

**I.1-Définition de la rectification:**

La rectification est un procédé d'usinage sur machines-outils qui consiste à enlever la matière, sous forme de petits copeaux, au moyen d'un outil particulier appelé meule.

On fait appel à ce procédé pour des raisons de précision qui tiennent à la fois aux dimensions, aux états de surfaces et aux conditions de dureté des pièces.

**I.2- Mode d'action de l'outil meule :**

La rectification d'une surface s'opère comme suit :

La meule constituée d'une multitude de grains d'abrasifs, reliés ensemble par un matériau dit agglomérant, est animée d'un mouvement de rotation et placée en contact avec la pièce à usiner. Ces petits grains enlèvent la matière sous forme de minuscules copeaux.

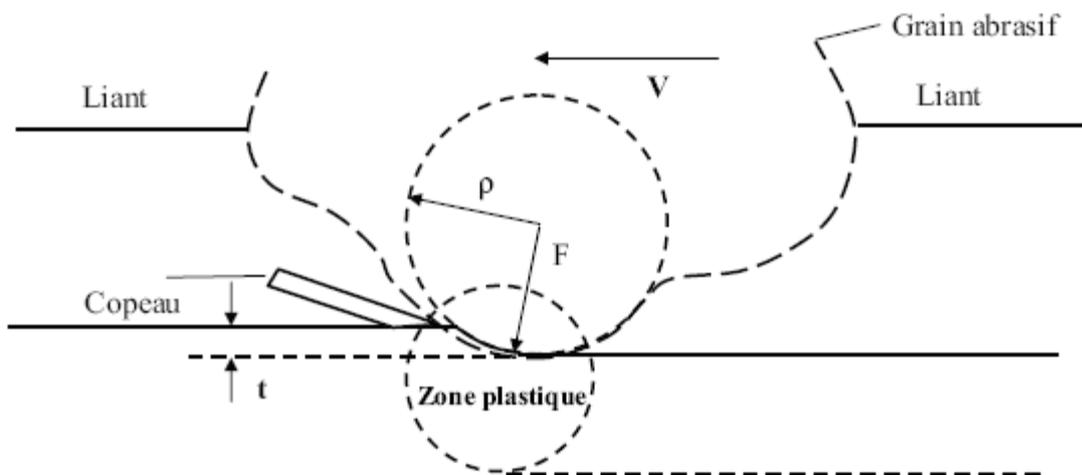


Figure I.1 : Mode d'action de l'outil meule [1].

**I.3-Etude de l'outil meule :**

Les principales caractéristiques qui différencient les meules sont :

- la forme.
- les dimensions.
- la spécification.

**I.3.1 Formes des meules :**

La forme d'une meule dépend des travaux auxquels elle est destinée (rectification extérieure, intérieure, plane,...) et la forme de la pièce.

Les meules les plus courantes sont :

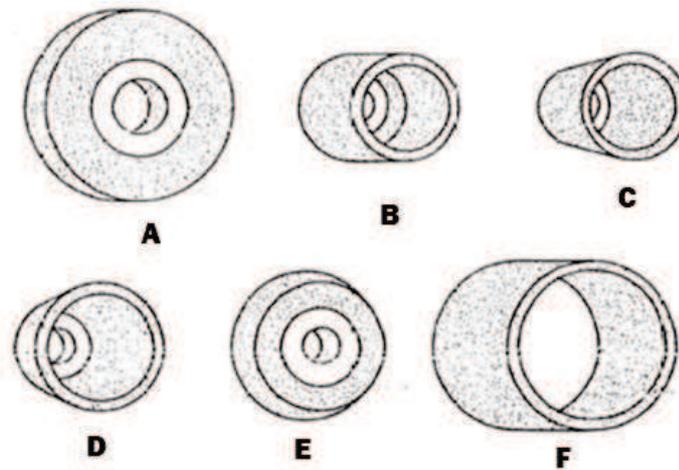


Figure I. 2 : Quelques formes de meule.

A : meule plate

B : meule tambour ou à boisseau droit

C : meule à boisseau conique

D : meule assiette

E : meule conique ou à biseau

F : meule cylindrique ou couronne.

**I.3.2 Dimensions des meules :**

Les dimensions caractéristiques d'une meule, exprimées en mm, sont :

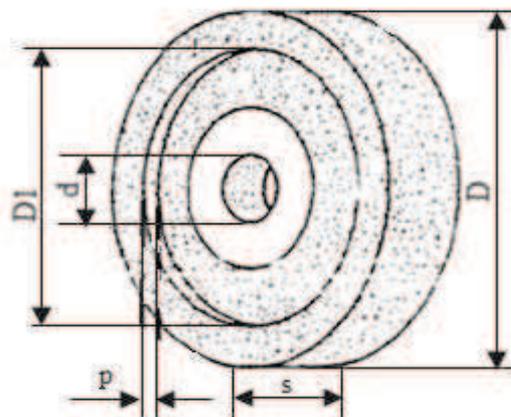


Figure I. 3 : Dimensions de meule.

- Le diamètre extérieur D.
- La largeur S.
- Le diamètre de l'alésage d.

À ces dimensions principales peuvent s'ajouter d'autres :

- Le diamètre de l'entaille D1.
- Sa profondeur P [1].

#### **I.4- Caractéristique d'un abrasif :**

Un abrasif est un corps dur cristallisé susceptible, par une action mécanique, de découper des copeaux dans un corps moins dur que lui. Il est caractérisé par ses propriétés mécaniques, sa stabilité physico-chimique, sa forme et ses dimensions.

##### **I.4- 1. Propriétés mécaniques :**

Dans le cadre du travail par abrasion, les propriétés les plus intéressantes sont la dureté et la résistance à la fracture.

##### **Dureté :**

Cette notion est caractérisée par la capacité d'un corps à en rayer un autre. Deux échelles sont utilisées pour classer les abrasifs selon leur dureté dans le tableau I.1.

**Tableau I.1 :** Quelques duretés comparées suivants les Echelle de Mohs et Knoop [2].

<b>Minéraux et abrasifs</b>	<b>Echelle de Mohs prolongée</b>	<b>Echelle de Knoop</b>	<b>Matériaux usuels</b>
Talc	1		
Gypse	2		
Calcite	3		
Fluorine	4	300 à	}
Apatite	5	500	
Orthoclase	6		Verres
Silice pure	7	740 à	
Quartz	8	800	
Topaze	9		Aciers trempés
Grenat	10	1400 à	
Zircone fondue	11	1800	
Alumine fondue	12	2000	Carbure métallique
Carbure de silicium	13	2500	
Carbure de bore	14	2800	
Diamant	15	> 7000	

L'échelle de Mohs prolongée classe dans une suite numérique allant de 1 à 15 différents minéraux et abrasifs naturels ou fabriqués, du plus tendre, le talc, affecté du nombre 1, au plus dur, le diamant, auquel on attribue le nombre 15. Cette échelle respecte la notion de dureté mais ne s'appuie sur aucune donnée mesurable. Et l'échelle de Knoop basée sur la pénétration

d'une pointe de diamant au moyen d'un appareil type Rockwell, permet d'établir une échelle dont les nombres sont proportionnels aux résultats des mesures effectuées.

#### **Résistance à la fracture :**

Lorsqu'il pénètre dans la pièce qu'il usine, le grain d'abrasif subit certaines contraintes mécaniques (choc, effort) et physiques (choc thermique) qui tendent à provoquer sa rupture.

Si, pour une application donnée, la résistance à la fracture de l'abrasif est trop élevée, le grain s'use, ses arêtes s'émousent, son pouvoir de coupe diminue et la chaleur produite augmente [2].

#### **I.4- 2. Stabilité physico-chimique :**

Dans tout travail d'usinage, une partie de l'énergie fournie est transformée en chaleur. Dans le cas d'usinage par abrasion, les températures mesurées dans la zone de pénétration d'un grain peuvent atteindre 700 à 800 °C.

Pour être efficace, un abrasif porté à ces températures devra conserver sa stabilité chimique et ses propriétés physiques en présence du matériau à usiner et des éventuels agents de refroidissement et de lubrification [3].

#### **I.4- 3. Forme :**

Certains abrasifs sont susceptibles de cristalliser dans plusieurs systèmes différents, et de présenter des plans de fracture qui engendrent des arêtes plus ou moins vives. Cette notion est à prendre en considération dans le choix d'un abrasif en fonction du matériau à usiner et de l'opération à réaliser.

#### **I.4-4. Dimensions :**

Les abrasifs sont utilisés sous la forme de grains dont la grosseur est définie suivant des normes. Les plus employées dans l'industrie sont :

- les normes MESH (américaine) et FEPA (européenne) pour les abrasifs conventionnels agglomérés.
- les normes CAMI (américaine) et FEPA (européenne) pour les abrasifs appliqués conventionnels.

**I.5. Caractéristique d'une meule :**

Une meule est un ensemble de grains liés entre elles l'aide d'un agglomérant dans une forme bien déterminée. Ses caractéristique sont en effet tirées des caractéristiques des éléments qu'ils la composant.

**I.5- 1. La grosseur du grain :**

La dimension d'un grain d'abrasif peut être déduite de son numéro de référence. Un grain d'abrasif référence X s'inscrit dans un cercle moyen de diamètre égale  $25.4/X$ .

Par exemple pour un grain N°60, on obtient :  $25.4/60 = 0.42\text{mm}$ .

La classification des grains normalement adoptée est la suivante:

**Tableau I.2 :** La classification des grains.

Très gros	6 à 11	Ebauche
Gros	12 à 24	Ebauche
Moyen	30 à 90	Finition
Fin	100 à 190	Finition
Très fin	200 à 400	Superfinition
En poudre	500 à 1200	Superfinition

**I.5- 2. Grade :**

Le grade est le coefficient de retenue des grains ou la force de cohésion avec laquelle l'agglomérant retient les grains. Il est désigné par des lettres de D à Z [1].

**Tableau I.3 :** Le grade.

Dénomination	grade
<b>Très tendre</b>	D, E, F,
<b>Tendre</b>	G, H, I, J,
<b>Moyen</b>	K, L, M, N, O
<b>Dur</b>	P, Q, R, S
<b>Très dur</b>	T, U, W, Z

**I.5- 3. La structure :**

Entre deux grains consécutifs d'abrasif G, on y trouve l'agglomérant A (matière qui relie les grains) et des petits vides ou pores P.

La dimension de ces derniers détermine la porosité de la meule.

Lorsque la distance moyenne entre 2 grains d'abrasif est petite, la structure est dite fermée (b).

Lorsque cette distance est grande, la structure est dite ouverte (a).

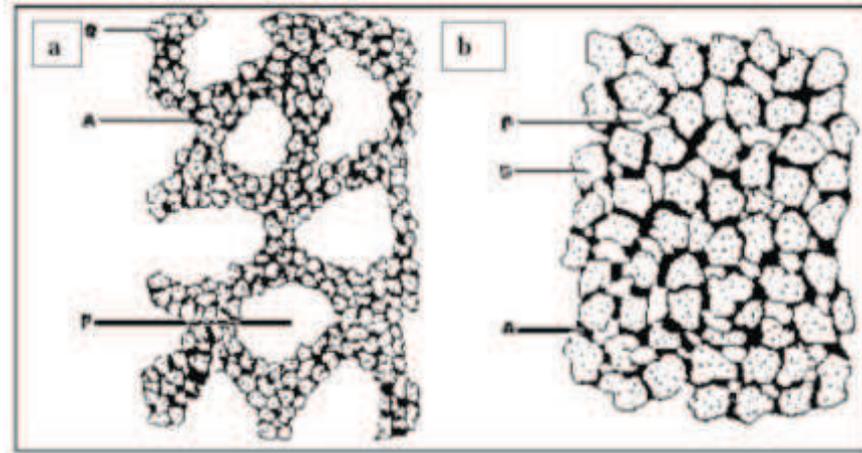


Figure I.4 : Structure de la meule [3].

Le pourcentage élevé de vide évite un échauffement excessif et facilite le dégagement des copeaux [3].

Tableau I.4 : choix de la structure de la meule.

Structure	Désignation
Fermée	1-2-3-4
Moyenne	5-6-7-8
Ouverte	9-10-11-12
Très ouverte	13-14-15-16

#### I.5-4. L'agglomérant :

L'agglomérant est la matière liante qui maintient ensemble des grains d'abrasif de la meule.

On distingue deux groupes principaux d'agglomérant :

- Minéraux : (vitrifié ou céramique : V, silicate : S, magnésie : O).
- Organiques : (résinoïdes : B, caoutchouc : R, gomme laque : E).

##### 1/ Agglomérant minéraux :

###### - Vitrifiés :

De même nature que la porcelaine, ils sont constitués, en proportion variable, de feldspaths, d'argiles et de silice. À partir de ces constituants de base, les fabricants ont élaboré une grande variété d'agglomérant en fonction des opérations à réaliser (affûtage d'outils, rectification cylindrique ou plane, rodage) et des contraintes liées à ces opérations : échauffement, tenue de profil, débit matière, etc.

Chimiquement stables, ils ne sont attaqués ni par l'eau, ni par les agents de lubrification et de refroidissement.

**- Magnésiens :**

Issus de la réaction du chlorure de magnésium sur la magnésie, ils se présentent sous la forme d'un ciment faisant pris à froid.

Leur principal avantage est une meilleure évacuation de la chaleur produite (coupe froide) et on les réserve à des opérations de taillanderie, d'affûtage de tranchants d'outils et de surfacage de la pierre et du marbre.

**2/ Agglomérant organiques :****- Résinoïdes :**

Ce sont des résines de synthèse, généralement à base de phénol et de formol. Polymérisées, elles constituent des agglomérant très résistants à la force centrifuge, avec des modules d'élasticité et conductivités thermiques supérieurs à ceux des agglomérants vitrifiés.

Ils sont utilisés soit dans des opérations brutales avec gros enlèvement de matière : ébarbage, décriquage en aciérie, tronçonnage, rectification centerless à grande vitesse, soit dans des opérations avec tenue d'angle :

(rectification en plongée de cames, de filetages, de gorges étroites).

**- Caoutchouc :**

Ces agglomérant sont obtenus soit à partir de caoutchouc naturel (latex), soit à partir de caoutchouc synthétique.

Les agglomérant à base de caoutchouc naturel sont employés surtout pour la fabrication de meules de contrôle centerless et de rectification de gorges de roulement. Ceux à base de caoutchouc synthétique sont réservés à la fabrication de meules de tronçonnage sous arrosage ou de roues flexibles pour le satinage de tôles, le morfilage d'outils ou le pré-polissage du verre après usinage à la meule diamant ou à la bande abrasive.

**- Shellac :**

Le Shellac est un produit naturel que l'on trouve aux Indes ou dans les îles de la Sonde et qui est constitué par les excréments d'un insecte.

Travaillé à chaud, il permet la réalisation de meules de tronçonnage très minces. On l'utilise également pour la fabrication de meules destinées à obtenir un poli miroir en rectification [2].

### I.6. Type de rectification cylindrique :

Dans ce procédé de rectification on peut distinguer trois types principaux :

#### I.6.1. Rectification cylindrique extérieure :

Les opérations de rectification cylindrique extérieur des opérations portées sont sur les surfaces externes d'une pièce cylindrique les meules utilisées dans ces opérations ont les spécifications suivantes :

— Formes et dimensions : ce sont en général des meules plates, comportant fréquemment un ou deux embrèvements, parfois un profil. Les dimensions courantes s'échelonnent de 250 à 760 mm pour le diamètre, avec un rapport diamètre/épaisseur de 8 à 12.

— Spécification moyenne : abrasif alumineux, grains moyens, grade moyen, agglomérant vitrifié.

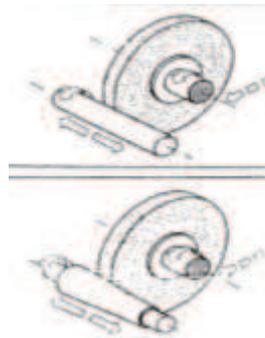


Figure I. 5 : exemple de rectification extérieur.

#### I.6.2. Rectification sans centre dite centerless :

C'est une opération de rectification cylindrique dans laquelle la pièce n'est pas tenue entre pointes mais est posée sur une réglette et tourne entre deux meules dont la position reste fixe.

Les meules utilisées sont de deux sortes d'une part, la meule dite de contrôle (ou, à tort, d'entraînement), dont le rôle est de contrôler la vitesse de rotation de la pièce, éventuellement, de la faire avancer axialement, cette meule est en abrasif alumineux, grains fins et agglomérant organique (le plus souvent caoutchouc).

D'autre part, la meule dite de travail, qui effectue l'opération de rectification et dont la spécification est proche de celle d'une meule de rectification cylindrique extérieure adaptée au même travail.

La rectification sans centre est dite en enfilade lorsque la pièce se déplace axialement entre les deux meules et en plongée lorsqu'il n'y a pas déplacement axial.

#### I.6.3. Rectification intérieure :

C'est également une opération de rectification cylindrique dans laquelle la meule usine l'intérieur de la pièce. Dans ce type on utilise des meules dont les spécifications sont :

— Formes et dimensions : les meules utilisées, plates ou à embrèvement, ont un diamètre généralement compris entre 1/2 et 4/ 5 du diamètre intérieur de la pièce à rectifier. Elles sont parfois profilées :

Rectification intérieure en plongée des chemins de bagues de roulement, par exemple.

— Spécification moyenne : abrasif alumineux à 98 % ou monocristallin, grains moyens, grade moyen, agglomérant vitrifié.

### I.7. Choix des meules :

Les critères de choix d'une meule donnée, tiennent compte de plusieurs facteurs : genre de travail exigé, matière à usiner, degré de finition, etc.

#### I.7. 1. Choix de l'abrasif :

Le choix de l'abrasif dépend principalement de la matière à usiner, Il est conseillé d'utiliser des meules :

- En alumine pour des matériaux de résistance élevée tels que : aciers au carbone, aciers rapides, aciers alliés....etc.
- En carbure de silicium pour des matériaux de faible résistance tels que :  
Fonte douce, laiton, bronze, aluminium.
- Au diamant pour les carbures métalliques et pour des pièces exigeant un haut degré de finition [1].

**Tableau I.5 :** choix de l'abrasif [2].

Abrasif	Propriété	Domaines d'emploi
Alumine 95%	Compact, solide, peu friable	Rectification extérieure centerless d'aciers doux et mi-durs non traités
Alumine 99%	Très coupant friable	Rectification extérieure tout aciers alliés ou traités Rectification centerless pièces chromées Rectification plane tous aciers et fontes
Mélange Alumine (95%Et99%)	Compromis entre résistance et pouvoir de coupe	Rectification en plongée d'aciers mi-durs trempés Rectification centerless tous aciers durs (traités, alliés, inox sauf 18/8)
Alumine monocristal line	Très coupant, peu friable, prix plus élevé	Rectification intérieure tous aciers sauf acier nitruré Surfaçage avec cylindres ou segments tous acier sur machine puissante
Alumine microcristal line	Très coupant, peu résistant, prix plus élevé	Rectification de précision avec recherche de débits et rendement élevés
Carbure de silicium noir	Dureté $\rangle$ $Al_2O_3$ , très coupant, très friable	Toutes rectifications bronzes, laiton, fonte ordinaire, aluminium, inox 18/8, matériaux non métalliques
Carbure de silicium vert	Encore plus coupant et friable	Rectification extérieure, plane, intérieure de carbures métalliques et de pièces rechangées par métallisation

**I.7. 2. Choix de la grosseur du grain :**

Ce choix dépend des propriétés physiques des matériaux à travailler, de l'épaisseur de métal à enlever et du degré de finition demandé :

- Gros grain : pour usiner un matériau ductile et peu dur.
- grain plus fin : pour obtenir un état de surface soigné.

**I.7. 3. Choix du grade :**

Le grade est choisi en se basant sur les propriétés physiques du matériau, sur la grandeur de la surface de contact meule-pièce et sur les vitesses de la meule et de la pièce :

- Grain dur : pour les matériaux ductiles, surface de contact faible
- Grain tendre : pour les matériaux durs, surface de contact meule-pièce étendue grande vitesse de travail.

**I.7. 4. Choix de la structure :**

- Structure ouvert ou poreuse : pour matériaux tendre, degré de finition élevé, surface de contact meule-pièce étendu.
- Structure fermée : pour matériaux dur, opération d'ébauche.

**I.7. 5. Choix de l'agglomérant :**

Pour des vitesses inférieures à 33m/s, les meules les plus adéquats sont celles à agglomérant vitrifié.

Pour les vitesses supérieures à 33m/s, les meules doivent être à agglomérant résinoïde.

**I.8 .L'affutage de la meule :**

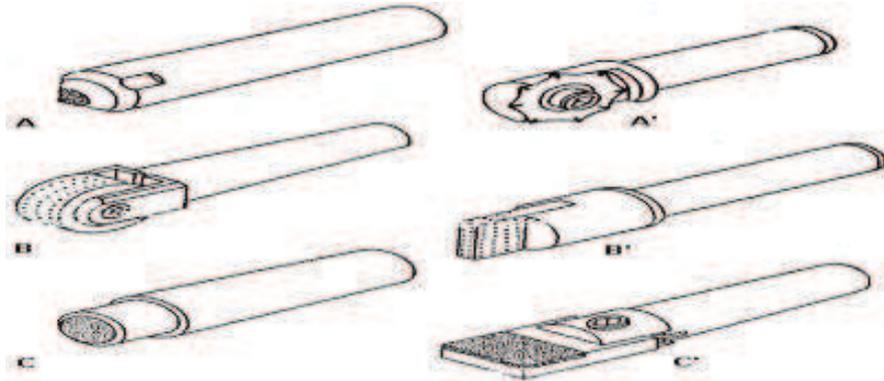
L'affutage permet d'obtenir une forme géométrique spécifique et une bonne circularité; il influence fortement le pouvoir de coupe de la meule et donc l'état de surface obtenu sur la pièce. On doit prendre en compte la spécification, la dimension de la meule ainsi que le type de machine pour déterminer le bon dresseur.

**I.8 .1.Principe de l'affutage de la meule diamant :**

Les meules à grain de diamant est gros se majorité des meules à liant résinoïde les grains utilisés sont très fins, l'épaisseur de la couche de grain est très limitée compte tenu du cout abrasif. La profondeur de dressage utilisée seront très faible afin d'économiser la couche active de la meule .le dressage à l'outil diamanté de ces meule à liant résinoïde permet d'obtenir le profil de la meule, mais laisse une surface lisse absolument inapte à réaliser en usinage par abrasion. Il est donc nécessaire de faire suivre l'opération de profilage permettant de dégager l'arête du grain abrasif de leur enrobage de résine[4].

**I.8 .2.L'outils de l'affutage :**

Ils sont des outils similaire à l'outil de tournage a composition de la partie action des ces outilles est de diamant :



**Figure I. 6 :** Les Dresseurs à diamants.

A-A' : Dresseurs à diamant unique (0.05 à 0.06 gramme) encastré dans la tête de l'outil.

B-B' : Dresseurs de diamants multiples à molettes ou à embout solidaire du corps. Ils présentent une série de petits diamants alignés, choisis soigneusement de la même taille et placés sur différentes couches.

C-C' : Dresseurs à poudre de diamant : diamants sous forme de poudre, répartis d'une façon plus au moins uniforme dans la partie active [1].

**I.9.Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté un procédé d'usinage spécifique, utilisé le plus souvent pour les opérations de super finition. Sa spécification essentielle repose sur la manière dont l'outil enlève la matière de la pièce. En utilisant des outils meules, la matière est enlevée par abrasion.

Afin de bien comprendre ce procédé, nous avons alloué une importance particulière à l'action des outils meules ainsi qu'à leurs propriétés. Cette compréhension sera très utilisée dans la modélisation de ce procédé.