

## CHAPITRE 4

### DISCUSSIONS

#### 4.1 Introduction à la discussion

Afin de pouvoir mieux contrôler l'émission de poussières pendant l'usinage à sec, il est nécessaire de mieux comprendre le mécanisme de formation et d'émission de ces poussières. La discussion portera principalement sur la formation des copeaux et son implication sur la génération de poussières.

Nous avons utilisé deux procédés d'usinage à sec très différents. D'une part le perçage et d'autre part le fraisage dans lequel les angles d'attaque et de dépouille sont plus complexes. Malgré le fait que les mécanismes de coupe soient très différents, l'évolution de la production de poussières suit les mêmes tendances quelque soit le procédé utilisé (figures 26 et 32). En particulier l'influence sur l'émission de poussières de l'avance, de la vitesse de coupe, et de la profondeur de coupe suit les mêmes lois que ce soit en perçage ou en fraisage.

Il a déjà été constaté depuis plusieurs années que l'usinage peut se décomposer en trois stades. Ces stades caractérisent l'influence de la vitesse de coupe sur la force. La figure 47 illustre ces trois stades.

La tentation est en général assez grande pour relier l'usure de l'outil à la force de coupe. Il a été démontré qu'une telle relation existe [37] dans le stade I. La mesure de la force apporte donc une information essentielle pour caractériser l'usure de l'outil. Suivant la même approche nous avons tenté de relier les forces de coupe à la production de poussières, dans le cas de l'usinage à sec évidemment. Cette tentation s'est avérée vaine. Il faudra étudier plus en détail les mécanismes qui président à la génération des

poussières afin de pouvoir extraire un paramètre significatif qui permettrait de choisir les meilleures conditions de coupe du point de vue de la poussière.

Dans le présent chapitre, nous allons donc nous pencher sur l'étude de ces phénomènes afin de pouvoir augmenter la qualité de l'usinage à sec, c'est-à-dire qui respecte l'atmosphère environnante.

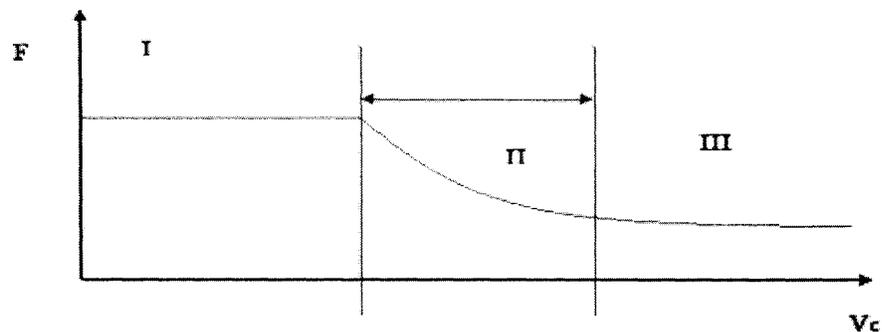


Figure 47 Force en fonction de la vitesse de coupe

## 4.2 Formation des copeaux

D'une manière générale l'usinage peut être décomposé en plusieurs phases :

### Phase 1

Lorsque l'outil s'engage dans la pièce, un état de contrainte se développe devant l'arête. Une arête est suffisamment large dans les conditions de la coupe ordinaire pour qu'il soit possible de considérer la formation du copeau dans un état plan de déformation à la surface de l'outil, dans le copeau, juste devant l'arête de coupe. Sur la surface

extérieure. La composante normale (compression) disparaît (pression atmosphérique). En conséquence, l'association de faibles contraintes de compression avec de hautes contraintes de cisaillement produit une fissure qui s'amorce soudainement à la surface extérieure de la pièce à un endroit où la contrainte critique de cisaillement a été atteinte. Un plan de glissement apparaît en direction de la pointe de l'outil jusqu'au moment où cette rupture par cisaillement évolue (déformation plastique). Une fissure est générée. Dans les matériaux fragiles cette fissure peut traverser le copeau. (Figure 48)

### Phase 2

Une partie du matériau subit alors une déformation plastique intense facilitée par l'augmentation très forte de la température. Par la suite, le volume du copeau situé entre ce plan de glissement et la face de coupe de l'outil est poussé vers l'extérieur. Le volume de copeau situé entre la fissure et l'arête de coupe est "éjecté" en dehors. Cette déformation plastique en cisaillement peut entraîner un mouvement de matière, il y a formation du " toit d'usure" (usine ancien modèle) (figure 48)

### Phase 3

À ce stade, il existe de très grandes déformations plastiques et de grandes vitesses d'éjection. L'élévation de température est très importante. L'épaisseur du copeau étant faible, le refroidissement du copeau est probablement rapide pour des vitesses modérées. Le champ de contrainte de compression chute pendant les phases 2 et redevient maximal dans le stade I, engendrant un nouveau glissement. Le phénomène cyclique se répète produisant de la poussière dans les zones de frottement. (Figure 48)

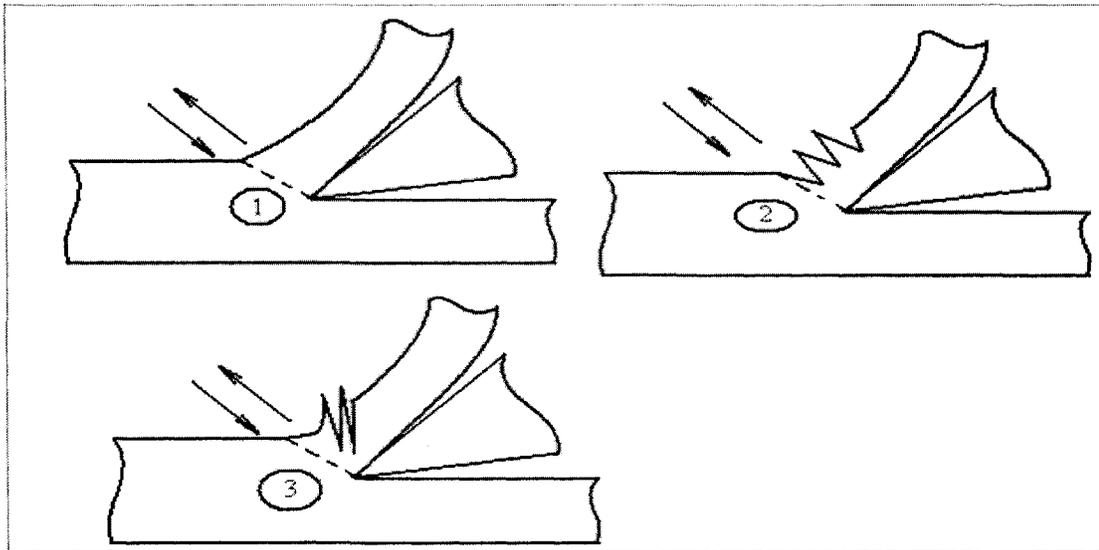


Figure 48 Phases de formation des copeaux

La poussière est engendrée par le frottement des plans de glissement les uns sur les autres sur la surface extérieure du copeau. C'est donc la capacité que possède un métal à se déformer plastiquement qui explique la probabilité d'apparition de fines poussières. Insistons sur ce fait la présence d'une fissure (matériaux fragiles) diminue le frottement et donc, par conséquent, diminue la génération de particules de poussière. Ce modèle simple permet d'expliquer la différence de comportement entre les métaux ductiles et les métaux fragiles.

On peut généraliser le modèle proposé en approfondissant les causes de la fragilité d'un métal. En effet, rappelons que la fragilité d'un métal peut être due à plusieurs causes:

Il est possible de fragiliser un métal en bloquant les dislocations ou en freinant leurs mouvements. Plusieurs approches sont disponibles telles que le durcissement structural, la diminution de la taille des grains joints de grains (loi de Hall-Petch), la solution solide. Toutes ces techniques, largement utilisées pour augmenter les propriétés

mécaniques en tension pourraient être utilisées pour contrôler l'émission de poussières. Il y a lieu de séparer ces techniques en deux grands blocs. D'une part, le blocage des dislocations qui entraîne une augmentation de la limite d'élasticité simultanément avec une diminution de la ductilité, et d'autre part la diminution de la taille de grains qui entraîne une augmentation de la limite d'élasticité en même temps qu'une augmentation de la ductilité. Il est fort probable que cette distinction entraîne un comportement notablement différent face à l'émission de poussières. Ce mécanisme de blocage des dislocations est surtout efficace dans les matériaux fragiles.

On peut aussi fragiliser un métal par addition d'éléments en solution solide d'insertion ou de substitution, ce qui est appelé "alliage". Dans cette même veine, on peut aussi ajouter des éléments qui vont changer la nature de la liaison atomique. C'est le cas des éléments légers qui forment un composé avec le métal de la matrice. L'oxygène est certainement le meilleur exemple. Il forme un oxyde, donc une liaison covalente - ionique, qui entraîne une chute radicale de la ductilité. C'est le cas de la quasi totalité des métaux obtenus par fonderie où il est presque impossible d'éviter la présence de l'oxygène en contact avec le métal liquide. Ce mécanisme d'oxydation élémentaire est efficace pour augmenter la fragilité.

On peut aussi citer le cas des métaux cubiques à faces centrées purs ou presque purs, (sans inclusion). C'est le cas, par exemple, de l'aluminium ou du cuivre. Ces métaux toujours ductiles formeront des copeaux qui seront toujours longs et qui seront de bons émetteurs de poussières. La déformation plastique est importante, il n'y a pratiquement pas de fissure. L'adaptation de la forte déformation plastique dans la zone 1 se fera surtout par la formation de couche dure /couche molle et donc la présence de frottement important entre ces deux couches. On peut remarquer que nos résultats confirment cette affirmation : le 6061 est toujours le plus grand émetteur de poussières, quelles que soient les conditions opératoires. On peut aussi constater que l'A319, matériau de fonderie, qui contient beaucoup de gaz dissous et d'inclusions, est toujours le moins bon émetteur de

poussières. Le schéma proposé explique très clairement cette différence de comportement. Ces observations précisent celle d'auteurs précédents [5]. Cette constatation s'applique aussi aux présents résultats, sur les alliages de cuivre. Ces alliages sont relativement peu ductiles, mais surtout possèdent une microstructure qui localise la déformation plastique. Nous avons déjà remarqué que certaines microstructures sont hétérogènes et donc favorisent l'apparition et la propagation de microfissures. Les alliages dont la microstructure n'est pas homogène, donc qui favorise l'apparition de microfissures, ne sont pas des candidats favorables pour l'émission de la poussière. C'est le cas de tous les alliages de cuivre que nous avons étudié, qui ne possèdent pas une microstructure homogène.

Les alliages qui contiennent une deuxième phase non soluble telle que le plomb forment une famille à part. Lorsqu'une fissure se trouve en contact avec l'interface du plomb et de la matrice, la propagation de la fissure est facile. Mais lorsque la fissure se propage, dans la matrice elle se propage dans un milieu ductile. En effet le plomb est totalement insoluble dans les alliages de cuivre et donc la matrice n'est pas changée par la présence de cet élément. On peut donc s'attendre à ce que les alliages du type C360 extrudés ou laminés, soient de meilleurs émetteurs de poussières que les alliages C694 et surtout C642 dont la fragilité est causée par les éléments légers d'alliages. Cette différence d'émission n'est pas très grande et est relativement moins importante comparativement aux alliages ductiles / fragiles.

Le degré d'émissivité de particules est donc fonction du degré de ductilité du matériau (cas du 6061-125HB, 6061-95HB, 6061-75HB et du A319). L'élévation de température peut être aussi la cause d'émission. Lors de la formation du copeau, l'avance de l'outil sur la pièce provoque un cisaillement sur la face externe du copeau opposé à l'arrêt tranchant de l'outil de coupe. Le copeau se dilate sous l'influence du changement brusque de température. Par la suite, la baisse de température provoque la segmentation

du copeau. Ce mécanisme causé par la température, fort probable, n'a pas été clairement mis en évidence. Cette hypothèse est expliquée à la figure 49.

### 4.3 Formation des copeaux

La figure 49 montre le processus de formation des écailles lors de la coupe du matériau.

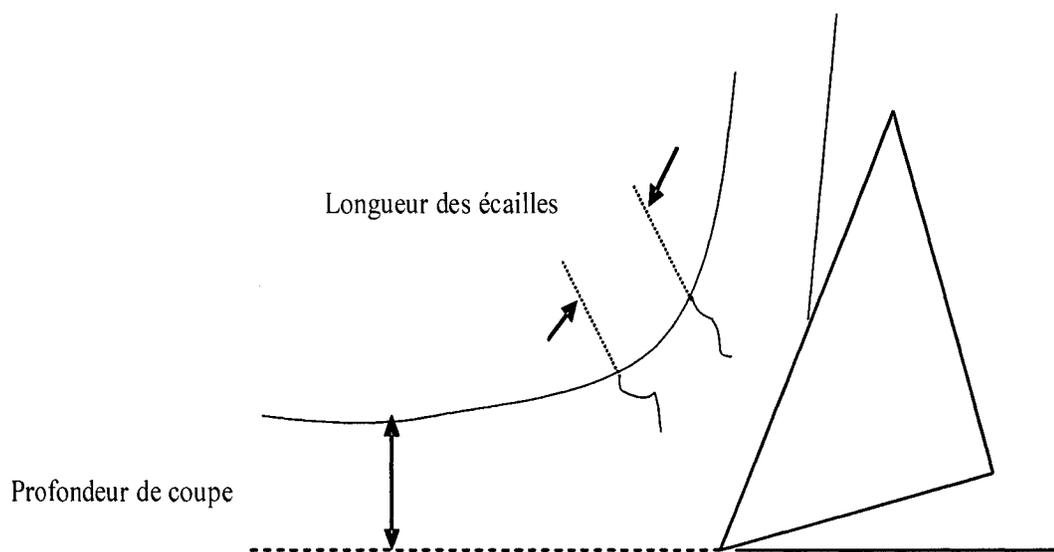


Figure 49 Processus de formation d'écailles sur les copeaux

La figure 50, montre un exemple d'écaille sur le A319 (alliage de fonderie)

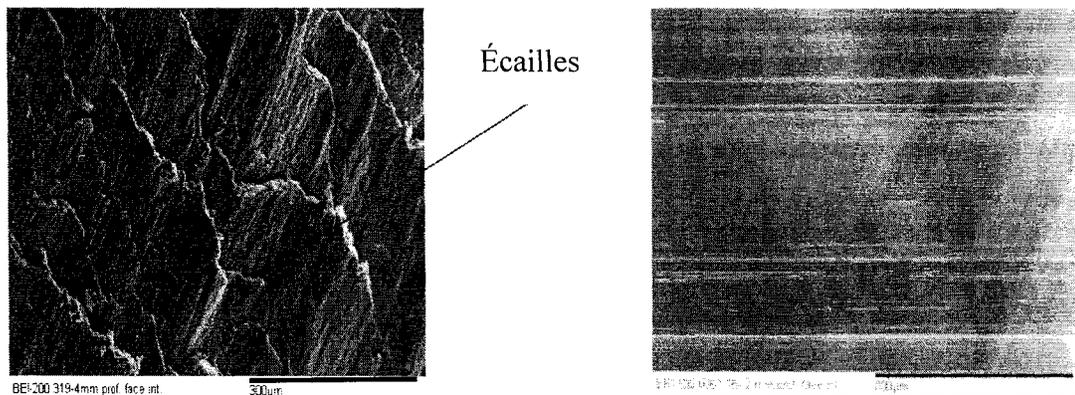


Figure 50 Copeau écaillé du A319 et non écaillé du 6061-95HB à 4mm

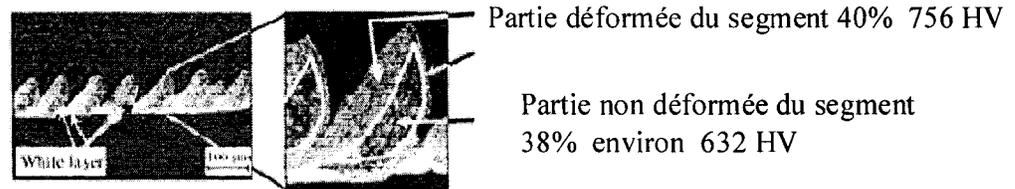
Pour mettre en évidence les zones de formation de poussières résumées ci-dessus, l'analyse micrographique des copeaux a été réalisée. Les résultats de ces analyses montrent que les matériaux ductiles (6061) ne présentent pas d'écaillés contrairement aux matériaux fragiles (A319) qui en présente (figure 50).

La théorie de la couche molle, couche dure peut être appliquée pour l'interprétation de la microstructure alternée du copeau en usinage afin de comprendre le mécanisme de génération de poussières. Le principe se base sur la nature de la déformation plastique : la compétition entre la formation de bandes écrouies et les bandes revenues (dures molles) et la formation de fissures explique l'émission de poussières (figure 51).

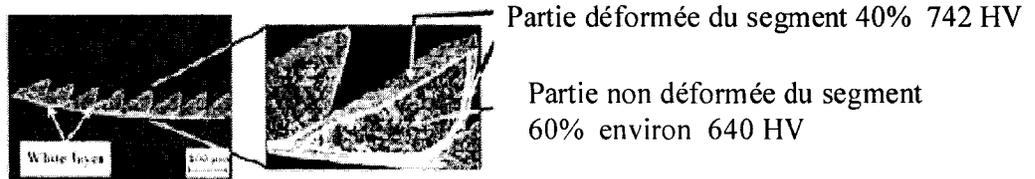
La taille de ces couches, qui peuvent être plus ou moins larges, entraîne l'apparence d'un copeau qui peut être soit continu, dentelé ou segmenté. Cela dépendra du processus de coupe, des paramètres de coupe (géométries et conditions), du matériau de la pièce et de l'outil (l'état de surface, la composition et nature des revêtements).

Le frottement à la surface extérieure l'interface de ces deux couches de duretés différentes produit de fines particules de poussières. La présence d'un très grand nombre

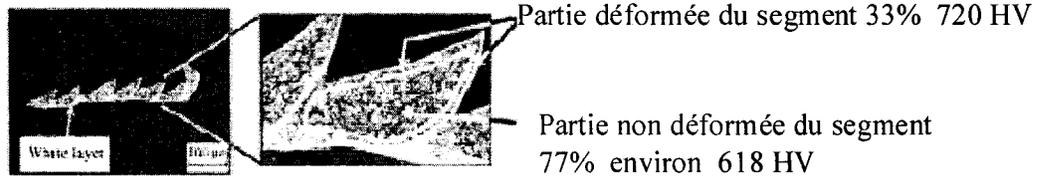
de couches par unité de volume dans le matériau ductile explique l'énorme quantité de poussières produites par rapport au matériau fragile où il y en a beaucoup moins (Figure 51).



$V_c = 150 \text{ m/min}$  ; fréquence de segmentions = 3.84 kHz



$V_c = 300 \text{ m/min}$  ; fréquence de segmentions = 15.6 kHz



$V_c = 1500 \text{ m/min}$  ; fréquence de segmentions = 100.6 kHz

Figure 51 Déformation du copeau à vitesses différentes. [50]

#### 4.4 Émission de poussières et formation du copeau

Insistons sur le mécanisme de la formation de la poussière qui est causée par le mouvement de la matière du copeau sur la face extérieure. La friction entre les deux couches molle et dure, produit un grand nombre de micro –copeaux (poussières) à cause de la rugosité (aspérités) de surface de la couche dure qui s'enfonce dans la couche molle (micro labourage). En d'autres termes, les aspérités du corps le plus dur s'enfoncent dans le corps le plus mou, l'écrouit et (ou) y creusent des stries (sillons) avec formation de bourrelets ou micro copeaux. Les micros copeaux produits sont des fragments de matière de la taille de rugosité de la couche dure.

L'émission des particules est associée avec une ou plusieurs zones de déformation plastique (intense). L'effet de la coupe se traduit par la formation de quatre zones de déformation plastique. Le schéma suivant, très classique, illustre ces quatre zones de déformation plastique (figure 52).

Dans ces zones, il se produit différents phénomènes physiques et chimiques qui conduisent à des modifications de structures, des durcissements, des phénomènes de frottement, des processus d'adhésion et de diffusion ainsi qu'à des réactions chimiques.

La zone 1 est la zone au sommet de l'arête de l'outil où s'élabore éventuellement l'arête rapportée, mais c'est aussi la zone où la coupe s'effectue, où le copeau se forme. Dans cette zone, entourant de manière étroite l'arête de coupe, il y a une déformation intense par refoulement de la matière. Lorsque la vitesse de coupe est trop basse, cette zone prend une importance particulière (formation de l'arête rapportée). La présence d'une arête rapportée diminue fortement l'usure de l'outil, mais, malheureusement, entraîne la formation d'une surface rugueuse et augmente la force de coupe. Il est nécessaire de choisir des conditions de coupe permettant de supprimer cette arête rapportée par une augmentation de la vitesse de coupe, de l'angle de coupe ou de l'avance etc.

La zone 2 est la zone de glissement plastique. A-R est le front où la limite élastique est atteinte. Dans cette zone, le cisaillement et la vitesse sont très grands. Dépendant du matériau et des conditions de coupe, ce cisaillement peut conduire à des formes de copeaux différentes : dentelée, continue etc. (figure 52). Pour des fins de la discussion, retenons que la déformation dans cette zone plastique, produit le plus souvent de bandes alternées, appelées souvent couches dures, couches molles. Cette alternance est la source de micro frottements importants sur la face interne du copeau.

Sous l'action du cisaillement de surface, il peut se former des écailles qui sont une source de poussières. Ces écailles sont présentes en grand nombre surtout sur des matériaux ductiles.

La zone 3 est dominée par le frottement à l'interface du copeau et de la face d'attaque. Ce frottement conduit à des élévations des températures importantes. Cette zone est encore appelée, la zone de cisaillement secondaire.

La zone 4 est caractérisée par le frottement de la face externe du copeau. La déformation sur la surface extérieure est importante. La couche superficielle se trouve fortement comprimée et il se produit un écrouissage de la surface sous l'action de ces contraintes élevées.

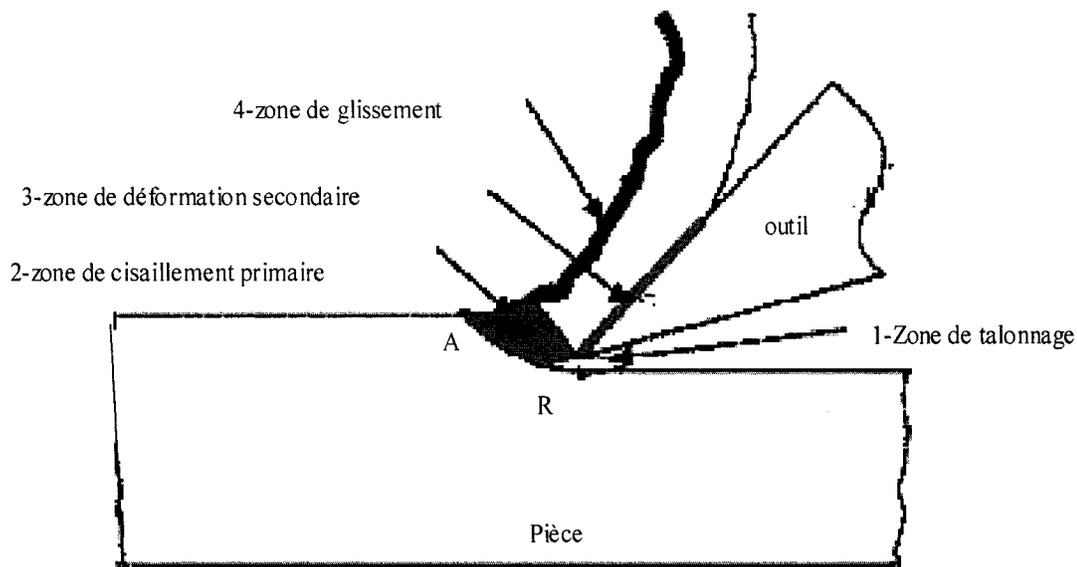


Figure 52 Zones de formation de poussières

#### 4.5 Émissions à basses vitesses

Il est souvent affirmé que le stade I est caractérisé par l'indépendance entre la force et la vitesse de coupe. Cette affirmation a été vérifiée de nombreuses fois pour de nombreuses classes de matériaux (aluminium, cuivre, acier polymère). Il a aussi été noté qu'il n'y avait pas de corrélation entre la force et l'émission de poussière. Afin de mieux comprendre les mécanismes d'émission, nous avons usiné à basse vitesse.

La figure 56 montre des copeaux de C642A formés à basse vitesse de coupe (7 m/min). On peut constater sur la figure 53 (a, b) que la rupture est fortement fragile. La figure 53a montre la présence de très nombreuses ruptures fragiles. Par ailleurs, d'après la figure 53 (c, d), on peut constater que le plan de rupture subit sur la surface une microdéformation ductile. Cette microdéformation provient du frottement sur plan des ruptures, à l'échelle microscopique. Ce mécanisme de déformation du copeau favorise la formation des particules volatiles de petit diamètre, mais avec une concentration petite

en comparaison avec les copeaux qui subissent une déformation plastique à l'échelle macroscopique. On peut remarquer que les plans des ruptures sont très peu déformés, ce qui traduit le faible frottement des plans les uns sur les autres. La faible déformation de surface explique la faible émission de poussières. On peut remarquer aussi des cicatrices laissées par la présence de gouttelette de plomb qui ont recouvert la surface favorisant ainsi le glissement.

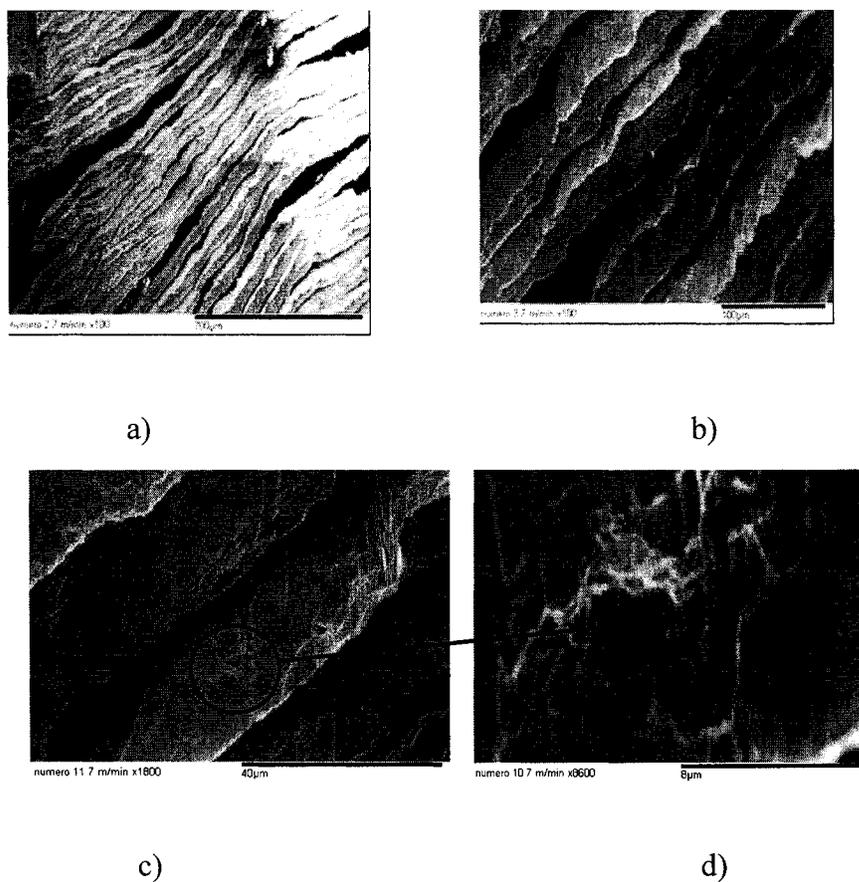


Figure 53 Copeaux du C642A à basses vitesses de coupe (7 m/min)

#### 4.6 Formation des copeaux à l'optimum des vitesses

Dans ce paragraphe on va étudier l'émission des poussières à plus haute vitesse. À ces vitesses de coupe la température du copeau augmente, par conséquent le copeau subit un ramollissement, sa ductilité augmente et par conséquent la concentration de poussières augmente. À plus haute vitesse (plus que 250 m/min), les propriétés mécaniques du copeau chutent, ce qui entraîne que la production des particules de poussières chute. La figure 54, illustre l'explication le mode de formation de la poussière en fonction de la vitesse de coupe selon l'allure classique de la courbe typique d'émission de poussières.

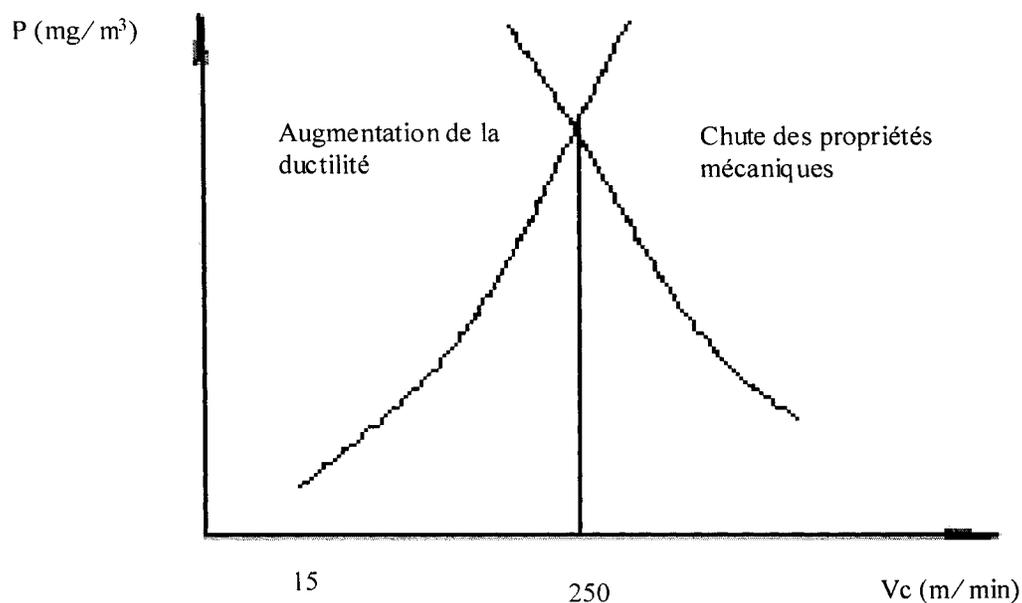


Figure 54 Concentration de poussières en fonction de la vitesse de coupe

Les figures 55 et 56, représentent à fort grossissement la structure de la face interne et de la face externe d'un copeau d'alliage C360A à une vitesse de 250m/min. La figure 56a représente la micrographie de la face interne. On peut remarquer que l'alliage est fortement déformé avec la présence de zones formées par une forte micro extrusion de la surface. Ces déformations sont causées par le frottement du copeau sur l'outil. Elles sont une composante importante de la force de coupe.

Cette matière hautement déformée n'est pas responsable de la formation de poussière car cette micro extrusion se produit dans des conditions de compression très fortes qui ne sont pas favorables à la génération de poussières.

Les figures 56 b et 56 c, représentent la déformation de la face extérieure d'un copeau dans les mêmes conditions que précédemment. Sous l'effet de la grande déformation plastique qui existe à la surface des copeaux, il se produit des microfissures et des microfrottements (Figure 56c). Les surfaces de ces microfissures frottent les unes sur les autres sous l'action du cisaillement car elles ne traversent pas l'épaisseur du copeau (Figure 55).

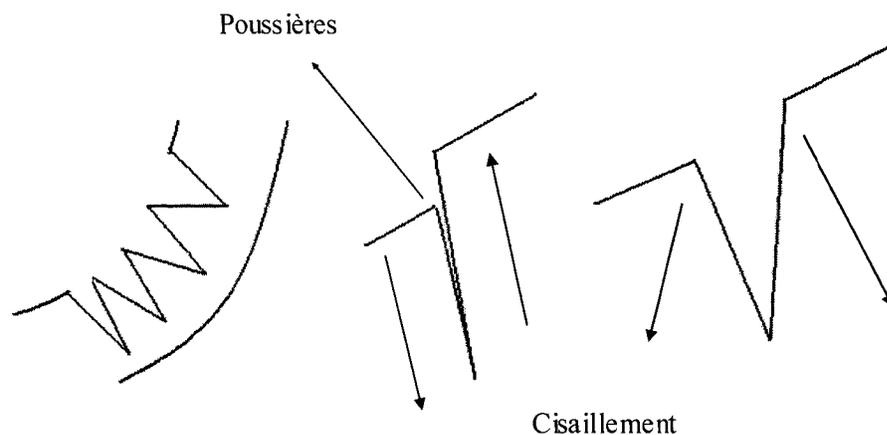
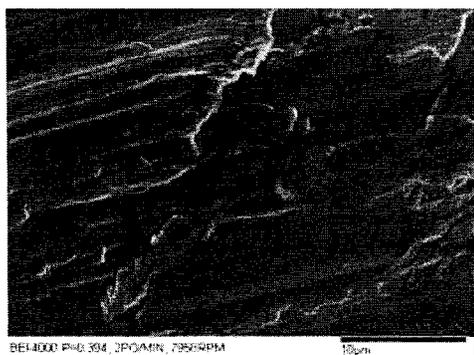
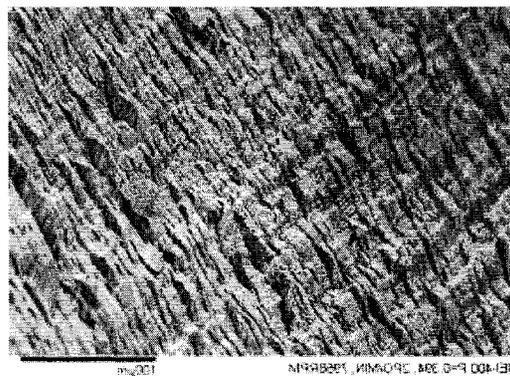


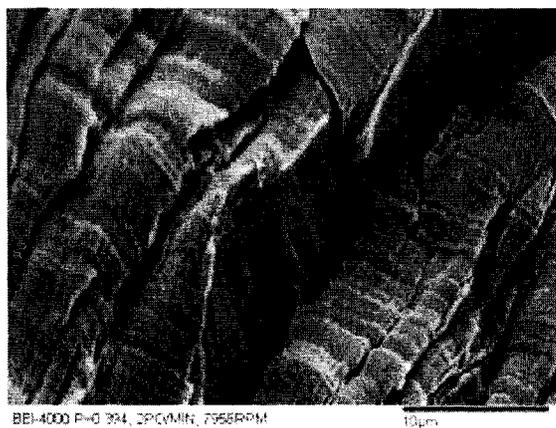
Figure 55 Copeau en cours de formation (cisaillement cyclique)



a) face interne



b) face externe



c) face externe

Figure 56 Faces interne et externe du copeau du C360A

La figure 55 schématise la formation des particules. Le cisaillement cyclique de la face externe du copeau influence le mécanisme de formation de poussières de deux façons. Il cause le frottement des plans des fissures l'un sur l'autre et aussi il provoque la propagation des fissures. La génération des particules est favorisée et surtout accentuée lorsque le copeau provient de métaux ductiles où le frottement des plans de fissure est important.

À plus basse vitesse (15 m/min), le mécanisme de formation est très différent. La figure (56a) montre la face interne du copeau d'alliage C360A. On voit sur cette figure de la face interne des traces de plomb qui favorisent le glissement et diminuent la déformation sur cette face, par conséquent cette surface contribue de façon minimale à la formation des particules de poussières.

Les figures (57, b et c) montrent les faces externes du copeau. La déformation sur cette face est importante et on peut remarquer la formation 'd'extrusion'. Cette face devient le siège d'une déformation plastique qui favorise la production de poussières.

La comparaison des figures 55c et 57 explicite la différence de comportement en fonction de la vitesse. Le frottement local des plans des fissures nouvellement créés par la déformation est plus faible à basse vitesse.

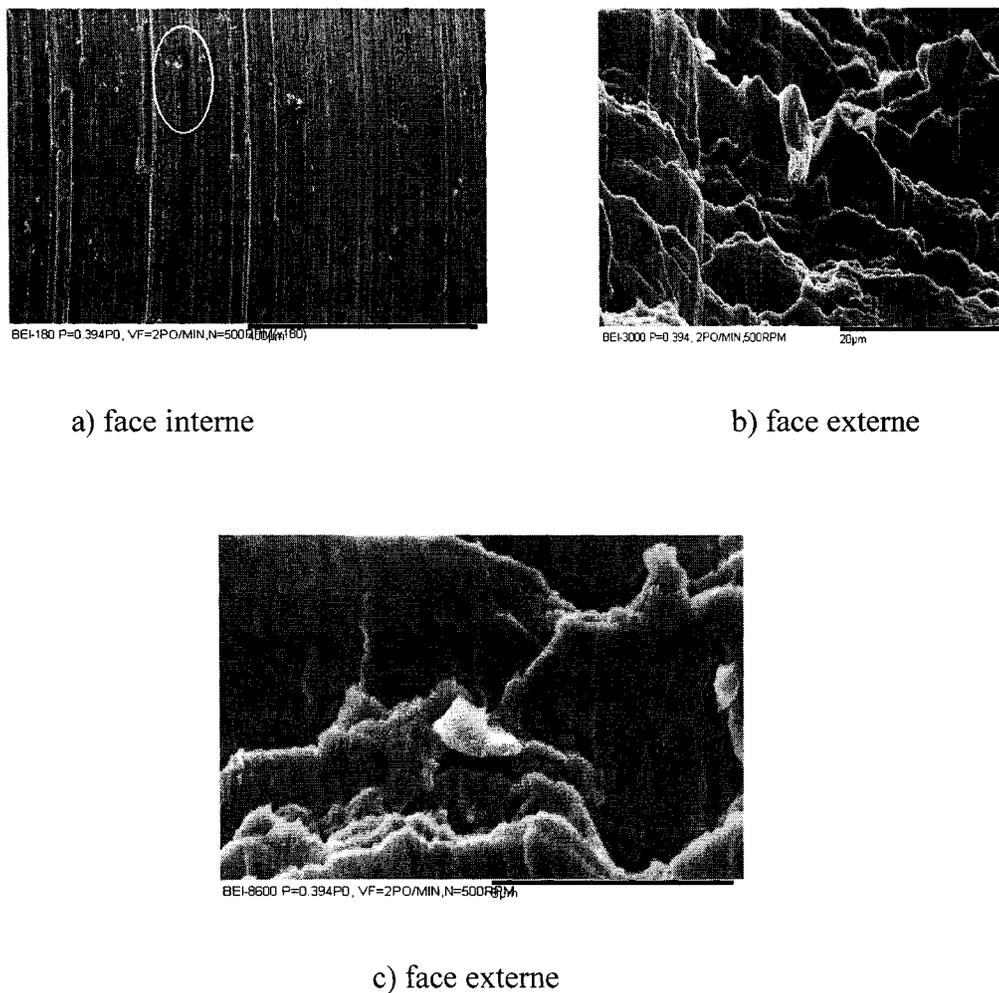


Figure 57 Formation des particules avec les copeaux du C360A

#### 4.7 Influence de la vitesse de coupe sur la longueur des copeaux

Pour souligner les causes de cette génération de poussières, une analyse de la longueur des copeaux a été faite à 125 m/min et à 250 m/min. Nous avons caractérisé la longueur des copeaux par le nombre de spires présent sur celui-ci. La longueur du copeau est proportionnelle au nombre de spires.

Les résultats montrent qu'à 125 m/min les copeaux sont plus courts qu'à 250m/min (figure 35 à figure 37 et 58). Cette constatation confirme le fait qu'à des basses vitesses les copeaux sont courts alors qu'à des vitesses élevées les copeaux sont longs. Plus le copeau est long, plus les micros frottements sont présents, plus l'émission est grande. L'émission suit donc la même tendance que la figure 32, chapitre 3.

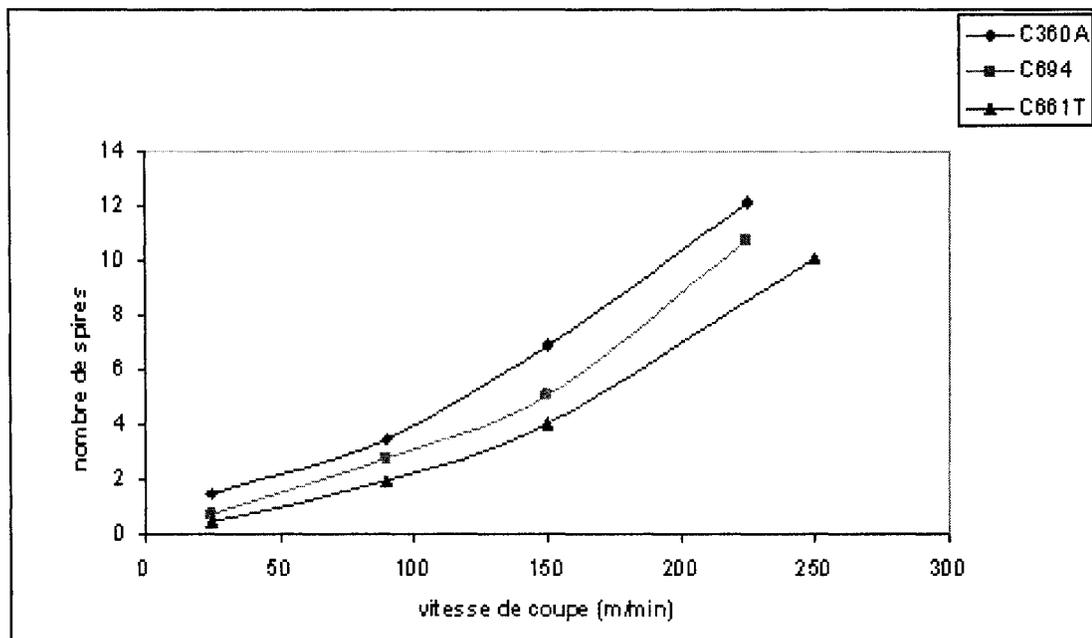


Figure 58 Nombre de spires en fonction de la vitesse de coupe

#### 4.8 Influence indirecte des efforts de coupe sur la génération de poussières

Pour vérifier l'influence des efforts de coupe sur la génération de poussière, les essais ont été faits à l'aide d'une table dynamométrique et la figure 59, montre comment se comporte l'émission par rapport à l'augmentation de la force de coupe.

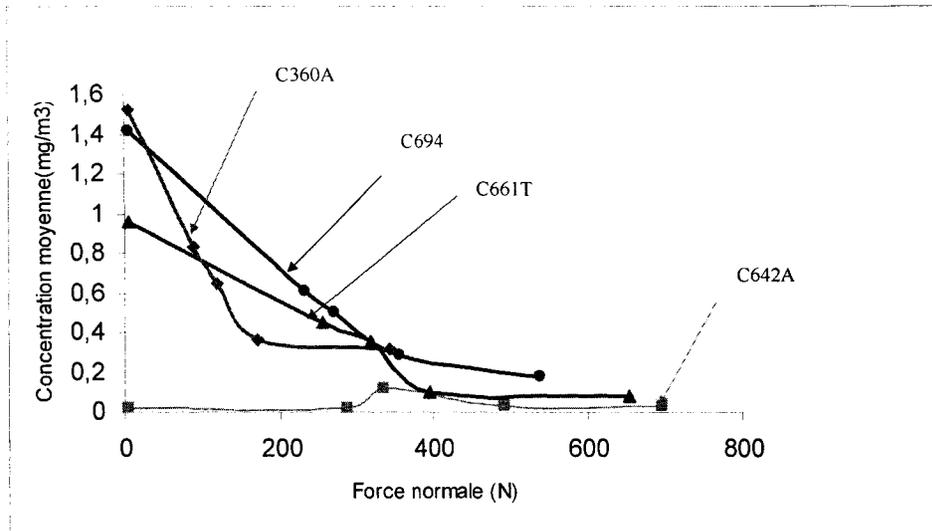


Figure 59 Force en fonction de la concentration de poussières

Nous avons déjà signalé qu'il n'y a pas de corrélation entre la génération de poussières et les efforts de coupe. C'est le micro- mécanisme de déformation qui explique la formation de la poussière. Les forces sont sensibles au frottement copeau -outil, au mode de déformation dans le plan de cisaillement, et au frottement du copeau dans la flûte. Le copeau commence à se fragmenter dans le plan de cisaillement, et la fissure se propage éventuellement dans ce plan. L'émission n'est sensible qu'à la présence de micro-frottement sur les plans de glissement présents sur la face extérieure du copeau.

#### 4.9 Développement d'une nouvelle échelle de mesure de poussiérabilité

Lors des tests d'évaluation de la concentration de poussières émise en fraisage et perçage, les résultats fluctuent en fonction des paramètres expérimentaux. Parmi les principaux responsables des variations des mesures citons : la géométrie de l'enceinte, la géométrie du système d'aspiration, l'influence de l'action rotative du foret etc.... Ces fluctuations des résultats d'un même test peuvent s'expliquer par la non uniformité de la répartition des particules dans l'enceinte récupératrice des particules de poussières, le

comportement centrifuge de la broche qui dépend de la géométrie de l'enceinte ou du foret, l'état des surfaces usinées, l'usure de l'outil, la propreté de la boîte récupératrice de poussières, l'humidité de l'air de la boîte. Tous ces paramètres ont une influence sur l'émission de poussières. Il est donc difficile de comparer les résultats obtenus dans différents laboratoires et même dans le même laboratoire les mesures dépendent du montage utilisé. Par exemple, nous avons utilisé deux montages différents (géométrie de la boîte récupératrice) qui ont entraîné des mesures très différentes. Pour un perçage dans les mêmes conditions de coupe, les résultats peuvent différer par un facteur de 10 d'une chambre à l'autre.

La figure 60 montre les géométries des différentes boîtes utilisées pendant nos essais.

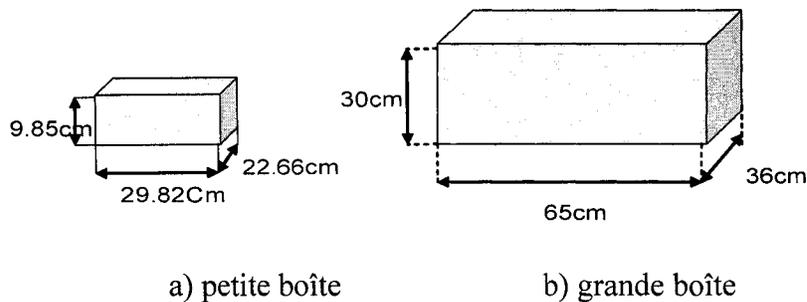


Figure 60 Différence entre boîtes récupératrices de poussières

Soient  $V_1$  et  $V_2$  les volumes respectifs des boîtes a et b et  $t_1$  et  $t_2$  les temps d'acquisition avec  $V_1$  et  $V_2$ . Le débit d'aspiration par le photomètre à laser est de 1.7 l/min

\* En appliquant la conservation de débit on peut écrire:

$$\frac{V_1}{t_1} = \frac{V_2}{t_2} = 1.7 \text{ l / min}$$

$$V_1 * t_2 = V_2 * t_1 \quad (17)$$

Les temps d'acquisition doivent être différents si les volumes de boîtes sont différents.

### Conservation de la quantité de particules

Soient  $Q_1$  et  $Q_2$  les quantités des particules aspirées dans les boîtes a) et b) et  $Q$  la quantité de particules générées.  $P_{M1}$  et  $P_{M2}$  les concentrations dans les boîtes a et b

On peut écrire que  $Q_1 = Q_2 = Q =$  constante

La concentration  $P_{M i} = \frac{Q_i}{V_i}$

$$P_{M 1} = \frac{Q_1}{V_1} \quad P_{M 2} = \frac{Q_2}{V_2}$$

$$P_{M 1} * V_1 = P_{M 2} * V_2 \quad (18)$$

Cette différence provient évidemment de l'efficacité de la collection de poussières. La disparité s'aggrave encore lorsque les résultats proviennent d'autres laboratoires, dont souvent les conditions de mesures ne sont pas semblables.

Pour pallier à ce grave problème, nous proposons une échelle de mesure en 3U (unité universelle d'usage) qui permettrait un classement absolu des matériaux. Le but est de comparer les propriétés des matériaux, ce qui exige des conditions de mesures bien définies. La définition de test standard n'est pas nouvelle. Citons par exemple la dureté (force du pénétrateur et force appliquée), le module d'élasticité (géométrie de l'éprouvette, vitesse d'application de la charge), la ténacité (extensomètre latéral). La « poussiérabilité » ainsi définie est une caractéristique du matériau (émission de poussières). Comme toutes échelles de mesure les conditions expérimentales sont fixées, géométrie de l'outil: angle de pointe de 118 degré, diamètre du foret de 10mm, HSS

sans brise copeau, une vitesse de rotation de 1120 Rpm et une avance de 0.11mm/t. Toutes ces conditions sont dites standards. La vitesse de coupe de 45 m/min a été choisie dans le stade I, car dans ce stade l'émission de poussières est sensiblement linéaire en fonction de la vitesse de coupe et de l'avance.

Donnons les détails de la définition de l'échelle de mesure: la valeur 100 est donnée à l'usinage du C360A percée dans des conditions expérimentales précisées plus bas. La valeur 50 est accordée pour le même matériau dans les mêmes conditions, excepté que la vitesse de coupe est deux fois plus petite (figure 61). Ceci permet ainsi de standardiser les mesures de concentration de poussières afin de classer les différents matériaux selon une échelle de poussiérabilité.

L'échelle de mesure standardisée s'appuie sur la relation (19) suivante:

$$P_M = A * V_c^n \quad (19)$$

Avec :  $P_M$  = poussière moyenne ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ),  $A$  = constante,  $V_c$  = vitesse de coupe (m/min).

L'existence d'une relation linéaire permet de pouvoir calculer la poussiérabilité dans les conditions standards. Par exemple, si une mesure a été faite à 100m/min on peut affecter à ce matériau la mesure « 100 » en conditions standards.

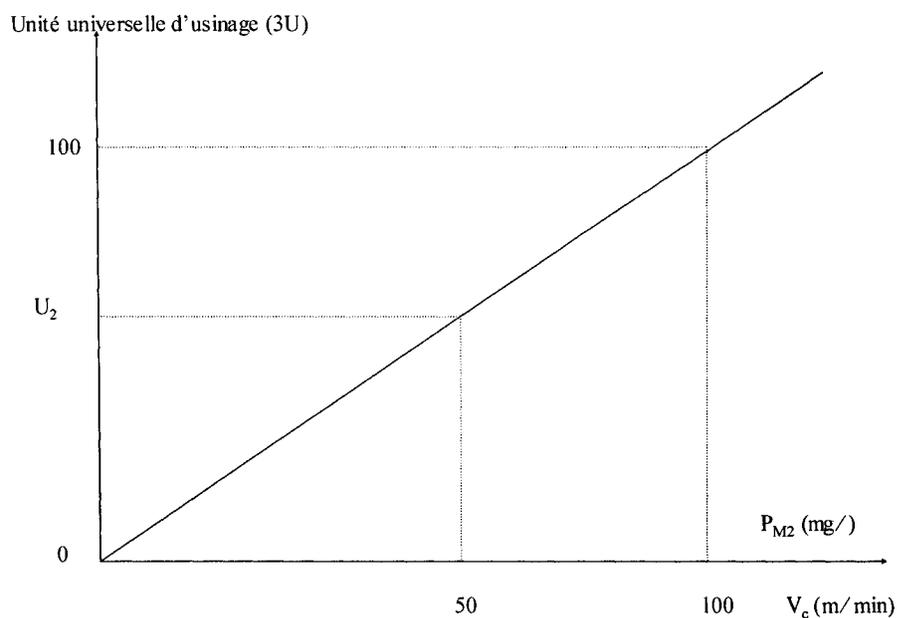


Figure 61 Étalon de mesure de poussières en fonction la vitesse de coupe

Prenons l'application de cette échelle de mesure. Chaque laboratoire réalise, avec son équipement de mesure, deux tests avec le C360A, dans les conditions définies ci-dessus. Il trouve par exemple, une valeur de  $x_1$  mg/m<sup>3</sup> à 1120 Rpm et  $X_{1/2}$  à 500 Rpm. Il est alors facile de tracer la courbe d'étalonnage.

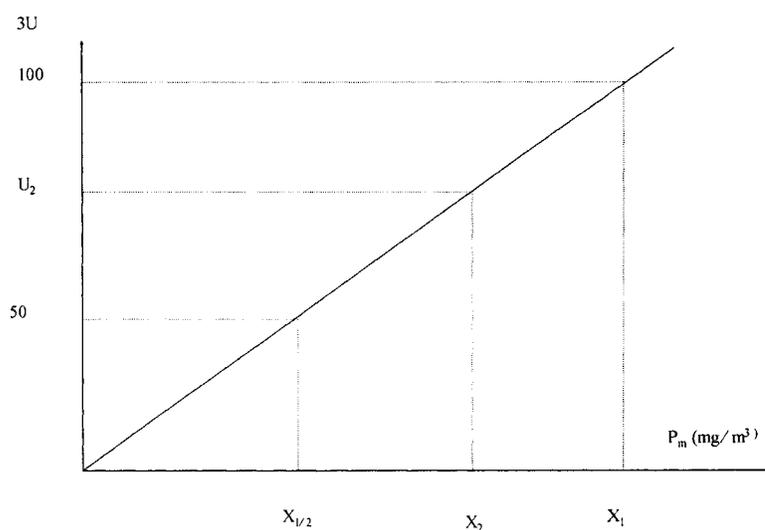


Figure 62 Courbe d'étalonnage de la poussiérabilité  $P_M$

$$U_2 = U_{1/2} + (X_2 - X_{1/2}) \frac{(U_1 - U_{1/2})}{(X_1 - X_{1/2})} \quad (20)$$

La relation (20), permet de placer le matériau sur l'échelle 3U. Ainsi une autre mesure, faite avec la même chambre et le même système de collection des poussières, donnera une mesure de  $X_2$  à laquelle correspondra la valeur  $U_2$ . On peut aussi comparer les matériaux, les modes d'usinage (perçage, fraisage, etc.). La mesure proposée permet des comparaisons quantitatives entre laboratoires, entre machines-outils, entre outils.

L'étalon standard (figure 61 et 62) ainsi défini, (C360, 1120 Rpm , 0.11mm/tr foret HSS 10mm, pente 118 degrés sans brise copeau, sans vibration) permet de comparer les matériaux selon une échelle de poussiérabilité, on peut ainsi classer les matériaux selon leur émissivité, leur poussiérabilité (figure 63).

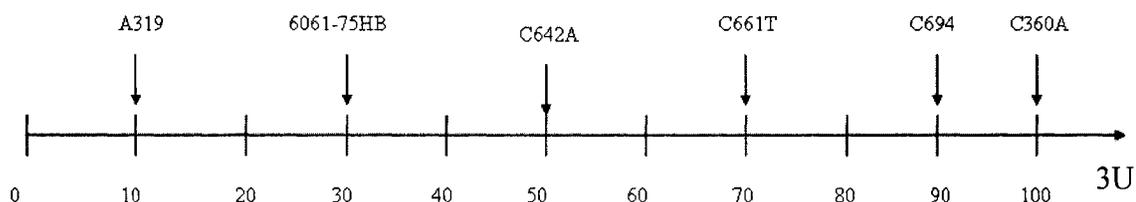


Figure 63 Échelle de poussiérabilité des différents alliages

Le C360A émet plus que le 6061 -75HB et le A319.

Les alliages légers à faible densité diminuent les effets d'inertie et permettent des vitesses de rotation et de translation élevées en usinage.

La quantification de poussières dans les alliages d'aluminium se traduit d'une part, par le caractère ductile/fragile du matériau de la pièce et d'autre part, par les paramètres de coupe. Il a été montré plus haut que la concentration de poussière augmente avec l'augmentation de la ductilité, l'avance et la vitesse de coupe dans le stade II. Alors que dans le stade III (très hautes vitesses).

À cause de leur fragilité, les alliages de fonderie produisent moins de poussières fines ( $\leq 2.5$  microns). Les figures 28 et 29 montrent nettement que l'alliage A319 produit beaucoup moins de poussières que l'alliage 6061-75HB, 95HB et le 125HB.