

**II-1- Introduction :**

Dans ce chapitre, nous allons intéresser uniquement aux opérations de rectification cylindrique. L'analyse de ces opérations va, sans doute, aider de trouver des modèles mathématiques déterminant les conditions de déroulement de travail, et ainsi que les résultats des opérations.

**II-2 -Paramètres opérationnelles du procédé :**

L'enlèvement de matière, lors d'une opération de rectification cylindrique, est réalisé à l'aide d'un mouvement relatif de la pièce et la meule. La rotation de la meule permet cependant le passage d'un nombre important de grains sur la surface usinée permettant, ainsi, l'arrachement de matière. Ce phénomène résulte, ainsi, l'usure de meule pendant les opérations d'affutage au cours de l'opération.

De ce fait, on trouve que les conditions les plus importantes lors d'usinage sont.

**II-2-1- La vitesse de meule (m/s) :**

Elle est exprimée en unités de distance par unité de temps.

$$v_s = \frac{\pi d_s N_s}{60} \quad (1)$$

$N_s$  : La vitesse de rotation de la meule [ $tr/min$ ].

$d_s$  : Le diamètre de la meule [mm].

**II-2-2- La vitesse de la pièce (m/s) :**

C'est la vitesse instantané un point de périphérique de la meule, exprimée en unités de distance par unité de temps.

$$v_w = \frac{\pi d_w N_w}{60} \quad (2)$$

$N_w$  : La vitesse de rotation de la pièce [ $tr/min$ ].

$d_w$  : Le diamètre de la pièce [mm].

**II-2-3- La profondeur de passe a (mm) :**

La profondeur de passe déterminée par combinaison de deux vitesses, vitesse d'avance de la meule et la vitesse de rotation de la pièce, exprimée en unités de distance.

$$a = \frac{v_f}{N_w} \quad (3)$$

$v_f$  : La vitesse d'avance de la meule [ $m/s$ ].

**II-2-4- La profondeur de l'affutage c (mm) :**

La profondeur d'affutage est déterminée par la pénétration de dresseur dans la meule, exprimée en unités de distance. Il conditionne directement l'efficacité de l'opération d'affutage et par conséquent d'opération de rectification.

**II-2-5- Avance du dresseur par tour L(mm/tr) :**

C'est la distance parcourue par le dresseur pendant un tour de la meule.

$$L = \frac{\pi d_s v_d}{v_s} \quad (4)$$

$v_d$  : La vitesse de dressage. (m/s) [3].

**II-3- Paramètres technologiques :**

Une opération de rectification cylindrique est caractérisée par l'efficacité du procédé. Cette efficacité est représentée par le rapport de la quantité enlevée de matière de la pièce par rapport à celle enlevée de la meule.

De plus d'autres paramètres peuvent être pris en considération tel que les efforts de coupe et l'énergie spécifique car la machine (rectifieuse) n'admet que des valeurs limitées d'énergie. Ainsi, les montages de la pièce et la meule n'ont que des valeurs limites de résistance.

**II-3-1 Paramètre d'enlèvement de matière de la pièce :**

Le débit d'enlèvement de matière de la pièce est déterminé par la profondeur de passe, la vitesse de la pièce et largeur active. Exprimée en unités de volume par unité de temps il s'exprime par la relation : [3]

$$\lambda_w = A_1 \frac{\left(\frac{v_w}{v_s}\right)^{3/19} \left(1 + \frac{2c}{3L}\right) L^{11/19}}{d_s^{43/304} VOL^{0.47} d_g^{5/38} R^{27/19}} \quad (5)$$

$d_s$  : Diamètre de la meule [mm]

$d_g$  : Taille de grain [mm]

R : Dureté de la meule

$A_1$  : Constante

VOL : Facteur de corrélation de la meule.

**II-3-2 Paramètre d'enlèvement de matière de la meule :**

Le débit d'enlèvement de matière de la meule est déterminé par la variation du rayon de la meule et largeur active, exprimée en unités de volume par unité de temps il s'exprime par la relation:[3]

$$\lambda_s = A_2 \frac{\left(\frac{v_s}{v_w}\right)^{3/19} \left(1 + \frac{c}{L}\right) L^{27/19} v_w}{\left(1 + \frac{2c}{3L}\right)} \quad (6)$$

$A_2$  : Constante

$$A_2 = \frac{K_a a_p d_g^{5/38} R^{27/19}}{d_s^{1.2} VOL^{-43/304}} \quad (7)$$

$a_p$  : Profondeur de passe (mm).

$K_a$ : Constant dépendant du coulant de la meule.

**II-3-3-L'effort de rectification :**

L'effort de coupe globale résultant de l'action d'une meule est la somme des efforts élémentaires exercés sur la pièce cylindrique par les grains de la meule en action.

L'effort de coupe est décomposé suivant deux directions principales: la direction normale au profil de la meule passant par le point de contact meule pièce, cette composante est appelée effort normal de rectification  $F_n$  il s'exprime par la relation.

$$F_n = F_{n,c} + F_{n,sl} \quad (8)$$

$$F_n = F_{n,c} + \bar{p}(d_e a)^{1/2} A \quad (9)$$

$F_{n,c}$ : L'effort normal de copeau (N).

$F_{n,sl}$ : L'effort normal déformation plastique (N).

La direction tangente au profil de la meule, cette composante est appelée effort tangentiel de rectification  $F_t$  il s'exprime par la relation.

$$F_t = F_{t,c} + F_{t,sl} \quad (10)$$

$F_{t,c}$  : L'effort tangentiel de copeau

$F_{t,sl}$  : L'effort tangentiel déformation plastique

Donc :

$$F_t = F_{t,c} + \mu \bar{p}(d_e a)^{1/2} A \quad (11)$$

$\bar{p}$  : Le Moyen de contact pression (bar).

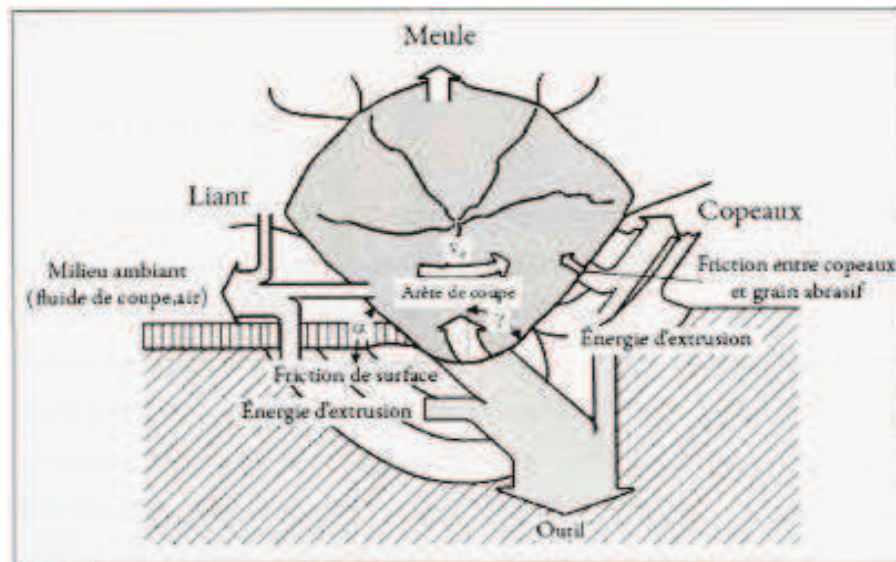
A : La fraction de la meule surface.

Le rapport entre tangentiel  $F_t$  et l'effort normal peut être assimilé au coefficient de frottement de la meule sur la pièce cylindrique [4].

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} \quad (12)$$

### II-3-4- L'énergie spécifique :

Durant le meulage, l'énergie cinétique de la meule est transférée principalement sous la forme de flux de chaleur. L'augmentation de la température est due à la friction générée par le contact entre l'outil et la pièce. La schématisation du transfert d'énergie est illustrée ci dessous.



**Figure II. 1** : Transfert de chaleur durant le meulage de matériaux métallique [3].

La formation d'un copeau est composée de trois phénomènes : la coupe, la friction et la déformation plastique. L'énergie spécifique est donc constituée de ces trois quantités :

$$U = U_{coupe} + U_{friction} + U_{déformation\ plastique} \quad (13)$$

L'énergie spécifique de rectification est la quantité d'énergie nécessaire pour enlever une unité de volume de matériaux. Elle est donc donnée par la formule :

$$U = 13.8 + \frac{9.64 \cdot 10^{-4} v_s}{a_p v_w} + \left( 6.9 \cdot 10^{-3} \frac{2102.4 \cdot v_w}{d_s v_s} \right) \left( A_0 + \frac{k_u v_s L_w a_w}{v_w d_s^{1/2} a_p^{1/2}} \right) \frac{v_s d_s^{1/2}}{v_w a_p^{1/2}} \quad (14)$$

En connaissant cette relation il est possible de s'assurer, lors du meulage, que l'énergie spécifique dégagée est inférieure à l'énergie spécifique critique [4].

$$U^* = 6.2 + 1.76 \left( \frac{d_s^{1/4}}{a_p^{3/4} v_w^{1/2}} \right) \quad (15)$$

**II-3-5. Etat de surface :**

On appelle états de surface les irrégularités des surfaces dues au procédé d'élaboration de la pièce (usinage, moulage, etc.). Ils sont le plus souvent, mesurés avec des appareils à palpeur à pointe de diamant, appelés profil mètres, qui relèvent le profil de la surface

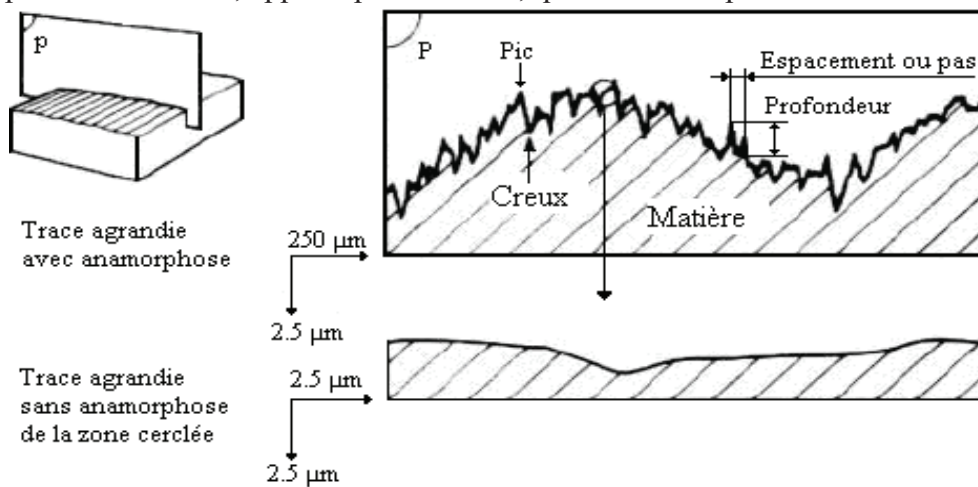


Figure II. 2: Relevé d'un profil d'état de surface [7].

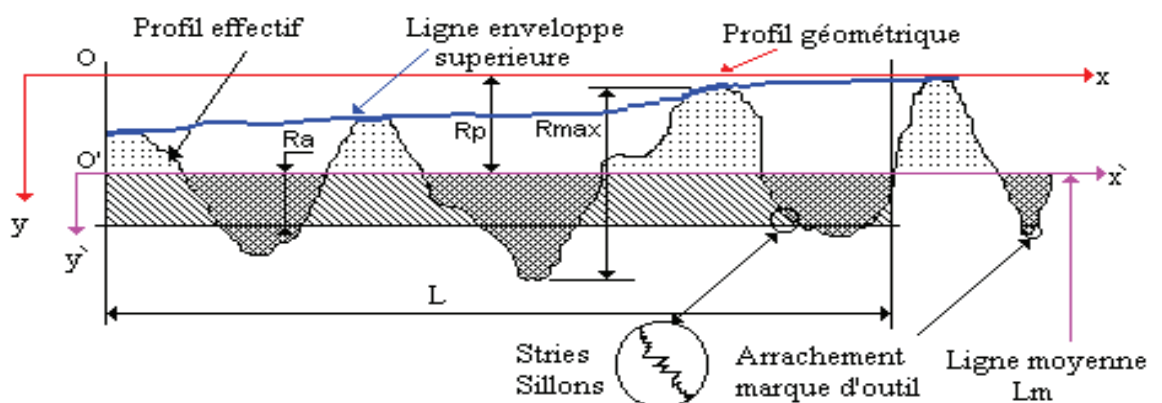


Figure II. 3: La rugosité de surface [7].

Soit OX la ligne moyenne telle que :

$$\int_0^L y \, dx = 0$$

Où L est la longueur de palpage

Les principaux critères de rugosité sont définis par rapport à cette ligne moyenne, Soit :

- **Rugosité moyenne arithmétique** :  $R_a$  représente la moyenne arithmétique des écarts (en valeur absolue) par rapport à  $ox$  :

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y| dx$$

- **Rugosité moyenne quadratique**  $R_q$  : Ce critère (non normalisé en France) représente l'écart moyen quadratique par rapport à  $ox$  :

$$R_q = \left[ \frac{1}{l} \int_0^l y^2 dx \right]^{\frac{1}{2}}$$

- **Rugosité max.  $R_{max}$**  : elle représente la hauteur maximale des irrégularités du profil de rugosité

- **Rugosité totale  $R_t$**  : représente l'écart total entre le point le plus haut et le point le plus bas du profil, relevé sur toute la longueur de palpement  $l$ .

- **Rugosité  $R_z$**  : représente la rugosité totale moyenne

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Z_i$$

D'une manière empirique, la rugosité de surface peut être formulée comme suit [7]:

$$R_a = 7.7732 \frac{d_g^{0.854}}{d_s^{0.694}} \left(1 + \frac{c}{L}\right)^{0.3} L^{0.854} \left(\frac{v_w}{v_s}\right)^{0.854} \quad (16)$$

## II-4-Conditionnement de procédé :

### II-4-1-Usure des meules :

Le mode de travail des grains est relatif à l'usure du liant. Pour ce faire, le liant doit s'user pour que les arêtes des grains soient bien en contact avec la surface meulée. L'usure du liant permet ainsi aux grains de s'auto réaffûter. Le choix d'un liant compatible aux grains et à l'application est donc un autre facteur important à considérer afin d'avoir une rectification efficace et optimale.

De façon générale, la dégradation des meules est provoquée par l'usure mécanique et thermique. Le mode d'usure est déterminé par les paramètres de coupe, la méthode de refroidissement et de lubrification, ainsi que par la cinématique du procédé. La porosité du liant joue aussi un rôle important [5].

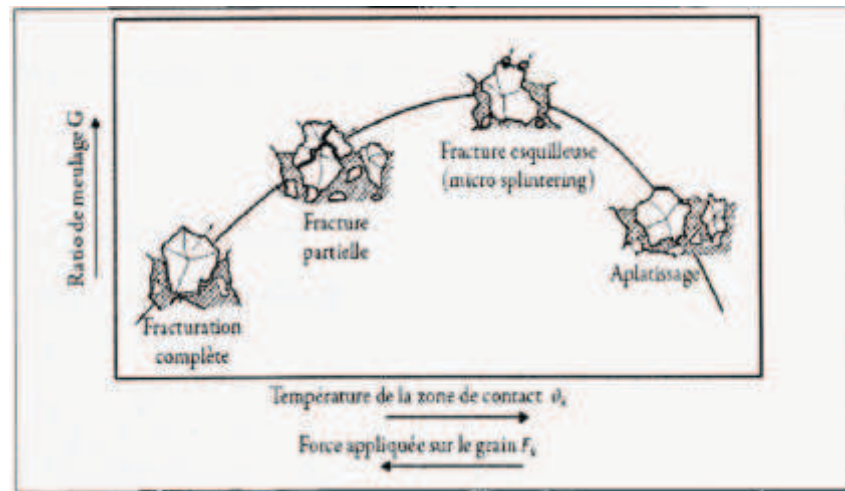


Figure II- 4. Relations entre les types d'usures et le ratio de meulage  $G$  [5].

#### II-4-2- L'influence de la chaleur sur la rectification :

Les phénomènes de friction et de déformation sont très importants et engendrent une quantité de chaleur importante. La vitesse de coupe de la meule étant élevée, cette quantité de chaleur se dégage pendant un temps très court, le flux thermique dirigé vers la pièce peut affecter la qualité de surface usinée.

Une petite partie de cette énergie est retenue pour la génération de la surface, en tant qu'énergie potentielle résidant dans la pièce sous la forme d'efforts résiduels. La figure II-5 des effets mécaniques et thermiques en rectification [6].

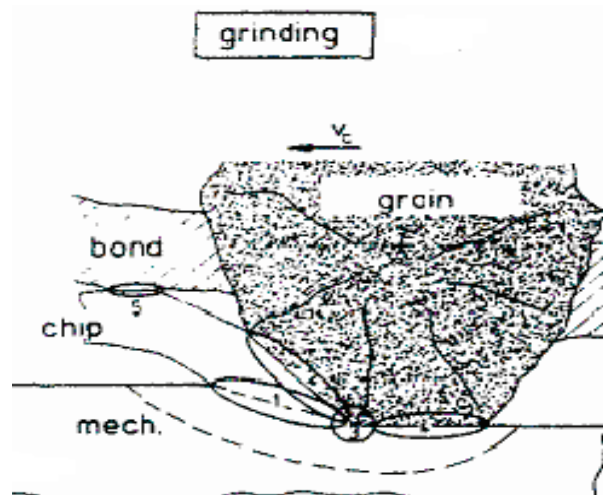


Figure II. 5 : Effets mécaniques et thermiques en rectification [6].

**II-5- Conclusion :**

La manipulation du procédé de rectification cylindrique ne peut être réalisée correctement, qu'à partir d'une bonne compréhension du procédé. Ainsi la formulation précise des phénomènes inclus dans le phénomène principal de coupe contribue à la modélisation des opérations, et par conséquent, dans la prédiction des différents paramètres liés à l'usinage.

Dans ce chapitre, nous avons proposé une formulation mathématique des paramètres technologiques du procédé de rectification cylindrique. Ce support mathématique est destiné à la représentation des interactions entre les différents paramètres d'usinage. Cet acquis sera utilisé dans la modélisation des opérations de rectification contenue dans le troisième chapitre.