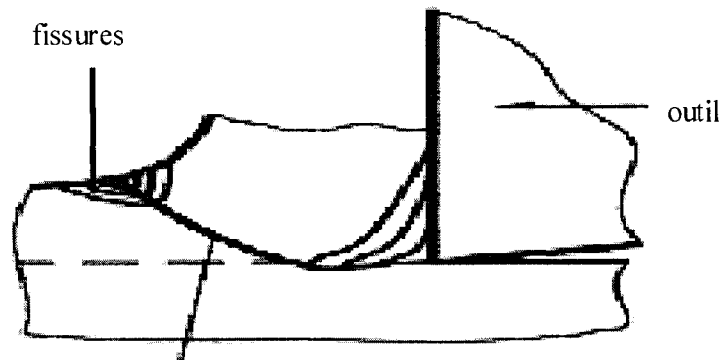


Figure 4 Rapport vitesse de coupe avance par tour

Cette description macroscopique peut être raffinée par l'étude microscopique de la formation du copeau. La fissure qui détermine le copeau dentelé lors de la coupe du matériau se produit dans la zone de cisaillement où la déformation est maximale et la contrainte de cisaillement est bien localisée. R. Shivpuri et al. [33] constatent qu'à faible vitesse la fissure qui se propage vers l'arête de coupe à cause de la grande contrainte hydrostatique positive, qui produit une discontinuité à la face de coupe avec une contrainte négative à l'opposé dans la face extérieure du copeau. À haute vitesse, la fissure se développe sur la face extérieure du copeau. La grande contrainte hydrostatique située du côté du bec de l'outil dans la première zone de cisaillement amortit la propagation de la fissure tandis que la contrainte hydrostatique compressive sur la surface extérieure favorise la propagation de la fissure vers le bec de l'outil. En raison de la haute température du côté frontal de l'outil, qui provoque un effet d'adoucissement thermique, aucune fissure ne se produit du côté du bec. Le copeau forme le segment dentelé (il ne sera pas complètement détaché) (figure 5).



Zone primaire de cisaillement où la déformation est maximale

Figure 5 Fissures des fortes contraintes hydrostatiques au bec de l'outil

L'application de la théorie de l'instabilité de l'écoulement plastique des matériaux est souvent utilisée pour expliquer la forme du copeau dentelé ou segmenté. BAYOUMI et al. [51] adoptent cette théorie pour étudier la formation du copeau dans l'usinage

orthogonal. Ils analysent l'effet des conditions de coupe sur la localisation du cisaillement et la formation de bandes adiabatiques lors de la coupe des métaux. L'usinage à grande vitesse n'augmente pas seulement la productivité mais donne aussi un meilleur fini de surface avec de très bonnes précisions. À très hautes vitesses on peut avoir une bonne stabilité d'usinage (moins de vibration et de transfert de la chaleur entre le copeau et l'outil).

Ces auteurs [51] ont étudié plusieurs aspects intéressants de l'usinage propre et lubrifier. La différence entre leur travail et le notre réside dans le fait qu'ils n'ont pas usiné les alliages de cuivre, ni regarder l'influence de la ténacité et du procédé sur l'émission de poussières, développer un standard.

[MCours.com](http://MCours.com)