

Abrasifs

par **Jean-Louis DOUZET**
Ancien Directeur de Marchés de Norton SA

1. Caractéristiques des abrasifs	B 7 050 - 2
1.1 Propriétés mécaniques.....	— 2
1.2 Stabilité physico-chimique	— 3
1.3 Forme.....	— 3
1.4 Dimensions	— 3
2. Classification des abrasifs	— 3
2.1 Abrasifs naturels.....	— 3
2.2 Abrasifs fabriqués conventionnels.....	— 3
2.3 Superabrasifs fabriqués	— 4
3. Abrasifs libres	— 4
3.1 Enlèvement de matière	— 4
3.2 Réalisation d'un état de surface donné	— 4
4. Abrasifs conventionnels agglomérés	— 5
4.1 Constitution	— 5
4.2 Fabrication.....	— 5
4.3 Formes et dimensions.....	— 6
4.4 Spécifications.....	— 6
4.5 Principales applications	— 8
4.6 Mode d'action d'une meule	— 9
4.7 Facteurs d'influence sur le comportement d'une meule au travail.....	— 10
4.8 Mise en œuvre et prescriptions d'emploi : le Code de Sécurité.....	— 12
4.9 Résolution d'un problème de rectification	— 14
5. Superabrasifs agglomérés	— 19
5.1 Constitution	— 19
5.2 Fabrication.....	— 19
5.3 Formes et dimensions.....	— 21
5.4 Spécifications.....	— 21
5.5 Principales applications	— 22
5.6 Mode d'action d'une meule	— 22
5.7 Facteurs d'influence sur le comportement d'une meule au travail.....	— 22
5.8 Mise en œuvre et précautions d'emploi	— 23
5.9 Choix d'une spécification.....	— 24
6. Abrasifs conventionnels appliqués	— 26
6.1 Constitution	— 26
6.2 Fabrication.....	— 28
6.3 Formes, dimensions et principes d'utilisation	— 28
6.4 Anomalies d'usure au travail.....	— 32
6.5 Conditions de stockage	— 32
7. Abrasifs incorporés	— 33
7.1 Constitution	— 33
7.2 Fabrication.....	— 33
7.3 Formes et principes d'utilisation	— 33
8. Tendances actuelles	— 33
Pour en savoir plus.....	Doc. B 7 050

Connues depuis la préhistoire (âge de la pierre polie), les propriétés abrasives de certains minéraux ont été cantonnées depuis l'antiquité jusqu'à la deuxième moitié du XIX^e siècle dans les travaux d'aiguisage et de polissage (des armes, des outils, du marbre, des pierres précieuses). Les meules en grès des rémouleurs et les plateaux à polir des lapidaires sont une survivance de cette époque.

Ce n'est que vers 1850 qu'apparaîtront les premières meules réalisées à partir d'abrasifs naturels : quartz, émeri, agglomérés par de la gomme laque, de la magnésie ou du caoutchouc ; il fallut encore un quart de siècle pour que naisse la fabrication industrielle de meules à agglomérant céramique et un autre quart de siècle pour que soient produits en quantité notable les deux abrasifs **artificiels** encore le plus utilisés de nos jours : l'**oxyde d'aluminium** et le **carbure de silicium**.

C'est l'avènement de ces abrasifs fabriqués (improprement qualifiés parfois d'artificiels par opposition à naturels) qui a permis, depuis le début du XX^e siècle, la réalisation de pièces mécaniques devant présenter à la fois des tolérances géométriques serrées et des états de surface poussés.

Enfin, étape récente des plus importantes dans l'évolution des abrasifs, la mise au point vers les années 60 de la fabrication industrielle de deux **superabrasifs**, le **diamant** et le **nitru de bore cubique**, a permis l'usinage dans des conditions économiques et avec une très grande précision de pièces dans des matériaux de dureté très élevée : céramiques, carbures métalliques, super-alliages, alumine frittée, aciers surcarburés, etc., et entraîné ainsi un grand développement de leur utilisation.

1. Caractéristiques des abrasifs

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.

1.1 Propriétés mécaniques

Dans le cadre du travail par abrasion, 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 (tableau 1).

● 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.

● À l'inverse, la **méthode 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'émoussent, son pouvoir de coupe diminue et la chaleur produite augmente.

À l'inverse, si sa résistance à la fracture est insuffisante, le grain se fragmente et disparaît rapidement.

Tableau 1 – Quelques duretés comparées suivant les échelles Mohs et Knoop			
Minéraux et abrasifs	Échelle de Mohs prolongée	Échelle de Knoop	Matériaux usuels
Talc.....	1		Verres
Gypse	2		
Calcite	3		
Fluorine.....	4	300	
Apatite.....	5	à 500	
Orthoclase	6		
Silice pure.....	7	740	Aciers trempés
Quartz.....	8	800	
Topaze.....	9		
Grenat	10	1 400	
Zircone fondue	11	à 1 800	Carbures métalliques
Alumine fondue.....	12	2 000	
Carbure de silicium.	13	2 500	
Carbure de bore	14	2 800	
Nitru de bore.....	4 700	
Diamant	15	> 7 000	

1.2 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.

1.3 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, comme on le verra tout au long de cet article.

1.4 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 (§ 4.4.2) et les superabrasifs agglomérés (§ 5.4.2) ;
- les normes CAMI (américaine) et FEPA (européenne) pour les abrasifs appliqués conventionnels (§ 6.1.2.1).

Les **grains** dont le diamètre moyen est supérieur à 0,1 mm sont sélectionnés par tamisage, alors que les **poudres** plus fines sont triées par lévigation ou sédimentation.

2. Classification des abrasifs

2.1 Abrasifs naturels

■ **Quartz** : les cristaux de quartz, agglomérés par des impuretés, constituent le grès qui fut pendant des millénaires le seul composé abrasif solide utilisé. De nos jours, le quartz n'est plus employé que dans certaines opérations de ponçage de bois tendres.

■ **Grenat** : quand il n'est pas assez pur pour être utilisé en joaillerie, le grenat peut entrer dans la fabrication d'abrasifs appliqués pour le ponçage du bois.

■ **Émeri** : composé d'alumine cristallisée dans une proportion variable (35 à 70 %), de silice et d'oxyde de fer, il est utilisé principalement dans la fabrication de meules de meunerie, de toiles et de papiers abrasifs utilisés manuellement ; sous forme de grains libres, il sert à des travaux de polissage.

■ **Corindon naturel** : c'est une alumine cristallisée plus ou moins pure (6 à 10 % d'impuretés), que l'on extrait de gisements situés en Afrique du Sud, à Madagascar ou au Canada. Moins constant dans ses propriétés que les abrasifs alumineux fabriqués, il est réservé à la réalisation de meules bon marché.

■ **Diamant naturel** : le plus dur des matériaux connus : il est surtout utilisé pour le sciage et le polissage des marbres et des granites, pour l'usinage du verre et des céramiques, ainsi que dans les opérations de polissage des métaux durs.

2.2 Abrasifs fabriqués conventionnels

Ils sont nés d'une nécessité pour l'industrie : la constance de la qualité.

2.2.1 Alumine cristallisée

On en distingue plusieurs variétés suivant l'indice de pureté et le mode d'élaboration.

■ **L'alumine à 95 % (ou corindon brun)** est obtenue en traitant la bauxite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) à 2 100 °C dans un four à arc électrique en présence de fondants et d'un réducteur (coke) dont le rôle est de favoriser l'élimination des impuretés de fer et de silice contenues dans le minerai.

Sa dureté est à peine supérieure à celle du carbure de tungstène. De couleur brune, très compact et peu fragile, cet abrasif est réservé à des travaux pénibles d'usinage d'aciers courants : ébarbage, tronçonnage, rectification en plongée avec tenue d'angle, rectification *centerless* de grand débit.

■ **L'alumine à 99 % (ou corindon blanc)** est obtenue de la même façon en fondant de l'alumine amorphe pure élaborée chimiquement par le procédé Bayer (article *Métallurgie extractive de l'aluminium* [M 2 340], dans le traité Matériaux métalliques). Après refroidissement, on obtient un produit cristallisé poreux de couleur blanche.

De dureté équivalente à celle du corindon brun, mais plus fragile et présentant des arêtes plus vives, cet abrasif est utilisé pour des travaux délicats au cours desquels on veut éviter avant tout l'échauffement de la pièce usinée : affûtage d'outils de coupe de précision (fraises, tarauds, etc.), surfaçage et rectification d'aciers sensibles.

■ Dans l'**alumine monocristalline**, chaque grain est constitué par un cristal unique obtenu par maturation chimique. Chaque cristal présente un nombre maximal d'arêtes vives et une excellente résistance aux chocs. La teneur en alumine est comprise entre 97 et 98 %, la couleur est blanc-gris.

Le procédé d'élaboration chimique étant nettement plus coûteux que celui de la fusion, on réserve l'alumine monocristalline pour des travaux de grand débit : rectification plane, cylindrique ou *centerless* sur des machines de forte puissance permettant de prendre des passes profondes.

■ Les **aluminés à la zircone** sont élaborées par fusion d'alumine et de zircone dans des proportions variables (recherche d'alliages eutectiques).

Présentant une résistance à la fracture très élevée et un bon pouvoir de coupe, elles sont réservées à des travaux de gros enlèvement de métal sous de fortes pressions : décrochage des brames et des billettes dans les aciéries, ébarbage avec système d'assistance des fontes et des aciers dans les fonderies.

■ Dans les **aluminés microcristallins** ou **céramiques**, chaque grain est constitué d'une grande quantité de petits cristaux soudés de façon régulière les uns aux autres.

Le plus souvent mélangées en proportion variable à d'autres variétés d'abrasifs alumineux, les aluminés céramiques confèrent aux meules ou aux abrasifs appliqués, dans la composition desquels elles entrent, un pouvoir de coupe et une durée accrues.

2.2.2 Carbure de silicium

Inconnu à l'état naturel sur la Terre, bien que présent dans certaines météorites, le carbure de silicium (SiC) est fabriqué industriellement dans des fours électriques par réduction vers 2 200 °C de la silice (sable blanc) par le carbone (coke de pétrole pulvérisé). Le carbure de silicium ainsi obtenu se présente sous deux formes : amorphe ou cristallisée dans le système hexagonal. Seule la forme cristalline est abrasive.

Quand il est chimiquement pur, le carbure de silicium est blanc. Les produits industriels sont colorés en noir ou en vert par diverses impuretés : fer, carbone, aluminium, magnésium.

Plus dur que l'alumine, il est aussi moins résistant à la fracture : cette relative fragilité provoque la formation permanente d'arêtes vives sur les grains au travail. Sa dureté en fait le seul abrasif conventionnel susceptible d'usiner les carbures métalliques, et ses arêtes constamment renouvelées en font l'abrasif le mieux adapté à l'usinage des matériaux de faible résistance mécanique : fonte grise, métaux non ferreux, bois, caoutchouc, matières plastiques, etc.

2.2.3 Carbure de bore

Considéré jusque dans les années 70 comme le corps le plus dur après le diamant, le carbure de bore (B_4C) est obtenu par réduction de l'anhydride borique par le carbone.

Il se présente sous la forme d'une poudre noire dont les particules, de grosseur inférieure ou égale à 70 μm , n'ont jamais pu être agglomérées sous forme de meules, mais sont utilisées sous forme de pâte ou en suspension dans un liquide pour le rodage ou le polissage de matériaux très durs : rodage de filières en carbure de tungstène ou de tantale, par exemple. Par frittage, on en fait des bâtons pouvant servir au dressage des petites meules d'affûtage.

2.3 Superabrasifs fabriqués

On a l'habitude de désigner par le vocable *superabrasifs* les deux corps cristallisés dont la dureté excède 4 000 dans l'échelle de Knoop : le diamant et le nitrure de bore cubique.

2.3.1 Diamant

La transformation du carbone graphite en carbone diamant sous l'effet de très fortes pressions, de l'ordre de 50 000 bar, et de hautes températures de l'ordre de 1 500 $^{\circ}C$, a été réalisée en laboratoire avant la Seconde Guerre mondiale. Mais il fallut attendre 1953 pour que naisse, puis se développe, une production réellement industrielle de diamants fabriqués.

On distingue deux grandes classes d'application du diamant en tant qu'outil abrasif : l'usinage des carbures métalliques et celui des matériaux durs non métalliques tels que le verre, les céramiques industrielles, le marbre et le granite.

Dans le premier cas, on utilise des grains constitués de cristaux friables aux formes irrégulières. Ils peuvent ainsi se fracturer sous l'action des fortes contraintes de meulage et réaliser un renouvellement permanent des arêtes vives indispensables pour l'usinage des carbures. Lorsqu'ils sont destinés à être agglomérés au moyen de résines, ces grains sont préalablement enrobés d'une pellicule métallique (tableau 4), appelée *blindage*, dont le rôle est de protéger les résines de l'agglomérant des chocs thermiques résultant de la pénétration des grains dans la pièce usinée.

Dans le cas de l'usinage des matériaux durs non métalliques, où l'agent d'agglomération des grains de diamant est en général un métal, on utilise des grains constitués de cristaux beaucoup plus compacts et plus résistants aux chocs mécaniques et thermiques.

2.3.2 Nitrure de bore cubique

Communément désigné par les initiales CBN (de l'anglais *Cubic Boron Nitride*), le nitrure de bore cubique est, après le diamant, le plus dur de tous les corps abrasifs connus à ce jour : sa dureté est

de 4 700 dans l'échelle de Knoop, contre 2 500 pour le carbure de silicium et 2 800 pour le carbure de bore. Il est utilisé principalement dans les travaux de rectification de pièces en acier ou en alliages dont la dureté superficielle dépasse 55 HRC et dans les opérations d'affûtage d'outils en aciers rapides fortement alliés ou en aciers surcarburés.

3. Abrasifs libres

On entend par *travail au moyen d'abrasifs libres* toute opération d'enlèvement de matière effectuée par des grains d'abrasif non liés à un support, que ce dernier soit une **surface (abrasifs appliqués)** ou un **volume solide (meules)**. L'action abrasive des grains libres sur la pièce à usiner s'exerce sous l'effet d'une pression, dans les cas du rodage et du polissage, ou par chocs, dans les cas du sablage et du grenaillage (article *Polissage mécanique* [M 1 495] dans le traité Matériaux métalliques).

Tous les abrasifs énumérés au paragraphe 2 peuvent être utilisés à l'état libre, plus un certain nombre d'autres non encore cités : sable, grenaillage d'acier, pierre ponce, rouge d'Angleterre, vert de chrome.

Deux objectifs peuvent être atteints par l'emploi d'abrasifs libres : un enlèvement de matière ou la réalisation d'un état de surface donné.

3.1 Enlèvement de matière

C'est l'objectif premier des opérations suivantes :

- formation de biseaux ou de chanfreins sur du verre plat au moyen de plateaux en fonte avec interposition de sable ou de carbure de silicium et d'eau ;
- sciage de blocs de pierre au moyen de disques métalliques ou de câbles entraînant un abrasif en suspension dans de l'eau ;
- sablage de la pierre ou du verre par un jet à haute pression d'un mélange d'air et d'abrasif au travers d'une buse ;
- grenaillage de pièces brutes de fonderie ;
- enlèvement de bavures ou de défauts de surface par tonnelage.

3.2 Réalisation d'un état de surface donné

C'est le but des opérations de polissage et de rodage, ces dernières étant également assorties d'un objectif de tolérances dimensionnelles.

Dans les opérations de polissage, l'abrasif est étalé, le plus souvent mélangé à de la graisse, sur la surface de roues souples en feutre ou en tissus divers :

- polissage du verre au rouge d'Angleterre sur des roues en feutre ;
- polissage de surfaces métalliques au moyen de roues en cuir ou en tissu imprégnés d'émeri, de corindon, d'alumine ou de rouge d'Angleterre.

Dans les opérations de rodage, l'abrasif est inséré, en général en suspension dans un fluide (pétrole, huile légère), entre la surface à roder et un support métallique de forme inverse :

- rodage de pièces en carbure métallique au moyen de carbure de bore ou de diamant ;
- rodage de billes de roulement ;
- rodage de surfaces planes sur des plateaux en fonte tournant à faible vitesse avec interposition de carbure de silicium ou de grenaillage d'acier.

4. Abrasifs conventionnels agglomérés

4.1 Constitution

On entend par *abrasif aggloméré* tout volume constitué d'un mélange solide de grains d'abrasif et d'un liant (agglomérant) dans lequel les grains répartis régulièrement sont maintenus.

4.1.1 Types d'agglomérant

Ils sont de deux natures : minérale ou organique.

4.1.1.1 Agglomérants minéraux

4.1.1.1.1 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'agglomérants 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. Seuls quelques rares acides (borique, fluorhydrique) peuvent les altérer. Ils résistent bien à la force centrifuge mais leurs faibles modules d'élasticité et conductivités thermiques les rendent sensibles aux chocs mécaniques et thermiques.

4.1.1.1.2 Magnésiens

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

4.1.1.2 Agglomérants organiques

4.1.1.2.1 Résinoïdes

Ce sont des résines de synthèse, généralement à base de phénol et de formol. Polymérisées, elles constituent des agglomérants 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, décrochage 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.

4.1.1.2.2 Caoutchouc

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

Les agglomérants 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.

4.1.1.2.3 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.

4.1.2 Types d'abrasif

Bien que la production industrielle des meules ait démarré avec l'émeri comme abrasif de base, celui-ci ne se rencontre plus de nos jours que dans des produits bon marché non utilisés par l'industrie. Tous les produits abrasifs agglomérés à vocation industrielle sont maintenant réalisés exclusivement à partir d'abrasifs fabriqués : **alumine cristallisée** et **carbure de silicium** dans toutes leurs variétés.

4.2 Fabrication

Le visiteur d'une unité de production de produits abrasifs agglomérés est toujours frappé à la fois par l'extrême diversité des formes et des dimensions réalisées, par le faible nombre d'unités produites par série de fabrication et, conséquence directe de ce qui précède, par le faible degré d'automatisation de la production ; à l'exception, il est vrai, de quelques produits particuliers, telles les meules de tronçonnage ou les meules à moyeu déporté, dont la fabrication en séries plus importantes permet justement une automatisation poussée.

Toutefois, quel que soit son degré de mécanisation, le processus d'élaboration d'un produit abrasif aggloméré est pratiquement toujours le même. Les cinq étapes principales en sont les suivantes : malaxage, pressage, cuisson, usinages après cuisson et contrôles.

4.2.1 Malaxage

Les matières premières (abrasif, agglomérant et additifs) sont pesées et transférées dans des malaxeurs où chaque grain d'abrasif est enrobé d'une pellicule d'agglomérant.

4.2.2 Pressage

Le mélange est pressé dans des moules placés sous les vérins de presses hydrauliques de 10 à 5 000 tf.

Les ébauches ainsi obtenues sont alors soumises avant cuisson (on dit à *l'état vert*) à une première opération d'usinage dont l'objectif est de les amener à une forme et à des dimensions plus proches de leur état final.

4.2.3 Cuisson

Les ébauches sont soumises à une élévation de température dont le but est d'opérer une transformation chimique de leur état.

— Pour les **produits vitrifiés**, cette transformation s'effectue pendant plusieurs jours à des températures allant de 900 à 1 300 °C et aboutit à une vitrification des argiles entrant dans leur composition.

— Pour les **produits organiques**, la transformation est soit une polymérisation (cas des produits résinoïdes), soit une vulcanisation (cas des produits caoutchouc), qui se produit à une température de l'ordre de 180 °C.

4.2.4 Usinages après cuisson

À leur sortie de four, les produits ont acquis leur consistance définitive ; ils subissent alors une série d'usinages qui leur donnent leur forme et leurs dimensions définitives. Les outils utilisés sont soit des molettes en acier très résistant à l'usure, soit des meules, soit des outils de taillage à base de diamant.

4.2.5 Contrôles

Parmi les plus importants de ces contrôles, il faut citer :

- le **contrôle de la spécification** : effectué en règle générale juste après cuisson, ce contrôle consiste à mesurer certaines propriétés physiques liées à la composition et aux conditions de réalisation du produit : masse spécifique, module d'élasticité ;

- le **contrôle de la résistance à la force centrifuge** : destinées à être utilisées à des vitesses tangentielles élevées (de 20 à 80, voire 120 m/s), les meules au-dessus d'une dimension minimale fixée par le Code Européen de Sécurité d'Emploi des Meules (Code FEPA) doivent impérativement subir un essai en caisson blindé à une vitesse supérieure à leur vitesse d'emploi. L'essai de survitesse permet d'affirmer qu'au moment de leur sortie de fabrication les meules sont exemptes de tout défaut pouvant nuire à leur sécurité d'emploi. Il est de plus nécessaire de les emballer suivant des règles strictes pour éviter tout risque de détérioration entre leur sortie d'usine et leur arrivée chez l'utilisateur final ;

- le **contrôle de la forme et des dimensions** : il est bien évident qu'une meule, à cause de sa composition hétérogène, ne peut être usinée avec des tolérances aussi serrées que celles d'une pièce mécanique ;

- le **contrôle d'identification** : le code FEPA a fixé les règles de marquage de ces produits : dimensions, spécification, vitesse maximale d'emploi sont parmi les éléments qui doivent figurer, soit sur le produit lui-même, soit sur des buvards ou étiquettes joints ou collés.

4.3 Formes et dimensions

La **taille** des produits abrasifs agglomérés peut varier de quelques millimètres pour les meules de rectification des bagues de roulements miniatures (leur masse s'exprime en dixièmes de gramme) à plusieurs mètres pour les meules de défilage du bois utilisées en papeterie (qui pèsent plusieurs tonnes-force).

Les **dimensions** des meules sont exprimées en millimètres. Les dimensions enveloppantes sont énoncées impérativement dans l'ordre :

diamètre × épaisseur × alésage

dont les symboles normalisés sont D × T × H.

Quant aux **formes**, elles sont très nombreuses. Les plus courantes ont fait l'objet d'une standardisation européenne à laquelle s'associent partiellement les États-Unis.

Les types de formes et les dimensions les plus usuels en France sont repris dans les figures 1 pour les meules et 2 pour les segments.

4.4 Spécifications

La figure 3 montre comment se présente une meule examinée sous un fort grossissement. Les grains d'**abrasif** (en grisé) sont reliés entre eux par des piliers d'**agglomérant** (en noir). Ces deux éléments constitutifs n'occupent qu'une partie du volume total, la différence correspondant aux **pores** répartis régulièrement dans la masse.

Énoncer la spécification d'un produit abrasif consiste à indiquer dans un ordre immuable et normalisé les symboles qui représentent les constituants et certaines caractéristiques physiques de ce produit. Parmi ces symboles, certains doivent impérativement figurer dans l'énoncé de la spécification, d'autres sont facultatifs. Les uns et les autres sont énumérés ci-après.

4.4.1 Nature de l'abrasif (en première position, obligatoire)

Les symboles normalisés des quatre grandes classes d'abrasifs sont les suivants :

- A** abrasifs alumineux
- B** abrasifs CBN (nitrure de bore cubique)
- C** abrasifs carbure de silicium
- D** abrasifs diamant

Les nombreuses variétés ou mélanges de variétés à l'intérieur de ces quatre classes ont conduit les fabricants à compléter ces symboles par des lettres ou des chiffres propres à chacun d'eux.

4.4.2 Grosseur de grain (en deuxième position, obligatoire)

La désignation de la grosseur de grain est identique dans les normes MESH et FEPA ; elle est exprimée par un nombre de 1 à 4 chiffres qui représente le nombre de mailles par pouce (25,4 mm) du tamis le plus serré dans lequel les grains ainsi définis peuvent passer (notion **vraie** pour les grains 240 et plus gros obtenus par tamisage, **étendue** pour les grains plus fins). Ci-après l'échelonnement des grosseurs le plus couramment utilisées :

8-10-12	: très gros
16-20-24-30	: gros
36-46-54-60-80	: moyens
100-120-150-180-220	: fins
240-280-320-400	: très fins
500 à 1 200	: poudres

4.4.3 Grade (en troisième position, obligatoire)

Le grade est une propriété physique du produit abrasif aggloméré théoriquement indépendante de la nature de ses constituants. Il symbolise la force avec laquelle les piliers d'agglomérant retiennent les grains d'abrasif et est désigné par une lettre de l'alphabet.

- A à F** : très tendre
- G à J** : tendre
- K à O** : moyen
- P à T** : dur
- U à Z** : très dur

Bien que la désignation en soit normalisée, l'échelle des valeurs attachées aux lettres de grade diffère d'un fabricant à un autre, ce qui rend impossible toute transposition *a priori* basée uniquement sur la lettre du grade.

4.4.4 Structure (en quatrième position, facultatif)

La structure est un indice du tassement des grains d'abrasif. Elle est définie par un symbole qui est un nombre généralement compris entre 1 et 20. Plus ce nombre est petit, plus les grains sont serrés et plus la structure est dite **fermée**. *A contrario*, plus il est élevé, plus les grains sont espacés et plus la structure est dite **ouverte**.

De même que dans le cas du grade, l'échelle des valeurs attachées aux numéros de structure peut être différente d'un fabricant à un autre. Comme par ailleurs de nombreux fabricants ont sélectionné la structure la mieux adaptée à chaque opération, ils peuvent omettre de la mentionner dans l'énoncé de la spécification.

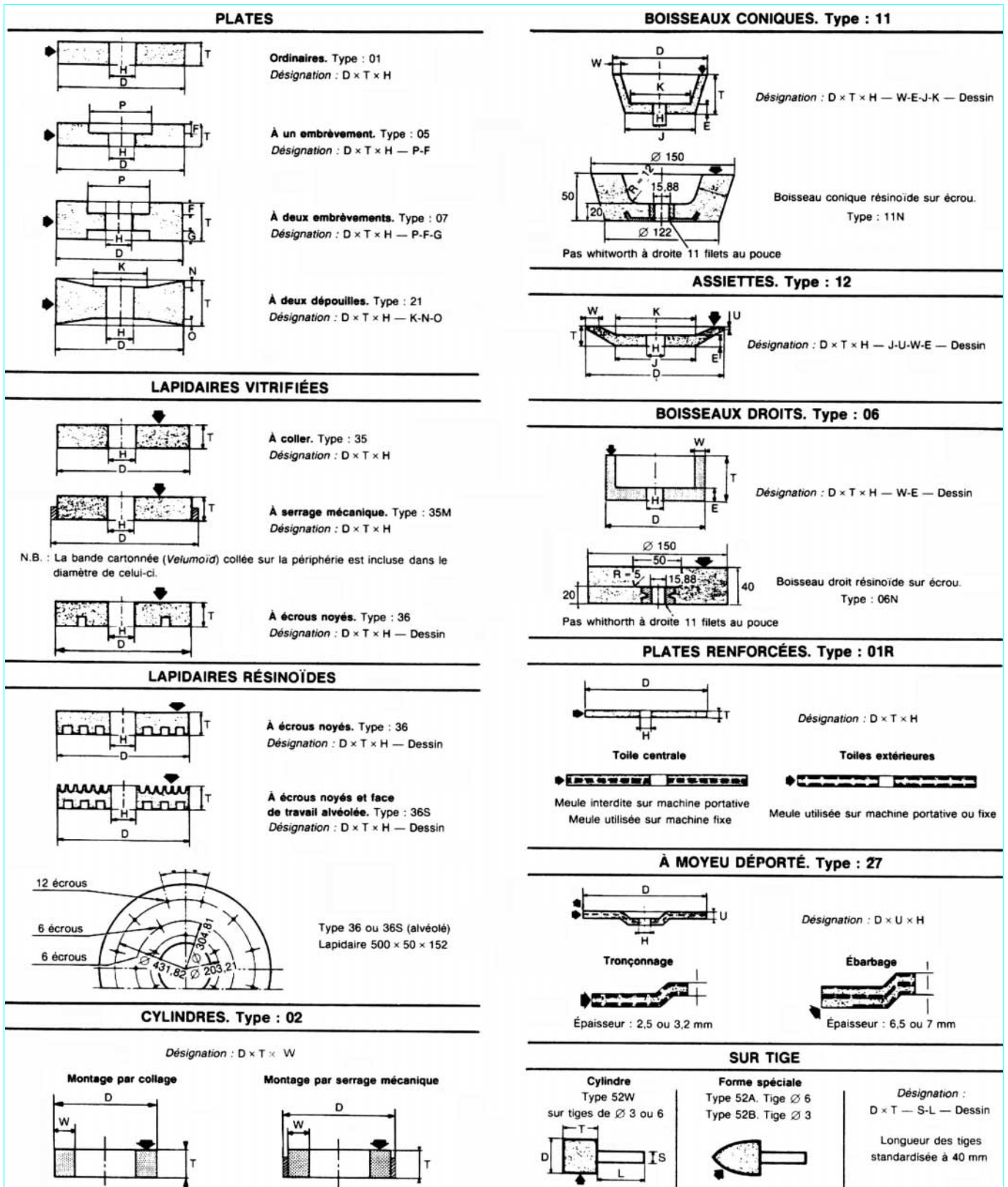


Figure 1 – Formes et désignations des meules en abrasifs classiques

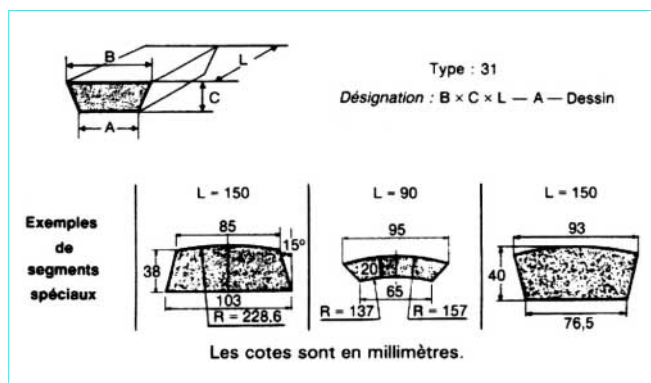


Figure 2 – Formes et désignations des segments

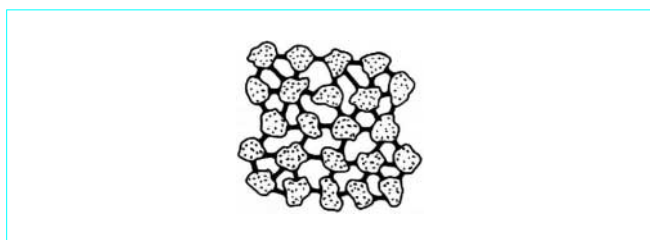


Figure 3 – Structure d'une meule

4.4.5 Agglomérant (en cinquième position, obligatoire)

La désignation symbolique des grandes familles d'agglomérants a fait l'objet d'une normalisation :

- V agglomérants vitrifiés
- B agglomérants résinoïdes
- R agglomérants caoutchouc
- E agglomérants shellac
- M agglomérants métalliques (diamant et CBN uniquement)

Chacun de ces symboles est complété à l'initiative des fabricants par des lettres ou des nombres permettant l'identification des différentes variétés d'agglomérants d'une même famille.

4.4.6 Traitement (en sixième position, facultatif)

Un traitement est une opération qui consiste à remplir les pores du produit déjà cuit d'une matière destinée à modifier son comportement au travail : traitement au soufre, à la résine, à la paraffine, à l'alun, au suif, etc.

Sa désignation ne faisant l'objet d'aucune standardisation, chaque fabricant utilise ses propres codes.

4.5 Principales applications

Les abrasifs agglomérés traditionnels interviennent directement ou indirectement dans la réalisation de la plupart des pièces ou objets ayant à subir un usinage au cours de leur élaboration, ainsi que dans la fabrication et la maintenance des outils destinés à réaliser ces usinages.

Le lecteur trouvera dans ce paragraphe un bref aperçu des opérations couramment exécutées au moyen de produits abrasifs agglomérés et les caractéristiques des meules correspondantes.

4.5.1 Décrochage

C'est une opération qui consiste à éliminer certains défauts tels que les criques produites en aciérie lors de la transformation par laminage à chaud des lingots en brames, billettes ou largets.

Réalisé par flammage dans le cas des aciers ordinaires, le décrochage est en général effectué à la meule dans le cas d'aciers spéciaux, inoxydables, rapides ou réfractaires.

Les meules sont parfois montées sur des machines manuelles appelées meuleuses suspendues ou pendulaires, mais le plus souvent sur des décrocheuses automatiques dont la puissance autorise des débits matière supérieurs à 200 kg/h.

— *Formes et dimensions* : il s'agit toujours de meules plates, de 400 à 900 mm de diamètre, de 40 à 100 mm d'épaisseur.

— *Spécifications* : abrasif alumineux, le plus souvent à la zircone, grains très gros ou gros, grade dur ou très dur, agglomérant résinoïde.

4.5.2 Ébarbage

Ébarber une pièce consiste à supprimer les surépaisseurs locales ou les aspérités gênantes pour un usinage ou une utilisation ultérieurs : joints ou événements de coulée, bavures de cisailage, etc.

— *Formes et dimensions* : selon qu'elles sont montées sur des meuleuses portatives, sur des meuleuses suspendues ou sur des bâtis fixes, les meules utilisées en ébarbage peuvent être de formes et de dimensions très différentes : petites meules plates, boisseaux, meules à moyeu déporté ou meules sur tige sur les machines portatives, grandes meules plates sur les autres.

— *Spécifications* : il s'agit toujours de meules à gros grains et de grade dur, généralement en agglomérant résinoïde.

L'abrasif utilisé est soit de l'alumine à 95 % pour l'ébarbage des aciers ou des fontes malléables, soit du carbure de silicium noir pour l'ébarbage de la fonte grise ou des métaux non ferreux.

4.5.3 Tronçonnage

Il existe de multiples aspects de cette opération, depuis le tronçonnage des plumes de stylo réalisé avec des meules d'épaisseur 0,13 mm jusqu'au tronçonnage des lingots d'aciers ou d'alliages spéciaux effectué en aciérie sur des machines utilisant des meules de diamètre 1 200, voire 1 800 mm. Sans omettre, bien sûr, les applications plus classiques du tronçonnage à la meule : séparer les masselottes des pièces de fonderie, débiter des barres métalliques, éliminer la pointe abîmée d'un foret, tronçonner des matériaux ou du carrelage.

Cette diversité engendre une grande variété de meules de tronçonnage. Toutes néanmoins ont trois caractéristiques communes :

- elles ont une épaisseur faible, avec un rapport diamètre/épaisseur le plus souvent de l'ordre de 100 ;
- elles doivent résister à une force centrifuge élevée : 80 m/s est la vitesse tangentielle la plus fréquente, 100 m/s n'est pas rare ;
- elles doivent résister à des efforts de flexion latérale plus ou moins accidentels.

Pour ces trois raisons, elles sont systématiquement fabriquées en agglomérants organiques, le plus souvent résinoïdes. Pour accroître encore leur résistance, on les renforce fréquemment avec des armatures textiles incorporées au moment de l'opération de pressage de la meule.

4.5.4 Rectification

Rectifier une pièce, c'est l'amener par enlèvement de matière au moyen d'une ou plusieurs meules à des cotes précises tolérancées et à un état de surface défini.

4.5.4.1 Rectification cylindrique extérieure

— *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.

4.5.4.2 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 et, 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.

4.5.4.3 Rectification intérieure

C'est également une opération de rectification cylindrique dans laquelle la meule usine l'intérieur de la pièce.

— *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.

4.5.4.4 Surfaçage

— *Formes et dimensions* : la rectification plane, ou surfaçage, fait appel soit à des meules plates simples travaillant par leur périphérie, soit à des meules boisseaux ou cylindres travaillant par leur bord. Les diamètres courants s'échelonnent de 200 à 600 mm.

On utilise également des couronnes de segments fixés dans un montage spécial appelé plateau porte-segments, dont le diamètre peut varier de 200 à 1 350 mm.

— *Spécification moyenne* : abrasif alumineux à 98 %, grains gros ou moyens, grade tendre, agglomérant vitrifié.

4.5.5 Rodage et superfinition

Roder une surface cylindrique interne consiste à améliorer sa géométrie et à obtenir un état de surface déterminé au moyen de bâtons abrasifs montés par jeux sur des porte-outils appelés rodoirs.

Superfinir une surface cylindrique externe ou interne consiste à obtenir un état de surface déterminé au moyen de bâtons abrasifs montés à l'unité sur des têtes vibrantes.

Les bâtons de rodoir sont en général à grains fins ou très fins et à agglomérant vitrifié.

Les bâtons de superfinition sont à grains très fins, agglomérant vitrifié ou organique.

4.5.6 Affûtage

L'affûtage des divers types d'outils utilisés tant dans les industries mécaniques que dans celles du bois s'effectue avec des meules permettant d'obtenir des arêtes tranchantes et des angles de coupe et de dépouille précis, sans dénaturation du métal causée par un échauffement trop prononcé.

— *Formes et dimensions* : l'extrême diversité des formes et dimensions d'outils entraîne une grande variété de meules de forme adaptée : meules plates ou à profil, boisseaux droits ou coniques, assiettes. La gamme des diamètres courants va de 50 à 250 mm.

— *Spécifications moyennes* :

- outils en acier rapide : abrasif alumine à 98 %, grains moyens, grade moyen, agglomérant vitrifié ;
- outils en acier surcarburé : abrasif alumine monocristalline, agglomérant vitrifié ou abrasif CBN, agglomérant résinoïde ;
- outils en carbure : abrasif carbure de silicium vert, grains moyens à fins, agglomérant vitrifié ou, de plus en plus fréquemment : abrasif diamant, agglomérant résinoïde ou métallique.

4.6 Mode d'action d'une meule

Une meule est souvent comparée à une fraise comportant un grand nombre de petits outils répartis uniformément dans la masse au lieu d'être positionnés uniquement sur la surface de travail.

La comparaison est valable et la différence entre les deux outils tient au fait que, lorsqu'ils sont émoussés et ont perdu leur pouvoir de coupe, les outils unitaires d'une fraise (les dents) doivent être affûtés un à un, alors que les outils unitaires d'une meule (les grains) doivent soit se fracturer et donner naissance à de nouvelles arêtes vives, soit être éliminés et permettre l'apparition d'outils unitaires neufs.

4.6.1 Théorie de l'usinage à la meule

La figure 4 schématise dans le cas de la rectification cylindrique extérieure le cheminement dans la pièce d'un unique grain d'abrasif et la formation d'un copeau pendant une durée δt .

Lorsque l'outil unitaire (le grain) vient au contact en P, la profondeur de coupe est nulle ; pendant le temps δt que met le grain pour aller de P en Q, la périphérie de la pièce s'est déplacée de Q en R ; la section triangulaire curviligne PQR est la section du copeau arraché par le grain d'abrasif ; l'épaisseur du copeau RS, nulle au point P, croît et passe par un maximum au droit du point R.

Le grain d'abrasif effectue donc un **travail** durant son passage **dans la pièce**. Pendant ce travail, il subit une réaction de la part du matériau qu'il pénètre, réaction qui se traduit à la fois par un ébranlement mécanique et par un choc thermique important (dans la zone de contact grain-pièce, les températures atteintes sont de l'ordre de 700 à 800 °C).

Cette phase de travail et les phases identiques qui se succèdent à chaque tour de la meule ont sur le grain un double effet :

— dans un premier temps, l'arête de coupe s'arrondit ; le grain s'émousse et perd de son pouvoir de coupe ; l'effort nécessaire pour pénétrer le matériau augmente, de même que les réactions encaissées par le grain ;

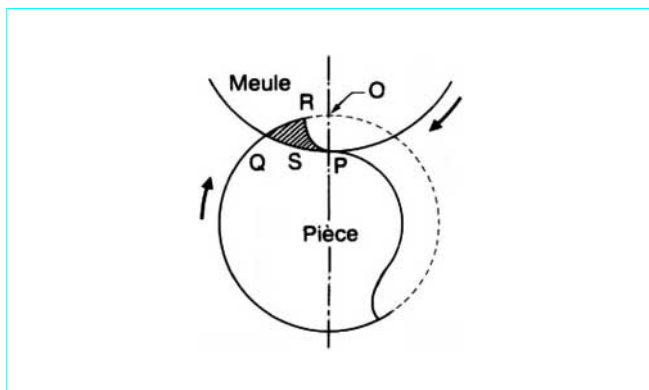


Figure 4 – Mode d'action d'une meule

— après un certain nombre de passages, le grain aura subi des chocs mécaniques et thermiques suffisamment nombreux et puissants pour le fragmenter ou briser les piliers d'agglomérant qui le retiennent.

4.6.2 Dureté d'action d'une meule

Dans la pratique d'une opération d'usinage à la meule, trois cas peuvent se présenter :

- si les grains d'abrasif sont éliminés avant d'avoir accompli tout le travail qu'ils pourraient effectuer parce qu'ils sont insuffisamment retenus par l'agglomérant, on dit que la meule est **trop tendre** ou qu'elle a une **dureté d'action trop faible** ;
- si, au contraire, alors qu'ils sont usés, les grains sont toujours retenus par l'agglomérant, on dit que la meule est **trop dure** ou qu'elle a une **dureté d'action trop élevée** : cela se manifeste en général par un aspect brillant de la surface de la meule (on dit qu'elle est lustrée) et s'accompagne souvent d'un dépôt de fines particules de métal dans les pores de la meule (on dit qu'elle est encrassée) ;
- enfin, cas idéal, si les piliers d'agglomérant laissent échapper les grains émoussés après usure complète mais sans lustrage ni encrassage de la meule, on dit de celle-ci qu'elle est **bien adaptée** ou qu'elle a la **bonne dureté d'action**.

Cette notion de dureté d'action, c'est-à-dire de comportement de la meule, est purement expérimentale, relative et fragmentaire, et toutes les tentatives pour la définir scientifiquement ont été jusqu'à présent vouées à l'échec.

Elle prend une connotation subjective lorsque la meule est en service chez l'utilisateur : le rectifieur qui conduit sa machine sait bien si la meule a ou n'a pas une dureté d'action satisfaisante (pour le travail à réaliser dans les conditions imposées...). Mais son jugement (trop dure, trop tendre, bien adaptée) est en fait la synthèse d'un ensemble d'observations mesurables et de perceptions qui le sont difficilement : la plus ou moins grande profondeur de passe qu'il peut prendre, l'échauffement de la pièce, l'usure de la meule, sa tendance à l'encrassage, l'aspect de surface de la pièce rectifiée, le nombre de pièces qu'il peut réaliser à l'heure, le nombre maximal de pièces entre deux dressages, le son de la meule au travail ou pendant qu'il la diamante (§ 4.7.2.9), etc.

Il est remarquable d'ailleurs que, pour un travail donné sur une machine donnée, on puisse souvent trouver plusieurs meules de spécifications différentes donnant satisfaction et des résultats comparables : on dit alors que ces meules ont la **même dureté d'action**.

4.7 Facteurs d'influence sur le comportement d'une meule au travail

Deux séries de facteurs ont une action sur la façon dont une meule se comporte au travail :

- une série liée au produit lui-même : la nature de ses composants et leur proportion, la façon dont il a été réalisé, la qualité de son usinage, de son équilibrage, etc. ; nous appellerons l'ensemble de ces facteurs **facteurs internes de fabrication** ;
- une série liée aux conditions de travail : la machine et son environnement, les objectifs de production et de qualité, la qualification du personnel, etc. ; nous appellerons l'ensemble de ces facteurs **facteurs externes d'utilisation** ;

C'est la connaissance de ces facteurs et de leur influence sur le comportement au travail d'un produit abrasif qui permet :

- d'une part, de déterminer ou au moins d'encadrer *a priori* avec un maximum de réussite la spécification la mieux adaptée au travail à réaliser ;
- d'autre part, de corriger éventuellement un comportement un peu trop dur ou trop tendre du produit en modifiant légèrement certains paramètres d'utilisation.

4.7.1 Facteurs internes de fabrication

4.7.1.1 Nature de l'abrasif

Les principales propriétés des abrasifs ont été étudiées au paragraphe 1.1. Leur incidence sur la dureté d'action d'un produit est évidente : par exemple, plus un abrasif sera friable, moins grands seront les efforts nécessaires pour le fracturer et plus tendre sera l'action au travail.

4.7.1.2 Grosseur de grain

Les meules à agglomérant vitrifié, à grade et structure identiques, voient leur dureté d'action croître lorsque la grosseur de grain diminue : utiliser une meule de grains plus fins, toutes choses égales par ailleurs, revient à obtenir une action plus dure au travail.

Avec les meules à agglomérant organique, on observe le phénomène inverse : adopter un grain plus fin revient à obtenir une action plus tendre au travail.

4.7.1.3 Grade

Par définition, la dureté d'action augmente avec le grade.

4.7.1.4 Structure

À grade égal, augmenter le numéro de structure revient à diminuer la quantité d'abrasif contenu dans la meule en le remplaçant par un volume équivalent d'agglomérant : dans ces conditions, les piliers d'agglomérant seront plus gros, les grains retenus plus solidement et l'action au travail plus dure.

4.7.1.5 Agglomérant

À taille égale, la solidité des piliers et la force avec laquelle ils retiennent les grains d'abrasif varient avec la nature et les variétés d'agglomérant. Celles-ci étant propres à chaque fabricant, seuls ces derniers peuvent utilement renseigner sur le sens de variation de la dureté d'action lorsque l'on passe d'un agglomérant à un autre.

4.7.1.6 Traitement

On appelle *traitement* l'opération qui consiste à remplir les pores du produit abrasif aggloméré par une matière non abrasive qui modifie son comportement au travail.

Un **traitement gras**, tel que ceux utilisés pour l'ébarbage ou la rectification des métaux non ferreux, a la propriété de retarder l'encrassement de la meule ; en ce sens, on peut dire qu'il attendrit son action.

Un **traitement au soufre**, fréquemment utilisé dans les opérations de rectification intérieure ou de surfacage, a la propriété de favoriser la pénétration des grains dans les aciers. Cette propriété a deux conséquences qui peuvent paraître contradictoires à première vue :

- en facilitant la coupe des grains, il attendrit l'action de la meule et permet même souvent l'utilisation d'une meule de grade plus dur ; en ce sens, on peut le considérer comme un traitement adoucissant ;
- en même temps, les grains pénétrant plus facilement subissent des efforts moins violents, ce qui retarde leur fracture et leur élimination, et diminue d'autant l'usure de la meule ; en ce sens, un tel traitement peut être considéré comme traitement durcissant.

4.7.2 Facteurs externes d'utilisation

4.7.2.1 Nature et état physico-chimique de la pièce

C'est un des paramètres les plus importants du comportement d'une meule donnée et, partant, du choix d'une spécification.

Dans l'usinage à la meule des **aciers**, et plus généralement des métaux à forte résistance mécanique, il est une règle qui souffre peu d'exceptions, en particulier dans les opérations de rectification et d'affûtage :

à matériau dur, meule tendre
à matériau tendre, meule dure

C'est ainsi, par exemple, qu'une meule donnée, bien adaptée pour rectifier une pièce dans un acier ferritique demi-dur, se comportera comme trop dure pour rectifier une pièce semblable en acier martensitique dur.

Si l'on prend maintenant en considération l'état physico-chimique du métal, on constate qu'à l'état trempé un acier demande une meule plus tendre qu'à l'état recuit.

D'une façon plus générale, on peut dire que plus un acier est dur et fragile, plus la meule adaptée doit être tendre afin d'éviter les détériorations superficielles de la pièce : criques, tapures ou modification de l'état physico-chimique et cristallographique.

Lorsque l'on abandonne le domaine des aciers pour considérer celui des **matériaux de faible résistance mécanique**, tels la plupart des métaux ou alliages non ferreux et des matériaux tendres non métalliques, la règle énoncée plus haut ne s'applique plus, et même s'inverse. La raison en est facile à comprendre : ces matériaux offrent généralement une résistance à la pénétration des grains insuffisante pour que ceux-ci se fracturent et soient éliminés, même après un temps de travail assez long pour qu'ils soient émoussés et aient perdu leur pouvoir de coupe. Aussi doit-on s'orienter vers des meules tendres pour que le renouvellement des grains puisse s'effectuer malgré tout.

4.7.2.2 Type d'opération et aire de contact

On appelle **aire de contact** le produit de l'arc de contact PQ de la figure 4 par la largeur travaillante de la meule. C'est elle qui détermine le nombre de grains en contact simultané avec la pièce.

Pour un travail donné (enlèvement d'une quantité donnée de matière dans un temps donné), plus le nombre de grains simultanément en contact avec la pièce est grand, plus le travail unitaire de

chaque grain est petit et moins les efforts qu'il subit sont importants : les grains se renouvellent moins vite et la meule se comporte comme si elle était plus dure.

Aussi doit-on compenser cette augmentation apparente de dureté par le choix d'une spécification plus tendre : grade plus tendre ou grains plus gros (dans le cas d'un produit à agglomérant vitrifié).

Quel que soit le type d'opération, l'aire de contact varie dans le même sens que chacun des paramètres suivants pris indépendamment :

- épaisseur de la meule (meule plate ou assimilée) ou largeur de bord (meule boisseau ou cylindre) ;
- diamètre de la meule ;
- profondeur de passe.

Elle varie également dans le même sens que le diamètre de la pièce dans le cas de rectification cylindrique extérieure, mais en sens inverse dans le cas de rectification intérieure.

Le surfacage peut être envisagé dans l'optique de l'aire de contact comme la rectification cylindrique extérieure d'une pièce de diamètre infini : c'est la raison pour laquelle on est amené à choisir des spécifications plus tendres en surfacage qu'en rectification cylindrique.

4.7.2.3 Vitesse de rotation de la pièce

Soit δt le temps mis par le grain d'abrasif pour aller de P en Q (figure 4). Pendant ce temps, le point Q de la pièce s'est déplacé de Q en R et le grain a enlevé un copeau représenté par le triangle curviligne PQR.

Si maintenant on augmente la vitesse de rotation de la pièce, le point Q se déplacera pendant le même temps δt jusqu'à un point situé au-delà de R. L'épaisseur du copeau enlevé par le grain est plus grande que dans le cas précédent ; le grain subit donc des efforts plus importants qui entraînent son élimination plus rapide ; de ce fait la meule s'use plus vite ; elle se comporte comme si elle était plus tendre. Et inversement...

4.7.2.4 Vitesse de rotation de la meule

Revenons maintenant à la vitesse initiale de la pièce et faisons varier la vitesse de la meule. Supposons que celle-ci augmente ; il faudra au grain d'abrasif un temps $\delta t'$ plus court que δt pour aller de P en Q. Comme la vitesse de la pièce n'a pas varié, pendant ce temps $\delta t'$ plus court le point Q de la pièce aura atteint un point moins éloigné de Q que R. L'épaisseur du copeau sera donc plus faible, le travail fourni par le grain d'abrasif moindre et les efforts qu'il subit plus petits. Il se maintiendra en place plus longtemps et la meule se comportera comme si elle était plus dure.

Dans la pratique, la vitesse maximale des meules est limitée par des règles de sécurité ; on ne doit donc pas, même si les possibilités de la machine l'autorisent, la faire varier au-delà de cette limite.

4.7.2.5 Profondeur de passe

Une démonstration analogue conduit facilement à la conclusion qu'une augmentation de la profondeur de passe entraîne une diminution de la dureté d'action de la meule.

4.7.2.6 Vitesse d'avance

Dans une opération de rectification avec chariotage ou de rectification *centerless* en enfilade, on entend par vitesse d'avance la vitesse relative de déplacement axial de la pièce par rapport à la meule. On démontrerait de la même façon qu'une augmentation de la vitesse d'avance conduit, à vitesse de rotation de pièce et profondeur de passe constantes, à une diminution de la dureté d'action de la meule.

Dans les opérations de rectification cylindrique, l'avance est souvent exprimée *par tour de pièce* et varie proportionnellement à la vitesse de rotation de celle-ci. Des valeurs couramment rencontrées sont de l'ordre de :

- une demi-épaisseur de meule par tour de pièce en passe d'ébauche ;
- un quart d'épaisseur de meule en passe de finition.

4.7.2.7 Puissance disponible

On a vu que l'augmentation de la profondeur de passe (§ 4.7.2.5) ou de la vitesse de pièce (§ 4.7.2.3) conduisent l'une comme l'autre à un accroissement du débit de copeaux, donc de la puissance absorbée.

Il est évident que la variation de ces paramètres ne peut s'effectuer que dans la limite de la puissance disponible sur la broche.

Disposer d'une réserve de puissance permet à la fois d'améliorer le débit et d'utiliser des meules de grade plus dur, c'est-à-dire de réaliser simultanément un gain de productivité et une économie de la meule.

4.7.2.8 Nature et qualité de l'arrosage

Le rôle de l'arrosage est multiple (article *Huiles de coupe* [B 7 064] dans ce traité) :

- il est le principal agent d'évacuation de la chaleur produite par le travail de meulage et préserve partiellement meule et pièce des dégradations liées à une trop forte élévation de température ;
- il nettoie la surface de la meule et retarde le phénomène d'encrassement ;
- il entraîne les copeaux produits loin de la zone de travail ;
- il sert d'agent antiroûille ;
- il sert de lubrifiant et modifie le coefficient de frottement entre la meule et la pièce. À ce titre, il influe sur l'état de surface de la pièce obtenu.

La composition chimique du liquide d'arrosage, le débit, la pression et l'orientation du jet sont donc des facteurs prépondérants dans la réussite de l'opération. En rectification, le liquide d'arrosage est le plus souvent composé d'eau additionnée d'huile soluble dans une proportion de 2 à 2,5 % (l'eau pure, bien qu'excellent agent de refroidissement, ne remplit pas la fonction d'agent antiroûille).

Un accroissement du débit ou de la pression entraîne une diminution de la dureté d'action de la meule au travail (moins d'échauffement) et permet ainsi d'utiliser des meules de grade plus dur, s'usant moins vite.

4.7.2.9 Nature et qualité du dressage

Il a été décrit (§ 4.6) par quel processus un grain d'abrasif émoussé finissait par se fracturer pour donner naissance à de nouvelles arêtes vives ou par s'éliminer pour céder la place à un grain neuf. Il semble donc, *a priori*, qu'il ne soit pas nécessaire de réaffûter une meule comme on réaffûte une fraise : la meule est capable d'autoaffûtage si sa spécification est bien adaptée.

Toutefois, dans la pratique, il est souvent avantageux d'anticiper ce renouvellement des grains et de le réaliser de l'extérieur par une opération appelée **dressage**. En effet, au fur et à mesure que les grains s'émoussent et perdent de leur pouvoir de coupe, le débit diminue tandis que l'échauffement augmente. Par ailleurs, les grains ne se renouvelant pas d'une façon uniforme sur toute la surface abrasive, celle-ci finit par se déformer.

Le dressage a donc deux objectifs :

- *restituer à la meule une forme géométrique correcte* ;
- *redonner à la face travaillante son pouvoir de coupe originel*, par élimination de la couche de grains émoussés et des éventuels copeaux de meulage collés sur cette surface.

Suivant l'opération de meulage réalisée, le dressage peut être effectué par des moyens très variés :

- dans le cas de l'**ébarbage** et du meulage manuels, au moyen de molettes de dressage en acier, de gros bâtons abrasifs (briques-dresseurs) ou de meules dites *diabolos* ;

— les meules d'**affûtage** sont souvent dressées au moyen de petits bâtonnets en carbure de bore fritté ou à l'aide de dresseurs en diamant aggloméré ;

— les meules de **rectification**, quant à elles, sont presque toujours dressées au moyen d'outils diamant : diamant serti à pointe unique, dresseurs à diamants multiples ou molette diamant animée d'un mouvement de rotation indépendant de celui de la meule.

Il faut également citer la méthode de dressage dite *par crushing*, qui consiste à imprimer un profil dans une meule de grade tendre, tournant à faible vitesse, au moyen d'une molette en acier spécial traité ou en carbure, montée sur une broche entre paliers et entraînée par la meule. Cette méthode est fréquemment utilisée pour dresser les meules de rectification de filetages, d'outils à tailler les engrenages, ou dans la technique d'usinage appelée *rectification dans la masse*.

Chacune de ces méthodes modifie la dureté d'action de la meule : c'est ainsi qu'une molette de *crushing* confèrera à la meule un comportement plus tendre qu'un diamant à pointe unique, lui-même donnant une action plus tendre qu'un dresseur à diamants multiples ou une molette diamant.

4.7.2.10 Conception et état de la broche

Tous chocs ou contraintes extérieures s'ajoutant aux efforts normaux subis par la meule en cours de travail tendent à accélérer le déchaussement des grains d'abrasif et à accroître l'usure de la meule. C'est le cas en particulier des vibrations générées par une broche aux roulements en mauvais état ou une meule mal équilibrée.

C'est ainsi que, pour obtenir une dureté d'action comparable, on sera amené à sélectionner une meule de grade plus tendre sur une machine neuve et en bon état que sur une machine ancienne aux roulements usagés. De même, une meule utilisée sur une broche montée entre paliers fluides vibrera moins que sur une broche montée sur roulements et devra donc être choisie de grade plus tendre.

4.7.2.11 Compétence de l'opérateur

D'une façon générale, une meule s'utilise davantage au cours des dressages successifs qu'au cours de l'enlèvement de matière. C'est pourquoi l'on prend en compte presque systématiquement, lors de la mise au point d'une spécification, le critère du nombre de pièces réalisables entre deux dressages. La meule retenue est le plus souvent celle qui permet le nombre de pièces le plus grand, c'est-à-dire celle à la dureté d'action la plus élevée compatible avec les exigences qualitatives de l'opération.

C'est à ce niveau que la compétence de l'opérateur intervient sur la dureté d'action de la meule, sauf, bien entendu, dans les cas de production automatisée où tous les paramètres sont fixés de façon intangible. Dans tous les autres cas, un opérateur habile, qui saura déterminer les conditions optimales de profondeur de passe, de vitesse de pièce, de vitesse de dressage, s'accommodera toujours d'une meule plus dure qu'un opérateur moyen.

4.8 Mise en œuvre et prescriptions d'emploi : le Code de Sécurité

4.8.1 Code de Sécurité

L'usinage à la meule dans des conditions inadaptées peut être à l'origine de désagréments ou de traumatismes corporels de gravité variable, dont le législateur s'est efforcé de définir et de prévenir les différents aspects par une réglementation appropriée : aspiration des poussières, arrosage, port de lunettes et de gants de travail, écrans et visières protectrices, etc.

Par ailleurs, bien que solide, une meule n'est pas incassable. Et, compte tenu de sa vitesse d'emploi, la rupture d'une meule en rotation peut être cause d'accidents corporels graves et de préjudices matériels importants.

C'est la raison pour laquelle, depuis des décennies, les fabricants de produits abrasifs, en l'absence à l'époque d'une législation adaptée, se sont efforcés de codifier et de publier les règles à respecter pour éviter les ruptures ou minimiser les dommages que celles-ci pourraient occasionner.

C'est ainsi que virent le jour, il y a plus de trente ans, le **Code Français de Sécurité pour l'Emploi des Meules** puis, depuis 1966, les éditions successives d'un **Code Européen de Sécurité** rédigé par les spécialistes de la FEPA (Fédération Européenne des fabricants de Produits Abrasifs) et publié en France sous l'égide de l'INRS.

La FEPA s'efforce d'harmoniser peu à peu les prescriptions à observer dans tous les pays de la Communauté, tant par les utilisateurs que par les fabricants de produits abrasifs et les constructeurs des machines sur lesquelles ils sont montés.

Important : il faut savoir qu'en cas de litige portant sur un point de sécurité d'emploi entre un utilisateur et un fabricant ou un constructeur (ou leur revendeur), et en l'absence de texte de loi se rapportant précisément à ce litige, les tribunaux se réfèrent systématiquement aux prescriptions de la dernière édition du Code FEPA et de ses annexes françaises pour statuer sur le cas qui leur est soumis.

On ne saurait donc trop souligner l'importance que revêt la connaissance de ce document pour tout responsable de l'utilisation de produits abrasifs agglomérés, à quelque niveau que se situe cette responsabilité.

Pendant leur fabrication et jusqu'à leur expédition, les meules et autres produits abrasifs agglomérés sont soumis à des contrôles rigoureux, mais ils sont ensuite, après le départ de l'unité de fabrication, exposés à de nombreux risques :

- ils sont sensibles aux chocs en cours de transport ou de manutention ;
- ils demandent à être stockés dans des conditions correctes ;
- ils doivent être adaptés à la machine et au mode de travail.

L'utilisateur, qui succède au fabricant, doit en prendre le plus grand soin et suivre attentivement les recommandations du Code de Sécurité, qui concernent les différentes étapes de la mise en œuvre d'une meule et particulièrement les points suivants :

- vérifications à la réception ;
- manutentions ;
- conditions de stockage ;
- marquage et adaptation de la meule à la machine, spécialement la vitesse maximale d'emploi ;
- conditions de montage ;
- contrôles avant montage et essai de vitesse avant emploi.

Nous ne prendrons pas le risque dans cet article de résumer les prescriptions du Code sur ces divers points, les modifications inhérentes à son harmonisation européenne risquant de rendre rapidement caduque cette démarche.

Il est possible de se procurer le Code Européen de Sécurité pour l'Emploi des Meules en s'adressant à l'INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité) ou aux Caisses Régionales d'Assurance Maladie.

4.8.2 Mise en œuvre d'une meule

Une fois l'essai avant emploi effectué selon les prescriptions du code, il est bon de tenir compte, lors de la mise en service d'une meule, des recommandations suivantes basées sur l'expérience.

4.8.2.1 Dressage avant emploi

Les opérations d'usinage à la meule, et spécialement les opérations de précision, ne peuvent être réalisées dans de bonnes conditions que sur des machines parfaitement stables : elles ne tolèrent en particulier aucune vibration.

Or, quels que soient les soins apportés à la fabrication et au montage des meules, celles-ci, une fois montées, présentent en général un certain défaut de concentricité générateur de balourd et de vibrations. Il est donc recommandé d'effectuer un premier diamantage grossier simplement destiné à éliminer le faux-rond de la meule.

4.8.2.2 Équilibrage

Malgré cette précaution, l'ensemble meule-flasques présente encore le plus souvent un balourd résiduel qu'il est nécessaire de compenser par un procédé d'équilibrage. Le plus fréquent est celui qui consiste à utiliser les masselottes qui équipent les moyeux de la plupart des rectifieuses.

Voici le déroulement des opérations :

- la meule montée sur son moyeu est enlevée de la machine et montée sur un arbre d'équilibrage (figure 5) ;
- les masselottes d'équilibrage sont enlevées, puis la partie lourde de l'ensemble meule-flasques est repérée et son emplacement marqué à la craie. Cette opération est réalisée sur un banc d'équilibrage qui peut être constitué soit de deux règles horizontales dans le même plan (figure 6), soit de deux jeux de deux galets montés sur roulements dont les axes sont situés dans un même plan horizontal (figure 5) ;
- l'ensemble meule-flasques monté sur ce banc tourne librement et s'arrête lorsque la partie lourde est en bas ;
- les masselottes sont remises en place dans leur rainure à l'opposé de la partie lourde, puis écartées symétriquement (figure 7) jusqu'à obtention de l'équilibre statique indifférent. L'ensemble meule-flasques peut alors être remonté sur l'arbre de la machine et la meule subir son premier diamantage de travail.

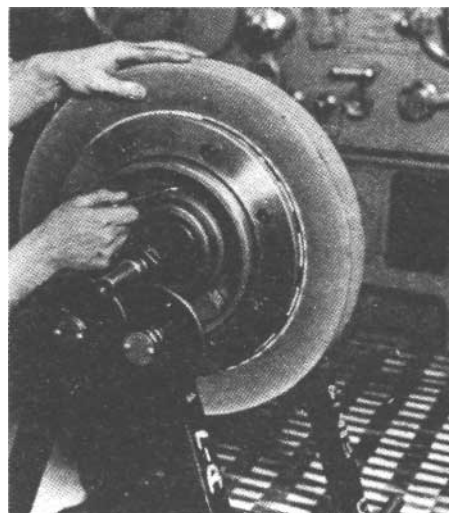


Figure 5 – Équilibrage d'une meule montée sur moyeu-flasque



Figure 6 – Banc d'équilibrage à deux règles

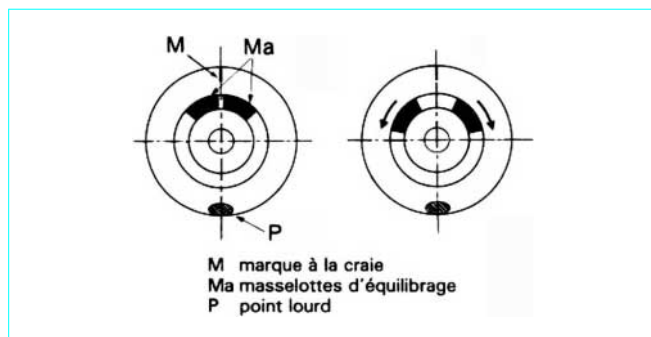


Figure 7 – Principe d'équilibrage d'une meule

Il existe d'autres procédés d'équilibrage plus sophistiqués que celui qui vient d'être décrit. Certaines grosses rectifieuses modernes de production, en particulier, sont équipées d'un dispositif d'équilibrage dynamique qui, sauf balourd très important, évite d'avoir à procéder au préalable à l'équilibrage statique.

4.8.2.3 Essorage après emploi

La plupart des opérations de rectification sont effectuées sous arrosage et, lorsque l'on arrête la machine, le liquide contenu dans les pores de la meule descend vers le point bas et crée un balourd important qui peut s'avérer préjudiciable, et même parfois occasionner une rupture, lors de la remise en route de la meule.

Il est donc fortement recommandé, avant tout arrêt prolongé et en fin de journée, de procéder à un essorage en laissant tourner la meule à vide plusieurs minutes après avoir interrompu l'arrosage.

4.9 Résolution d'un problème de rectification

Dans ce qui va suivre, il sera fait référence très souvent aux différents points déjà abordés aux paragraphes [4.6](#) et [4.7](#).

4.9.1 Données du problème

La connaissance précise des données d'un problème est la condition *sine qua non* de sa bonne résolution.

4.9.1.1 Type d'opération

- Rectification extérieure entre pointes (cylindrique, conique, d'un profil, d'un filetage, d'une gorge, etc.).
- Rectification *centerless* (en plongée, en enfilade).
- Rectification intérieure (d'un alésage, d'un trou borgne, d'un profil).
- Surfaçage, etc.

4.9.1.2 Caractéristiques de la pièce

- Dénomination (axe, vilebrequin, arbre cannelé, lame de cisaille, etc.).
- Forme et dimensions (croquis coté le plus souvent).
- Nature et composition du matériau (acier NCD4, fonte Ni-Hard, Inconel, acier rapide surcarburé, acier inoxydable 18-10, acier de cémentation).
- État physico-chimique et traitement de surface (recuit, revenu après trempe à l'huile, au bain de sels, cémenté trempé, carbo-nitruré, etc.).
- Dureté superficielle (Rockwell B ou C, Brinell, Vickers) et/ou résistance à la traction (en MPa).
- Opérations d'usinage éventuellement réalisées avant rectification (pièce brute de moulage, tournée, fraisée, brochée, rectifiée ébauchée).
- Surépaisseur de matière à enlever.
- État de surface désiré : rugosité R_t ou R_a (en μm ou μin).

4.9.1.3 Caractéristiques de la machine

- Marque et type.
- Puissance disponible sur la broche (en kW ou éventuellement en hp).
- Vitesse de la broche (en tr/min).
- Montage de la broche (horizontale ou verticale, en porte-à-faux, entre paliers à roulements, fluides, hydrostatiques).
- Nature, pression et débit du liquide d'arrosage.
- Nature du système de filtration (décantation, magnétique, papier, etc.).
- Nature de l'outil de dressage (diamant à pointe unique, dresseur diamant multipointe, *rolette*, molette tournante, molette de *crushing*).

4.9.1.4 Type de la meule

- Forme et type (plate type 01, 05, 07, 21, cylindre type 02, segments).
- Dimensions.

4.9.1.5 Antécédents

Très fréquemment, une mise au point en rectification se pose, non comme la résolution d'un problème nouveau, mais comme l'amélioration des résultats d'une opération déjà réalisée.

La connaissance de ces résultats, des conditions opératoires et de la meule qui ont permis de les obtenir est alors le complément utile au succès de la mise au point.

4.9.1.6 Fiche d'étude de poste

On a intérêt à rassembler toutes ces données sur une fiche d'étude de poste (figure [8](#)). Cette méthode permet d'éviter l'omission de paramètres importants pour le choix de la spécification.

FICHE N°1

RECTIFICATION DE PRODUCTION

RELEVÉ DE POSTE N° : _____ APPLICATION : _____

DATE : _____ SOCIÉTÉ : _____ SECTEUR : _____

ANALYSE DU POSTE

1. PIÈCE : _____

2. OPÉRATION ANTERIEURE : _____

3. OPÉRATION : _____

5. MATÉRIAU : _____

6. DURETÉ (Métallurgie) : _____

7. SUREPASSEUR TOTALE A ENLEVER : _____

8. TOLERANCES DEMANDÉES :
a. Dimensionnelles : _____ ± mm
_____ ± mm
b. État de surface : R_a : _____
 R_z : _____
RMS : _____

9. MARQUE DE LA MACHINE : _____
Type : _____ Puissance : _____

10. MEULE :
a. Dimensions : _____ Tolérances spéciales : _____ Forme : _____
b. Spécification : _____ Marque : _____ Prix net unitaire : _____

11. DIAMÈTRE ÉQUIVALENT :
De : _____
Rectification inter. De : $\frac{D \text{ alésage} \times D \text{ meule}}{D_a - D_m}$
Rectification extér. De : $\frac{D \text{ pièce} \times D \text{ meule}}{D_p + D_m}$

ANALYSE DU POSTE (Suite)

12. PARAMÈTRES D'USINAGE :
a. Vitesse de la meule : tr/min : _____ m/s : _____ Vitesse constante : _____
Oscillation : _____
b. Vitesse de la pièce : tr/min : _____ m/min : _____
c. Profondeur de passe : _____ Étauche : _____ Finition : _____
Puissance absorbée : _____ Débit : _____ (mm³/min) Débit Z : _____ (mm³/min. mm)
d. Vitesse de défillement (ou avance pièce) : _____
e. 1) Temps total d'usinage par pièce : _____
2) Temps étincelle par pièce : _____
3) Pièces par heure : _____
4) Pièces par meule : _____
t. Pourcentage de rebut : _____

13. LIQUIDE D'ARROSAGE :
Type : _____ Mélange : _____ Centralex : _____ Individuel : _____

14. DRESSAGE :
Dresseur pointe unique : _____ Multi-pointes : _____ Mulette : _____ Autre : _____
Marque du dresseur : _____

15. FRÉQUENCE DE DRESSAGE : _____ Motif du dressage : Manque de coupe
Usure
État de surface

16. PROFONDEUR DU DRESSAGE : _____

17. VITESSE DE DRESSAGE : _____ mm/min

18. OBJECTIF DE L'ESSAI : _____

19. SPÉCIFICATION RECOMMANDÉE POUR ESSAI : _____
DATE : _____ SIGNATURE : _____

Figure 8 – Fiche d'étude de poste

4.9.2 Choix d’une spécification

Pour déterminer *a priori* une ou plusieurs spécifications capables de résoudre le problème posé, le technicien doit disposer :

- des connaissances de base sur le comportement d’une meule au travail et sur les facteurs influant sur ce comportement ;
- des connaissances apportées par les documents traitant de la rectification (ils sont malheureusement peu nombreux) ;
- des données du problème (figure 8) ;
- de l’expérience acquise dans la résolution de problèmes similaires ;
- de la faculté de raisonner par analogie et par différence.

Bien que déterminer une spécification de rectification soit plutôt affaire de spécialiste, nous tenterons dans cet article d’apporter quelques éléments d’appréciation.

4.9.2.1 Choix de l’abrasif

Le tableau 2 établit une corrélation entre les propriétés de quelques abrasifs utilisés en rectification et leur domaine d’emploi privilégié.

4.9.2.2 Choix de la grosseur de grain

Elle est fonction de l’état de surface imposé. Le tableau 3 indique la correspondance entre la rugosité R_a désirée et la grosseur de grain à utiliser en rectification.

■ Remarque

Pour obtenir un état de surface comparable (rugosité R_a de 1 μm , par exemple), il faut choisir un grain plus fin en rectification extérieure ou *centerless* (grain 60) qu’en rectification plane ou intérieure (grain 46).

4.9.2.3 Choix du grade

Nous avons vu (§ 4.7.2) que tous les paramètres d’utilisation avaient une influence sur la dureté d’action de la meule. Celui qui en a le plus, toutefois, est sans aucun doute l’aire de contact, qu’elle soit liée au type d’opération ou aux dimensions de la meule ou de la pièce.

C’est pourquoi il est possible, dans un article comme celui-ci, non pas de définir un grade précis pour chaque opération et chaque pièce, mais au moins de délimiter des gammes de dureté par type d’opération.

Type d’opération	Gamme de grades	Remarque générale
rectification extérieure	moyens : J à N	Plus l’aire de contact est grande, plus le métal est dur, et plus le grade choisi doit être tendre
rectification <i>centerless</i>	moyens à durs : K à Q	
rectification plane	tendres : H à J	
rectification intérieure	moyens : J à N	

4.9.2.4 Choix de la structure

C’est le fabricant qui choisit le plus souvent la structure la mieux adaptée au type d’opération à réaliser : *fermée* pour les opérations de rectification cylindrique, *ouverte* pour la rectification plane.

4.9.2.5 Choix de l’agglomérant

Les **agglomérants vitrifiés** sont les agglomérants de la rectification, à l’exception de quelques opérations de rectification *centerless* à grande vitesse, de dressage avec segments et de rectification poli miroir qui sont du domaine des agglomérants résinoïdes.

4.9.3 Essais

Supposons avoir à disposition les produits de la spécification retenue. Il existe deux sortes d’essais : qualitatif et quantitatif, souvent réalisés consécutivement.

4.9.3.1 Essai qualitatif

Son objectif est de répondre à peu de frais et dans un temps relativement court à la question : le produit dont nous disposons permet-il d’aboutir à la pièce finie en respectant les critères de qualité imposés par le cahier des charges (tolérances dimensionnelles, état de surface, intégrité métallurgique) ?

Sa conduite consiste, dans la limite des possibilités de la machine et de la meule, à **faire varier un par un les facteurs d’utilisation**, à noter les valeurs limites admissibles de ces paramètres, pour aboutir finalement à une solution moyenne laissant une marge de sécurité.

Tableau 2 – Choix d’un abrasif en rectification

Abrasif	Propriétés	Domaines d’emploi
Alumine 95 %	Compact, solide, peu friable	Rectification extérieure <i>centerless</i> d’aciers doux et mi-durs non traités
Alumine 99 %	Très coupant, friable	Rectification extérieure tous aciers alliés ou traités Rectification <i>centerless</i> pièces chromées (chrome dur) Rectification plane tous aciers et fontes Rectification intérieure tous aciers et fontes
Mélange alumine 95 %-alumine 99 %	Compromis entre résistance et pouvoir de coupe	Rectification en plongée aciers mi-durs trempés Rectification <i>centerless</i> tous aciers durs (traités, alliés, inox sauf 18/8)
Alumine monocristalline	Très coupant, peu friable, prix plus élevé	Rectification intérieure tous aciers sauf acier nitruré Surfaçage avec cylindres ou segments tous aciers sur machine puissante
Alumine microcristalline	Très coupant, très résistant, prix élevé	Rectification de précision avec recherche de débits et rendements élevés
Carbure de silicium noir	Dureté > 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 rechargées par métallisation

Tableau 3 – Correspondance entre la rugosité désirée et la grosseur de grain

Rugosité R_a (µm)	1	0,5	0,25	0,1
Grosseur de grain.....	46 à 60	80 à 120	220 à 320	500 à 600
Opération : rectification	commerciale	soignée	fine	poli miroir

Lorsqu'il n'est pas prévu que la résolution du problème débouche sur des productions importantes nécessitant une étude de prix de revient, la mise au point s'achève souvent à ce stade.

Il doit en aller tout autrement dans le cas de productions de série où les frais engagés pour réaliser des essais plus poussés et quantitatifs seront rapidement remboursés par les gains de coût que l'on peut en escompter.

En effet, s'il apparaît évident, compte tenu du nombre important de paramètres pouvant donner des variations de sens opposés, que l'on puisse trouver plusieurs spécifications capables, moyennant quelques réglages, de réaliser le travail demandé d'un point de vue purement qualitatif, il y en a généralement peu, voire une seule, qui permettent d'aboutir au meilleur prix de revient.

4.9.3.2 Essai quantitatif

Ce type d'essai, que l'on devrait appeler **essai comparatif quantifié** consiste à déterminer, pour plusieurs spécifications qualitativement adaptées :

- les conditions de travail optimales pour chaque spécification ;
- les performances de chaque meule : débit et rendement ;
- le coût à la pièce bonne dans ces conditions ;

de façon à retenir la spécification donnant le meilleur prix de revient.

— **Débit** : c'est la *production réalisée par unité de temps*, cette production pouvant être exprimée par exemple en nombre de pièces par heure ou en kilogrammes de copeaux par heure.

Lorsque l'on mesure un débit exprimé en kg/h, il convient de faire la distinction entre :

- le débit instantané (ou débit *étincelle*), qui ne prend en compte que le temps de travail effectif de la meule ;
- et le débit moyen (ou global), qui prend en compte le temps total de l'opération, y compris les temps de taillage et les temps de chargement-déchargement.

— **Rendement** : c'est la *production réalisée par unité de volume utile de la meule*. Ordinairement, il est exprimé en kilogrammes de copeaux produits par dm^3 de meule utilisé ou en nombre de pièces par meule.

L'essai comparatif entre plusieurs meules est une opération dont le coût instantané est élevé :

- fourniture des produits destinés à l'essai (meules et pièces), dont certains pourront être mis au rebut ;
- mobilisation, souvent pendant plusieurs jours, d'un technicien et d'un opérateur du client utilisateur ;
- déplacement et mobilisation d'un technicien du fournisseur ;
- perte de production par suite de l'immobilisation de la machine sur laquelle s'effectue l'essai.

Aussi doit-il être préparé et conduit avec le plus grand sérieux, depuis l'énoncé du problème servant au choix des spécifications d'essai jusqu'à l'analyse des résultats enregistrés au cours de l'essai.

Analyse des résultats et prix de revient doivent être consignés sur une fiche Rapport d'essai (figure 9).

4.9.4 Prix de revient

En rectification, la meilleure meule n'est pas *a priori* celle qui coûte le moins cher, ou celle qui a les meilleurs débit et/ou rendement ; c'est celle qui donne le meilleur prix de revient de la pièce bonne rectifiée. Ce doit être *l'unique critère* qui guide un utilisateur dans ses choix, dès qu'il s'agit d'opérations de production en quantités importantes : il est exprimé le plus souvent par le coût de rectification d'une pièce.

■ Définition du coût *CU* de rectification d'une pièce

C'est la dépense totale engagée pendant la durée de l'opération, divisée par le nombre de pièces bonnes produites.

On peut l'exprimer par la formule suivante :

$$CU = \frac{(MO + FG) + CM + CT + CR}{N}$$

La dépense totale engagée comprend :

(*MO + FG*) les salaires + charges du personnel affecté à l'opération, l'amortissement de la machine, les frais généraux d'atelier affectés à cette machine (dans les entreprises d'une certaine importance, ce poste de dépense (*MO + FG*) est souvent exprimé sous la forme d'un *taux horaire d'utilisation* affecté à chaque machine) ;

CM

CT

CR

la dépense de meules ;

la dépense d'outils de dressage (ou taillage) ;

le coût des rejets imputables à l'opération, valorisés dans leur état avant rectification (ce poste de dépense n'est pas toujours pris en compte).

Le nombre de pièces bonnes *N* est le nombre total de pièces produites, diminué du nombre des rejets imputables à l'opération.

Couramment, dans les opérations de rectification, les dépenses *meule* et *outil de dressage* sont comparables et de l'ordre chacune de 10 % de la dépense totale.

Exprimé autrement, cela revient à dire que si l'on économise 20 % sur la dépense *meule* ou sur la dépense *outil de dressage*, on abaisse le prix de revient de 2 %, alors que s'il est possible d'abaisser le temps total de rectification d'une pièce de seulement 10 %, on améliore le prix de revient de 8 %, soit quatre fois plus.

C'est une des raisons pour laquelle la meule la meilleure est souvent celle qui nécessite le moins de retailage, que cela s'exprime sous la forme d'un plus grand nombre de pièces produites entre deux taillages successifs ou sous la forme de retailages moins profonds.

En effet, dans les opérations de grande série, il n'est pas toujours possible de modifier le temps de cycle de rectification d'une pièce (chargement de la pièce + *temps étincelle* + déchargement).

Gagner sur la fréquence ou l'importance des taillages est alors le seul moyen d'économiser simultanément sur :

- le temps total de l'opération, donc sur le poste (*MO + FG*) ;
- le poste de dépense meule *CM* (une meule s'utilise généralement plus au taillage qu'au travail) ;
- le poste de dépense d'outil de taillage *CT*.

FICHE N° 2

RECTIFICATION DE PRODUCTION
RAPPORT D'ESSAI

ESSAI N° : SECTEUR : CLIENT : DATE :

A - DESCRIPTION DE L'OPERATION

1. PIÈCE : DIMENSIONS :

2. OPERATION :

3. OPERATION ANTERIEURE :

4. MATERIAU (type, métallurgie, dureté) :

5. SURÉPAISSEUR TOTALE A ENLEVER :

6. TOLERANCES DEMANDEES :

7. ETAT DE SURFACE DEMANDE : R_a : = R_z : = RMS : = TYPE DE LA MACHINE :

8. MARQUE DE LA MACHINE :

9. PUISSANCE :

10. VITESSE DE LA BROCHE :

11. AVEC OU SANS ARROSAGE : TYPE : MÉLANGE :

B - PRODUIT / UTILISATION

13. DIMENSIONS DE LA MEULE :

14. CODE ET N° DE DESSIN :

15. N° DE FABRICATION :

16. SPECIFICATION :

17. VITESSE DE COUPE :

18. CONDITIONS DE TRAVAIL :

- VITESSE DE LA PIÈCE :

- PROFONDEUR DE PASSE : - EBAUCHE
- FINITION

- VITESSE TRANSVERSALE :

19. METHODE DE DRESSAGE :

20. OUTIL UTILISE :

21. FREQUENCE DE DRESSAGE :

22. PROFONDEUR DE DRESSAGE :

23. VITESSE TRANSLATION DRESSAGE :

24. ETAT DE SURFACE :

25. OBJECTIF DE L'ESSAI :

C - RESULTATS

(bien préciser les unités de mesure utilisées)

1. MARQUE DE LA MEULE :

2. SPECIFICATION :

3. PRIX DE LA MEULE :

4. TEMPS D'USINAGE (TOTAL) : (CONTACT) : (PAR PIÈCE) : (TOTAL) : (PAR PIÈCE) :

5. VOLUME USINE : (TOTAL) : (PAR PIÈCE) :

6. USURE DE LA MEULE (TOTALE) : (PAR PIÈCE) :

7. RENDEMENT G ($\frac{\text{matière usinée}}{\text{meule usée}}$) :

8. DÉBIT (éclincelles) matière usinée / temps :

9. DÉBIT Z' : mm³ matière usinée / seconde, mm de largeur meule :

10. TOTAL DES PIÈCES :

11. PIÈCES PAR HEURE :

12. NBR DE PIÈCES PRÉVUES PAR MEULE :

13. TEMPS DE DRESSAGE : Masqué ☐ Non masqué ☐

14. COÛT OUTIL DE DRESSAGE PAR PIÈCE :

15. COÛT HORAIRE MO + FG * :

16. COÛT DE LA MEULE PAR PIÈCE :

17. COÛT MO + FG PAR PIÈCE :

18. COÛT TOTAL PAR PIÈCE :

REMARQUES ET CONCLUSIONS :

Date : Signature :

* MO + FG = Coût Main d'œuvre + Frais Généraux.

Figure 9 – Rapport d'essai

B 7 050 – 18

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

5. Superabrasifs agglomérés

Les abrasifs **diamant** et **CBN** (nitrure de bore cubique) sont souvent qualifiés de **superabrasifs**, par opposition aux abrasifs alumineux et au carbure de silicium dits classiques ou conventionnels.

5.1 Constitution

Les produits superabrasifs agglomérés présentent deux différences essentielles par rapport aux produits abrasifs conventionnels :

- compte tenu du prix élevé de l'abrasif (de l'ordre de 10^4 fois celui d'un abrasif classique), une meule en superabrasif ne contient pas de grains dans toute sa masse, mais est constituée de deux parties (figure 10) : une couche abrasive (ou bandeau) et une monture (ou support) ; seules les toutes petites meules sont agglomérées dans la masse ;
- la couche abrasive est dépourvue de pores (à une exception près).

5.1.1 Bandeau

C'est la partie active de la meule.

5.1.1.1 Absence de pores

Le coût d'achat élevé de l'abrasif, sa grande dureté et sa faible usure font que l'on cherche à retenir les grains le plus fermement et le plus longtemps possible.

La couche abrasive n'est plus constituée en général que d'abrasif et d'agglomérant, celui-ci ne se présentant plus sous la forme de piliers susceptibles de se briser et séparés par des vides (les pores), mais sous la forme d'un ciment dans lequel les grains d'abrasif sont noyés.

5.1.1.2 Abrasifs

Il a déjà été dit au paragraphe 2.3 que les superabrasifs, diamant et CBN, étaient utilisés, selon leur destination et leur mode d'agglomération, soit sous forme de cristaux purs, soit sous forme de cristaux préalablement enrobés d'une couche métallique destinée à absorber une partie de la chaleur produite au cours du travail.

Nous verrons plus en détail les différentes variétés d'abrasif ainsi obtenues au paragraphe 5.9.

5.1.1.3 Agglomérants ou liants

Il existe deux modes d'agglomération des grains de superabrasifs.

■ Dans les **produits dits à concrétion**, les grains sont liés entre eux par l'agglomérant à l'intérieur d'un **volume**. Comme dans le cas des produits abrasifs classiques, les grains présents sur la face de travail sont remplacés par des grains neufs lorsqu'ils disparaissent, et ce jusqu'à usure complète de la couche abrasive.

■ Dans les **produits dits à dépôt électrolytique**, par contre, une seule couche de grains est maintenue par l'agglomérant à la **surface** d'un support métallique : lorsque cette unique couche de grains est usée, le produit l'est également.

5.1.1.3.1 Agglomérants des produits à concrétion

■ **Agglomérants résinoïdes** : ce sont le plus souvent des résines formophénoliques de même nature que celles utilisées avec les abrasifs classiques. L'utilisation de résines polyimides est plus récente et tend à se développer, en raison de leur meilleur pouvoir de retenue des grains.

Les agglomérants résinoïdes sont les plus utilisés pour l'usinage des métaux durs : carbures métalliques avec le diamant, aciers rapides avec le CBN.

■ **Agglomérants métalliques** : les plus répandus sont des bronzes (cuivre + étain) obtenus par frittage à des températures comprises entre 500 et 700 °C. Ils possèdent des résistances mécanique et à l'usure supérieures à celles des agglomérants résinoïdes, mais leur dureté d'action est en général trop élevée pour qu'on les emploie dans l'usinage des métaux durs, sensibles à de fortes élévations de température.

Ils sont utilisés pour le travail du verre, des céramiques et des revêtements non métalliques. Dans un autre domaine, les agglomérants métalliques frittés (bronze, acier ou même carbures) sont très utilisés pour le tronçonnage des marbres, des granites et du béton.

■ **Agglomérants vitrifiés** : de même nature que les agglomérants des abrasifs classiques, ce sont les seuls qui présentent une certaine porosité.

Associés au CBN, ils permettent la réalisation de produits extrêmement performants dans les opérations d'usinage des aciers ou des alliages ferreux d'une dureté supérieure à 55 HRC, des alliages réfractaires (*Inconel*, *Waspaloy*, etc.) et de la plupart des métaux difficiles à usiner avec les autres abrasifs.

5.1.1.3.2 Liant des produits à dépôt électrolytique

Il s'agit pratiquement toujours de **nickel**, métal qui offre à la fois de bonnes qualités d'enrobage des grains, de résistance à l'usure et de conductivité thermique.

5.1.2 Monture

Le rôle de la **monture** est multiple :

- elle maintient le bandeau et donne sa rigidité à l'ensemble ;
- elle réalise la liaison avec la fixation sur la machine ;
- elle transmet une grande partie de la chaleur produite dans le cas de travail à sec ;
- elle absorbe les vibrations.

Selon le type d'agglomérant utilisé et la destination du produit, la monture peut être fabriquée dans des matériaux très différents :

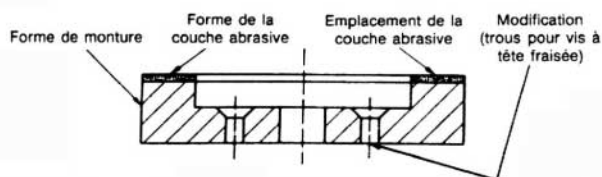
- en **alliage léger** (AG5) : toujours associées à des bandeaux liant résine, de bonne résistance mécanique et de bonne conductivité thermique, facilement usinables, les montures *aluminium* sont utilisées pour la réalisation des formes complexes et des grandes meules montées sur des machines rigides dénuées de vibrations ;
- en **Résaloy** (mélange de poudres d'aluminium et de résine) : également destinées à des bandeaux liant résine, présentant une bonne capacité d'absorption de la chaleur et des vibrations, les montures en *Résaloy* sont utilisées pour la réalisation des autres formes de meules pouvant travailler à sec ou sur des machines peu rigides ;
- en **alliage dense** (bronze ou acier) : associées à des bandeaux de même nature qu'elles, très rigides, ces montures sont utilisées pour des travaux de tronçonnage ou d'affûtage manuel, sous arrosage ; l'acier est par ailleurs le matériau utilisé pour la préparation des montures des produits à dépôt électrolytique ;
- en **matière vitrifiée** : ces montures sont utilisées uniquement en association avec des bandeaux à liant vitrifié.

5.2 Fabrication

Les principales étapes de la réalisation d'un produit superabrasif aggloméré sont décrites dans les paragraphes suivants.

Exemple de code de forme :

6 A 2 C



Désignation standardisée de cotes :

D	Diamètre	L ₂	Longueur de la partie décollée
D ₁	Diamètre de la partie décollée	M	Épaisseur de la monture
E	Épaisseur de fond	R	Rayon
F	Largeur du plat	T	Épaisseur totale
H	Alésage	U	Épaisseur de la couche abrasive
J	Diamètre du moyeu de la face d'appui	V	Angle
K	Diamètre intérieur de serrage	W	Largeur de bord
L	Longueur de la monture ou de la tige	X	Profondeur de la couche abrasive
		Y	Diamètre de la tige

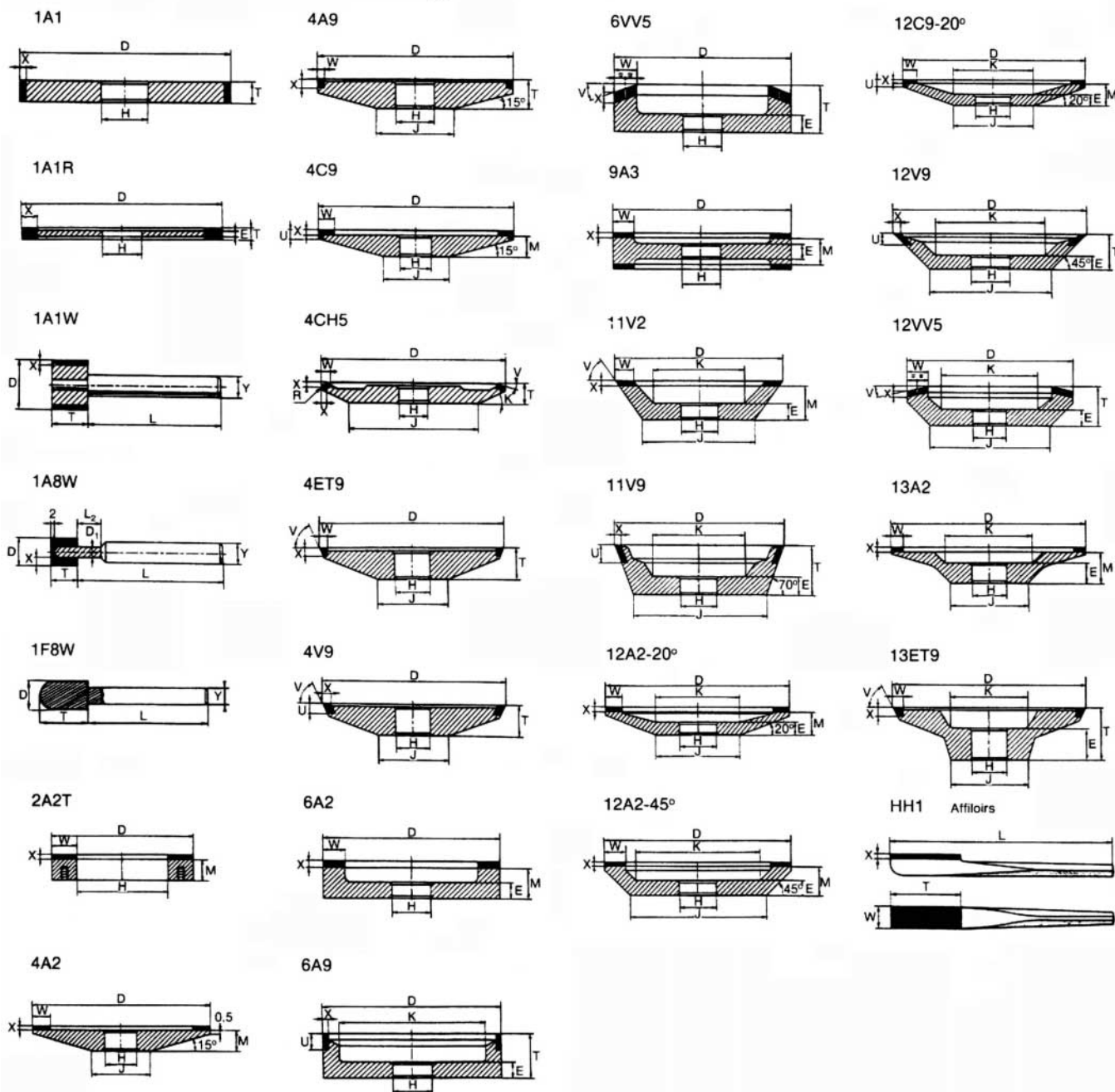


Figure 10 – Formes et désignations des meules en superabrasifs

5.2.1 Préparation du support

On appelle **support** l'ébauche de la monture : il s'agit de préparer celle-ci à recevoir le bandeau. Cette préparation se fait par tournage d'un lopin de la matière choisie ou par frittage d'un mélange de poudres.

5.2.2 Réalisation de la couche abrasive

5.2.2.1 Cas des produits à concrétion

— **Préparation du mélange abrasif** : les abrasifs et les constituants de l'agglomérant sont pesés, puis malaxés.

— **Pressage** : les deux éléments précédents, support et mélange, sont disposés dans un moule correspondant aux dimensions finales recherchées.

Le pressage s'effectue à froid dans le cas des produits métalliques ou vitrifiés, à chaud pour les produits résinoïdes.

Un produit pressé mais non cuit est dit à l'état vert.

— **Cuisson** : cette phase est indispensable, quel que soit le type d'agglomérant. Dans le cas des produits résinoïdes, cette cuisson consiste en une polymérisation obtenue en étuve vers 220 °C.

Pour les agglomérants métalliques, on opère un frittage vers 500 à 700 °C.

Enfin, dans le cas des produits CBN vitrifiés, la cuisson dans des fours portés à des températures voisines de 1 000 °C conduit à une vitrification de l'agglomérant.

5.2.2.2 Cas des produits à dépôt électrolytique

Une fois la monture en acier usinée aux dimensions requises, sa surface est recouverte d'un enduit isolant, à l'exception de la zone où l'on souhaite réaliser le dépôt. Elle est ensuite placée dans un récipient contenant l'abrasif, de telle façon que toute la surface utile soit en contact avec les grains. L'ensemble est alors plongé dans un bain d'électrolyte, dans lequel on fait passer un courant électrique pendant le temps nécessaire au dépôt d'une couche de nickel dont l'épaisseur est fonction de la grosseur des grains à enrober.

5.2.3 Usinage

Il a pour but de donner au support la forme et les dimensions finales de la monture par des opérations telles que tournage et perçage. Il consiste par ailleurs à rendre la couche abrasive apte au travail, tant sur le plan de la précision géométrique par rectification que sur celui du mordant de la face de travail par avivage (§ 5.8.4).

5.2.4 Contrôle

En dehors des contrôles dimensionnels, de voile, de faux-rond, il consiste principalement à s'assurer :

- pour les produits à concrétion, de l'absence de porosité de la couche (sauf produit vitrifié) et de son bon accrochage sur la monture ;
- pour les produits à dépôt électrolytique, de l'homogénéité du dépôt et de la régularité de la disposition des grains.

5.3 Formes et dimensions

Comme pour les meules traditionnelles, les dimensions des produits en superabrasifs sont exprimées en millimètres et couvrent la même plage, de quelques millimètres pour certaines meules de rectification intérieure à plus d'un mètre pour les plus grands disques

de tronçonnage du marbre. Elles comprennent les dimensions enveloppantes du produit ($D \times T \times H$) ainsi que les dimensions complémentaires nécessaires à une définition claire du produit selon sa forme (largeur de bord, épaisseur de fond, etc.).

Les formes les plus courantes (figure 10) ont été codifiées par la Fédération Européenne des fabricants de Produits Abrasifs (FEPA). Ce code comprend quatre éléments.

- Forme de la monture, par exemple :
1 : meule plate
6 : boisseau droit
11 : boisseau conique
12 : assiette
- Forme de la couche abrasive, par exemple :
A : section rectangulaire
V : section trapézoïdale
- Emplacement de la couche abrasive, par exemple :
1 : à la périphérie
2 : sur le côté de la monture
9 : en coin
- Modification éventuelle, par exemple :
C : trous de fixation

5.4 Spécifications

Énoncer la spécification d'un produit superabrasif revient à indiquer dans l'ordre les cinq symboles qui définissent ses constituants et ses propriétés.

5.4.1 Abrasif

- D** : abrasif diamant
B : abrasif CBN

En raison de la variété des abrasifs diamant et CBN, ces symboles de base sont suivis, au choix des fabricants, par des symboles complémentaires précisant le type d'abrasif utilisé.

5.4.2 Grosseur de grain

Deux normes sont utilisées par les fabricants de produits superabrasifs : la norme FEPA et la norme MESH. En Europe et particulièrement en France, c'est la norme FEPA qui prédomine. Elle donne en micromètres la dimension moyenne des grains. Le tableau ci-dessous donne l'équivalence des deux échelles :

FEPA :	252	181	151	126	107	91	76	64	54	46	25	16	10	6,3
MESH :	80	100	100S	120	150	180	220	240	320	400	500	600	800	1 200

5.4.3 Grade

Sauf dans le cas des meules CBN vitrifiées, la signification du grade diffère de celle des meules classiques, car, les meules agglomérant résine ou métal n'ayant pas de porosité, donc pas de piliers, on ne peut définir la force avec laquelle ceux-ci retiennent les grains d'abrasif. Dans la mise au point d'une spécification de meule diamant ou CBN, le grade est d'ailleurs d'une importance secondaire par rapport à des paramètres tels que la concentration ou la nature de l'agglomérant. Ce sont les raisons pour lesquelles la mention du grade est souvent omise dans l'énoncé de la spécification d'un produit superabrasif à concrétion, et toujours dans le cas d'un produit à dépôt électrolytique.

5.4.4 Concentration

Dans le cas des produits superabrasifs, on ne parle plus de structure mais de concentration. C’est le paramètre le plus important dans la spécification.

Par définition, la concentration exprime la quantité de superabrasif mis en œuvre par unité de volume de la couche abrasive. Selon la norme FEPA, la concentration 100 correspond à 4,4 carats par cm³ de couche (1 carat = 0,2 g), les autres concentrations se déduisant de la concentration 100 par une règle de proportionnalité.

C’est ainsi que, pour les concentrations usuelles, on aboutit à :

Concentration	Masse d’abrasif	
	(carats/cm ³)	(g/cm ³)
25	1,1	0,22
50	2,2	0,44
75	3,3	0,66
100	4,4	0,88
125	5,5	1,10
150	6,6	1,32
175	7,7	1,54
200	8,8	1,76

5.4.5 Agglomérant

Bien qu’aucune norme n’ait été établie dans ce domaine, les symboles de base généralement admis pour les classes d’agglomérant sont :

B : agglomérants organiques
M : agglomérants métalliques
V : agglomérants vitrifiés

Les symboles complémentaires, lettres ou chiffres, destinés à préciser la variété de l’agglomérant, sont laissés à l’initiative de chaque fabricant.

5.5 Principales applications

D’une façon générale, les superabrasifs sont réservés à des travaux de précision sur des matériaux durs difficilement attaquables par les abrasifs traditionnels :

- le diamant est utilisé pour l’usinage des carbures métalliques et des matériaux non métalliques ;
- le CBN pour les aciers et alliages ferreux d’une dureté supérieure à 55 HRC.

Remarques

- Bien que présentant toutes les qualités mécaniques souhaitables, le diamant n’est pas couramment utilisé pour l’usinage des aciers : le fer est en effet très avide de carbone à haute température et cette affinité entraîne une disparition progressive des grains par graphitisation superficielle du diamant et combinaison du carbone et de l’acier. Toutefois, certains aciers ayant déjà un pourcentage de carbone élevé peuvent être usinés sans dommage à la meule diamant.
- Diamant et CBN peuvent usiner des matériaux de dureté moyenne, mais ceux-ci étant facilement attaqués par les abrasifs traditionnels, l’utilisation de superabrasifs ne se justifie pas sur le plan économique.

■ D’une façon plus générale, suivant les mêmes critères économiques, il faut éviter l’emploi des superabrasifs dans tous les cas où l’utilisation des abrasifs classiques ne pose pas de problèmes difficilement surmontables. C’est le cas de la plupart des travaux de non-précision avec gros enlèvement de matière : ébarbage ou tronçonnage de grosses sections métalliques, par exemple. C’est également le cas de la rectification des aciers et des alliages d’une dureté inférieure à 55 HRC ou de l’affûtage des outils en aciers rapide et super-rapide faiblement alliés.

Compte tenu de ce qui précède, on peut dire que les domaines d’élection des superabrasifs sont les suivants :

- rectification de pièces en carbures métalliques ou tout autre matériau fritté dur, en acier ou alliages d’une dureté supérieure à 55 HRC, en porcelaine électrotechnique, en verre (lunetterie, miroiterie), ou revêtues d’une couche d’apport d’un matériau difficile à usiner ;
- rodage et superfinition des mêmes matériaux ;
- affûtage d’outils en carbure, en aciers rapides fortement alliés ou en aciers surcarburés ;
- tronçonnage de plaquettes en carbure ;
- tronçonnage et dressage des matériaux de construction durs ou abrasifs : marbres, granites, grès cérame, béton non armé (pistes d’envol, sols d’usine), matériaux réfractaires durs, etc.

5.6 Mode d’action d’une meule

Le mode d’action d’une meule à concrétion en superabrasif est exactement semblable à celui d’une meule en abrasif classique : travail par formation de copeaux, arrondissement progressif des arêtes de coupe, augmentation des efforts de coupe, fracture ou déchaussement des grains usés, apparition de nouvelles arêtes vives ou de grains neufs.

Ce processus est toutefois considérablement étalé dans le temps, en raison de la beaucoup plus grande dureté et de la résistance accrue des grains à l’usure.

5.7 Facteurs d’influence sur le comportement d’une meule au travail

5.7.1 Facteurs internes de fabrication

5.7.1.1 Nature de l’abrasif

Plus encore que leur nature, c’est la forme cristalline des grains qui influe sur le comportement de la meule au travail. C’est ainsi qu’une meule fabriquée avec des grains de forme irrégulière, friables et présentant des arêtes aiguës aura un comportement plus tendre, toutes choses égales par ailleurs, qu’une meule fabriquée avec des grains de forme plus arrondie et régulière.

Or certains matériaux et certains travaux s’accommodent mieux d’une meule au pouvoir de coupe élevé et d’action tendre, alors que d’autres matériaux et opérations requièrent au contraire l’utilisation de meules contenant des grains peu friables, présentant une grande résistance à la fragmentation et à l’usure.

Les fabricants de superabrasifs se sont donc attachés, et sont parvenus, à trouver et à reproduire les conditions qui permettent la production de grains ayant des caractéristiques données de forme et de friabilité.

5.7.1.2 Grosseur de grain

La dureté d'action d'une meule croît lorsque la grosseur des grains diminue, et cela quelle que soit la nature de l'agglomérant utilisé. Cette propriété est d'autant plus sensible que l'on s'achemine vers les grains les plus fins.

Paradoxalement, alors que sa dureté d'action augmente, le rendement de la meule diminue lorsque l'on affine le grain (elle s'use plus vite). C'est la raison pour laquelle il faut choisir le grain le plus gros compatible avec l'état de surface que l'on désire obtenir.

5.7.1.3 Concentration

Dureté d'action et rendement d'un produit superabrasif varient dans le même sens que la concentration.

Le choix de la concentration dépend avant tout de la nature de l'opération et des conditions de travail.

Tous les paramètres qui conduisent à une diminution de la dureté d'action de la meule : faible surface de contact, opération d'ébauche avec de gros grains, forte puissance disponible et arrosage abondant, conduisent au choix de concentrations élevées.

Inversement, une grande surface de contact, une machine peu puissante, un travail à sec ou une opération de finition avec des grains fins entraîneront le choix de concentrations faibles ou moyennes.

5.7.1.4 Agglomérant

On peut poser en règle générale que les agglomérants métalliques confèrent aux meules une dureté d'action nettement plus élevée que les agglomérants résine ou vitrifiés.

De même, d'une façon générale, une meule à agglomérant vitrifié (CBN) aura un meilleur pouvoir de coupe qu'une meule résine, et celle-ci un pouvoir de coupe bien supérieur à celui d'une meule à liant métal (à l'exception des produits à dépôt électrolytique qui possèdent, au moins au début de leur utilisation, le pouvoir de coupe le plus élevé).

Cela étant, les chimistes et les métallurgistes ont à leur disposition de multiples moyens, en particulier par l'addition de charges, pour conférer à un agglomérant *de base* des propriétés particulières : résistance à l'usure, rétention des grains, friabilité, conductivité thermique, qui peuvent modifier considérablement la dureté d'action de cet agglomérant.

C'est dire que chaque fabricant, et lui seul, peut dresser l'échelle des duretés d'action des agglomérants qu'il utilise.

5.7.2 Facteurs externes d'utilisation

Ce sont les mêmes, et leur influence est identique, que ceux déjà étudiés pour les meules classiques (§ 4.7.2).

Il convient toutefois de préciser un point concernant l'emploi sous arrosage de produits à abrasif CBN. Celui-ci possède la propriété de réagir chimiquement avec l'eau pure à une température voisine de 800 °C. Cela exclut pratiquement d'utiliser l'eau additionnée d'un faible pourcentage d'huile soluble comme liquide d'arrosage (donc d'utiliser le liquide habituel des centrales réfrigérées). Sont uniquement recommandées :

- l'eau avec addition d'un fort pourcentage (5 à 10 %) de certaines huiles solubles permettant d'éviter l'inconvénient du *gommage* ;
- mieux encore, l'huile minérale pure (dite *entière*), qui confère à la meule une durée de vie considérablement accrue.

5.8 Mise en œuvre et précautions d'emploi

Les principes de mise en œuvre des produits superabrasifs sont les mêmes que ceux des produits classiques, mais leur prix élevé et leurs caractéristiques propres entraînent un surcroît de précautions et quelques différences dans les modalités.

5.8.1 Stockage et manutention

Compte tenu de leur prix, les produits superabrasifs sont en général livrés dans des emballages individuels. Il est fortement recommandé, pour éviter tout risque de détérioration du bandeau, de les stocker et de les déplacer dans cet emballage, et de ne les débiller qu'au pied de la machine utilisatrice.

5.8.2 Montage et centrage

Pour tirer le meilleur parti des possibilités des meules diamant et CBN, il est indispensable qu'au moment de leur mise en service, elles présentent un voile (meules travaillant sur le côté) ou un faux-rond (meules travaillant sur la périphérie) inférieurs à 0,01 mm.

Le faux-rond peut être partiellement éliminé lors du montage en procédant à un centrage de la meule. Celle-ci est à peine serrée entre les flasques et l'on procède à un premier contrôle du faux-rond à l'aide d'un comparateur (figure 11). Si celui-ci indique une valeur supérieure à 0,01 mm, on centre la meule en plaçant la partie excentrée à l'opposé du comparateur, puis on la fait *rentre* de la moitié de la valeur du faux-rond en tapotant doucement avec un maillet en bois ou en matière plastique. On procède alors à un nouveau contrôle et la meule n'est serrée définitivement entre ses flasques que lorsque le faux-rond minimal a été atteint.

On peut alors procéder à son dressage pour éliminer l'excentration résiduelle (quelques micromètres).

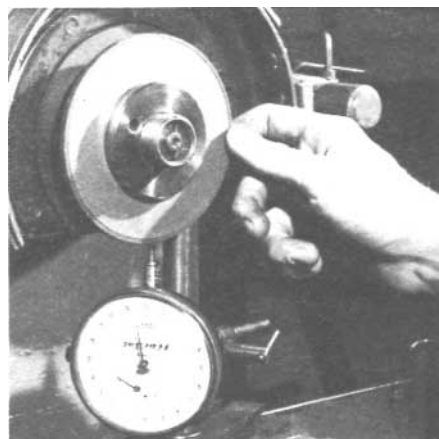


Figure 11 – Centrage d'une meule

5.8.3 Dressage

L'opération de dressage consiste d'une façon générale à donner à la meule la géométrie voulue en enlevant la matière excédentaire. Dans le cas de faux-rond, il s'agit d'enlever les zones en surépaisseur à la périphérie ; dans le cas de voile, les zones de surépaisseur sur le côté de la meule.

Dans les deux cas, cela peut être réalisé par usinage à l'aide d'une meule classique en carbure de silicium montée sur broche, mais plus fréquemment sur un dresseur à frein, constitué d'une meule sans moteur d'entraînement, ralenti par un frein centrifuge (figure 12). Cette méthode est applicable aussi bien aux meules diamant que CBN ; ces dernières peuvent également, en raison de la dureté supérieure du diamant, être dressées à l'aide de dresseurs diamant multi-pointes fixés dans un montage sur la table de la machine.

Remarque : centrage et dressage d'une meule en superabrasif sont deux opérations longues, surtout lorsqu'il s'agit de grandes meules. Aussi est-il recommandé, s'il y a nécessité de libérer la machine de la meule en place, de laisser celle-ci serrée entre ses flasques et de démonter l'ensemble. La méthode nécessite l'investissement d'au moins deux jeux de flasques, mais les économies de temps et de matière superabrasive l'amortissent très rapidement.

5.8.4 Avivage

Le dressage permet d'éliminer les défauts géométriques d'une meule en superabrasif mais, contrairement à ce qui se passe avec une meule classique, ne lui donne aucun pouvoir de coupe. Aussi est-il nécessaire de procéder à une opération supplémentaire, appelée avivage.

Cette opération consiste à mettre les grains d'abrasif en relief par élimination partielle du liant (figure 13). Elle est réalisée à l'aide d'un bâton en abrasif classique (carbure de silicium pour les meules diamant, alumine à 99 % pour les meules CBN), tenu manuellement (figure 14).

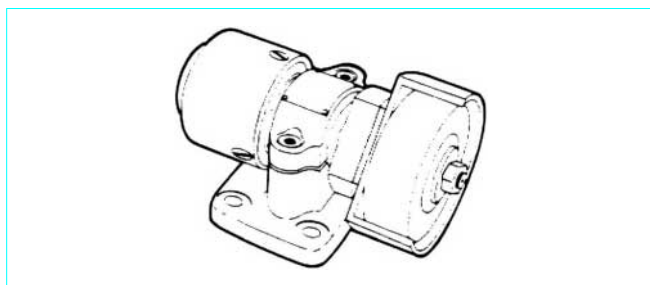


Figure 12 – Dresseur à frein

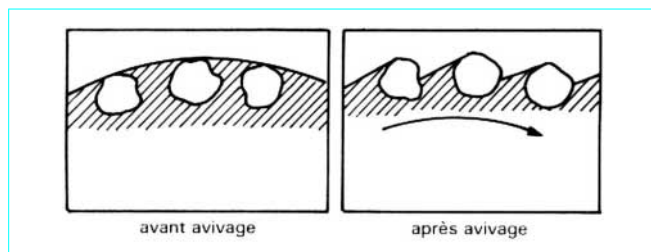


Figure 13 – Meule avant et après avivage

Contrairement au dressage, l'avivage n'entraîne aucune usure de la meule ; c'est pourquoi il est effectué aussi bien avant la première mise en service qu'après un certain temps d'utilisation, chaque fois que la meule tend à perdre une partie de son pouvoir de coupe.

Remarque : même si l'on est amené à couper l'arrosage pendant l'opération d'avivage pour éviter les projections, il est recommandé de tremper le bâton dans le liquide d'arrosage, à la fois pour éliminer la poussière et pour permettre la formation d'une pâte abrasive qui améliore les résultats.

5.9 Choix d'une spécification

La démarche est identique à celle utilisée pour les meules classiques.

5.9.1 Choix de l'abrasif

■ **Rappel :**

- diamant : usinage des carbures et matériaux durs non métalliques CBN : usinage des aciers alliés et alliages de dureté > 55 HRC ;
- grain enrobé : meules agglomérant résine ;
- grain non enrobé : meules agglomérants vitrifié ou métallique.

Le tableau 4 indique les domaines d'emploi préférentiels des superabrasifs.

5.9.2 Choix de la grosseur de grain

Il y a lieu de noter qu'à grosseur de grain identique, une meule en superabrasif donnera un état de surface plus grossier qu'une meule en abrasif classique : leur meilleur pouvoir de coupe permet aux grains de superabrasif de pénétrer plus profondément dans le matériau usiné.

On sera donc amené à choisir un grain plus fin pour obtenir un état de surface donné. Le tableau 5 donne quelques ordres de grandeur.

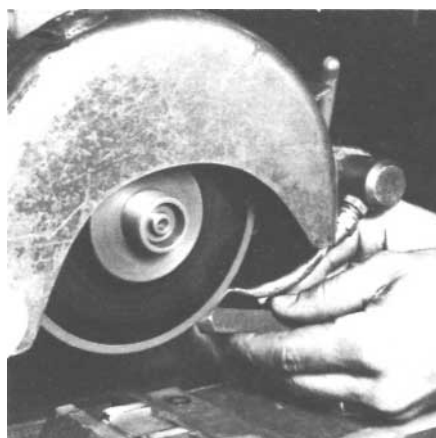


Figure 14 – Opération d'avivage

5.9.3 Choix de la concentration

Le tableau 6 indique les concentrations usuellement rencontrées pour quelques opérations courantes.

5.9.4 Choix de l'agglomérant

Il est impossible de donner des conseils précis quant au choix d'un agglomérant sans entrer dans la *cuisine* propre à chaque fabricant. Tout au plus est-il possible d'indiquer les grandes lignes d'un choix par **nature de liant**, en combinaison avec les principales variétés d'abrasif. C'est ce qui a été tenté dans le tableau 2.

■ Cas particulier des produits à dépôt électrolytique

Le procédé est intéressant à plus d'un point de vue :
— il permet de réaliser des formes compliquées sans entraîner l'acquisition d'un moule de pressage souvent très onéreux ;

— le produit fini est moins cher à l'achat que celui à concrétion comparable : il n'y a qu'une seule couche d'abrasif et le procédé de fabrication est moins coûteux ;
— les produits possèdent un excellent pouvoir de coupe au départ et ne nécessitent pas d'avivage.

En contrepartie, les produits à dépôt électrolytique :

- ont une durée de vie beaucoup plus courte que celle des produits à concrétion (une seule couche de grains) ;
- ont un comportement moins constant :
 - le pouvoir de coupe diminue au fur et à mesure de l'utilisation car il n'y a pas renouvellement des grains,
 - la rugosité diminue, pour la même raison.

C'est ce qui limite le domaine d'emploi de ces produits, que l'on rencontre rarement dans les opérations de production, excepté dans les opérations d'usinage ou de tronçonnage de matériaux de faible résistance à l'abrasion qui encrassent les meules à concrétion : PVC, résine époxyde, fibre de verre, plastique dur, acier inoxydable, plastique renforcé, etc.

Tableau 4 – Choix d'un superabrasif

Abrasif	Propriétés	Domaines d'emploi
Diamant (fabriqué)	Grain enrobé de nickel, forme irrégulière, forte friabilité	Meules résine, usinage des carbures seuls ou avec moins de 20 % d'acier, et des aciers à matrice type Z 200 C12
Diamant (fabriqué)	Grain enrobé de cuivre, forme irrégulière, forte friabilité	Meules résine, affûtage à sec des carbures
Diamant (fabriqué)	Grain enrobé de nickel, forme régulière, friabilité moyenne	Meules résine, usinage des carbures avec plus de 20 % d'acier, et des aciers avec C > 1,6 %, autres éléments < 1 %
Diamant (fabriqué)	Non enrobé, forme régulière, faible friabilité	Meules métalliques à concrétion, usinage des céramiques, du verre, tronçonnage des matériaux, affûtage manuel des carbures, sous arrosage impératif
Diamant (naturel)	Forme et résistance irrégulières	Meules à dépôt électrolytique, usinage des métaux non ferreux et des matériaux non métalliques
CBN	Blindé au nickel, arêtes très vives	Meules résine, usinage des aciers rapides à haute teneur en W-V-Mo, des aciers surcarburés, des aciers traités > 55 HRC, des alliages de type alnico ou ticonal
CBN	Non enrobé, monocristallin	Meules agglomérant vitrifié, tous aciers et alliages > 55 HRC, alliages réfractaires de type Inconel ou Waspaloy
CBN	Non enrobé, arêtes très vives	Toutes meules à liant métallique, usinage avec tenue de forme

Tableau 5 – Choix de la grosseur de grain

Rugosité R_a(µm)		1	0,5	0,25	0,1
Grosueur de grain	Superabrasif (FEPA)	126	76 à 54	64 à 16	6,3
	Abrasif classique (MESH-FEPA)	46 à 60	80 à 120	220 à 320	500 à 600
Opération : rectification		commerciale	soignée	fine	poli miroir

Tableau 6 – Choix de la concentration

Opération	rectification intérieure	rectification extérieure	rectification plane	affûtage
Diamant ou CBN résine	100	75	50	50 à 75
CBN vitrifié	175 à 200	150	100	100 à 150

Le procédé est également bien adapté à l’usinage et à l’affûtage des carbures (diamant) et des aciers de dureté supérieure ou égale à 55 HRC (CBN) lorsque :

- le prix d’achat est un élément déterminant (meules d’utilisation épisodique, produits risquant facilement d’être égarés ou détériorés, tels que limes d’ébavurage ou de retouche d’outils) ;
- les dimensions ou la forme sont incompatibles avec le procédé de fabrication des meules à concrétion : meules sur tige de très petit diamètre (moins de 3 mm), meules à profils très profonds, etc.

6. Abrasifs conventionnels appliqués

6.1 Constitution

Un abrasif appliqué est toujours constitué de trois éléments (figure 15) : un **support** S, plus ou moins souple, sur lequel est disposée une couche d’**abrasif** A, solidaire du support grâce à deux couches de **liant** L.

6.1.1 Supports

Six types de support sont d’utilisation courante : papier, toile, combinaison papier-toile, fibre, non tissé et mailles.

6.1.1.1 Support papier

La masse surfacique d’un papier caractérise sa **force**, elle-même symbolisée par une lettre.

Force	Masse surfacique	Caractéristiques	Utilisations
A	70 à 90 g/m ²	flexible	finition manuelle, travail à sec, à l’eau
B	90 à 105 g/m ²		
C	120 g/m ²	souple et résistant	travail manuel
D	150 g/m ²		
E	220 à 230 g/m ²	résistant	bandes et disques
F	250 g/m ²	très résistant	

6.1.1.2 Support toile

Comme pour les papiers, les différentes qualités de toile sont symbolisées par des lettres :

Toile	Matériau	Caractéristiques	Utilisations
J	coton	souple et flexible	Travail des formes incurvées
X	coton ou polyester	lourde, résistante	applications sévères
Y	polyester	très lourde et résistante	applications sévères sous arrosage
W	coton avec trame synthétique	bonne résistance en travers	spéciales pour bandes larges dites <i>sectionnelles</i>

Pour être utilisées comme support, les toiles doivent être **apprêtées**, c’est-à-dire qu’elles subissent un ou plusieurs traitements destinés à renforcer leur tenue et leur résistance à l’allongement, ainsi qu’à leur conférer une certaine imperméabilité.

6.1.1.3 Support combinaison

Ce type de support est obtenu par collage d’une toile **J** ou **W** sur un papier résistant de type **E**. On obtient ainsi un support qui présente une bonne résistance au déchirement et à l’allongement, et qui est utilisé pour la fabrication de **rouleaux de grande largeur**, de **bandes sectionnelles** ou de **disques**.

6.1.1.4 Support fibre

Ce support est constitué d’une fibre vulcanisée possédant une bonne résistance à la flexion, à la fatigue et aux chocs. Il est utilisé pour la fabrication de **disques** destinés au polissage (disques souples : épaisseur 0,6 mm) ou à l’ébarbage (disques rigides : épaisseur 0,75 mm) sur machines portatives.

6.1.1.5 Support non tissé

Comme son nom l’indique, ce type de support est constitué d’un agglomérat de fibres textiles non tissées. Il possède une bonne résistance à l’humidité et au déchirement, et accepte les travaux à sec, à l’eau ou à l’huile. On l’utilise pour la fabrication de **feuilles** ou de **rouleaux**.

6.1.1.6 Support mailles

C’est une sorte de résille présentant des mailles d’environ 1,5 mm et constituée de fibres textiles collées. On utilise ce type de support pour la réalisation de **disques** destinés au ponçage des apprêts et de la peinture dans l’industrie automobile, et au polissage des cordons de soudure.

6.1.2 Abrasifs

Ils sont de deux origines :

- naturels (§ 2.1) : émeri, quartz, silex, grenat, oxyde de fer ; les abrasifs naturels sont de nos jours réservés à la fabrication de produits destinés à l’artisanat ou au bricolage ;
- fabriqués (§ 2.2) : alumine cristallisée, carbure de silicium, oxyde de zirconium ; plus coûteux que les abrasifs naturels, ce sont les seuls servant à la fabrication des produits techniques utilisés dans l’industrie.

6.1.2.1 Grosseur de grain

Plusieurs échelles (figure 16) servent encore à la définition de la grosseur des grains d’abrasif entrant dans la constitution d’un abrasif appliqué.

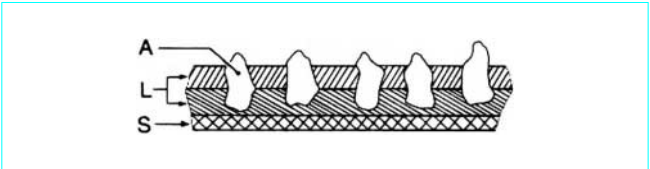


Figure 15 – Constitution d’un abrasif appliqué

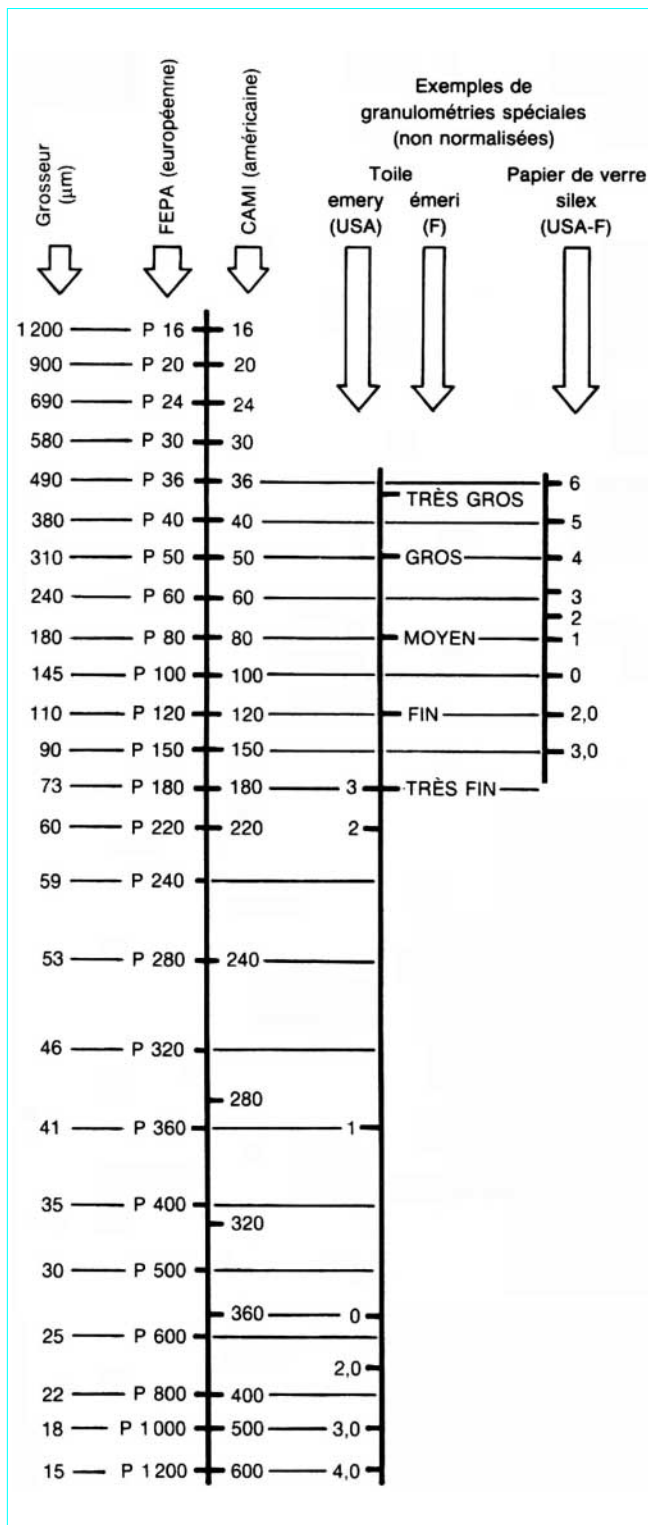


Figure 16 - Échelles granulométriques

L'échelle FEPA, adoptée en Europe, est la même que celle utilisée pour le classement des grains entrant dans la composition des abrasifs agglomérés (§ 1.4). La désignation de la grosseur de grain diffère toutefois légèrement, en ce sens que l'énoncé du nombre symbole est précédé de la lettre P (P 220 au lieu de 220). Elle s'étend du grain P 16 (1 200 µm) au grain P 1 200 (15 µm).

L'échelle CAMI est utilisée aux États-Unis et dans certains pays qui en sont commercialement proches. Identique à l'échelle FEPA pour les grains 220 et plus gros obtenus par tamisage, elle en diffère pour les grains 240 et plus fins obtenus par sédimentation. Elle s'étend du grain 16 (1 200 µm) au grain 600 (15 µm).

D'autres échelles, moins courantes, servent spécialement à la désignation de la grosseur des grains d'émeri, de silex et des autres abrasifs naturels.

6.1.2.2 Distribution des grains

Lors de la fabrication, la répartition des grains sur le support peut être plus ou moins serrée. Pratiquement, on distingue deux classes de répartition :

- la **distribution ouverte**, qui correspond à une surface couverte de grains allant de 30 à 60 % de la surface totale ; elle permet une meilleure évacuation des particules de matière usinée ; elle sera utilisée pour le travail de matériaux encrassants : plastiques, bois résineux, caoutchouc, alliages métalliques gras ;
- la **distribution fermée**, qui correspond à une surface théoriquement couverte à 100 % par les grains d'abrasif ; elle est celle qui présente le maximum d'outils de coupe. Elle sera préférée pour les opérations de gros enlèvement de matière sur des matériaux peu encrassants : la plupart des métaux, et en particulier tous les métaux ferreux.

6.1.2.3 Agrégats

Par constitution, un abrasif appliqué classique dispose d'une unique couche de grains. Lorsque cette couche est arrivée à usure, il faut jeter le produit et le remplacer par un produit neuf. Par ailleurs, au fur et à mesure de l'usure des grains, la rugosité produite sur la surface usinée diminue.

Dans le double but d'accroître la durée de vie du produit et d'obtenir une rugosité plus constante, certains fabricants ont mis au point un procédé qui permet de disposer de plus d'une couche de grains.

Il consiste à relier préalablement entre eux plusieurs grains par l'intermédiaire de piliers d'agglomérant, puis **distribuer ces grains agrégats sur le support encollé**.

Leur utilisation est encore limitée.

6.1.3 Liants

Ils peuvent être classés en deux grandes familles : colles naturelles et résines.

■ **Colles naturelles ou organiques** : ce sont des colles animales qui proviennent de peaux ou de tendons. Elles ont un bon pouvoir d'adhésion et de la souplesse, mais craignent l'humidité et les échauffements importants.

■ **Résines synthétiques** : ce sont des résines de type urée-formol (UF) ou phénol-formol (PF). Moins souples que les colles naturelles, elles ont par contre un très fort pouvoir d'adhésion, et ne craignent ni la chaleur ni l'humidité.

■ **Type d'encollage** : les grains sont fixés sur le support par deux couches de liant :

- la première couche permet de déposer le grain abrasif sur le support ; elle assure l'adhérence de base des grains ;
- la deuxième couche ancre les grains.

On peut avoir les trois combinaisons suivantes :

- colle naturelle + colle naturelle = encollage naturel ;
- colle naturelle + résine = encollage semi-résine ;
- résine + résine = encollage tout résine.

La désignation de ces trois types d'encollage n'est pas normalisée et fait l'objet d'une terminologie propre à chaque fabricant.

6.2 Fabrication

Elle comporte quatre étapes principales : préparation des supports, passage en machine de fabrication, traitements des produits et réalisation du produit fini, plus des contrôles à divers stades de la fabrication.

6.2.1 Préparation des supports papier et toile

■ **Support papier** : les papiers destinés à être utilisés en présence d'eau sont imprégnés de latex. On parle alors de papiers imperméables. Seuls les papiers de force A, B, C peuvent être ainsi imperméabilisés. Théoriquement, les papiers destinés à la fabrication de produits travaillant à sec ne nécessitent aucune préparation particulière. Toutefois l'utilisation de papiers « latex » tend à se généraliser en raison de leur meilleure stabilité dimensionnelle.

■ **Support toile** : la matière première est une toile écrue, qui est soumise à des traitements de teinture et d'apprêtage.

Les toiles destinées à être utilisées sous arrosage (toile Y) seront en outre imperméabilisées par imprégnation de résine.

6.2.2 Passage en machine de fabrication

Les produits abrasifs appliqués sont élaborés sous la forme de très grands rouleaux (*jumbos*) dont la largeur peut excéder 1 500 mm et la longueur plusieurs centaines de mètres.

Les différentes étapes de cette fabrication sont conduites en continu :

- impression au dos du produit de ses caractéristiques ;
- premier encollage ;
- distribution des grains ;
- séchage (ou cuisson) dans un premier four ;
- deuxième encollage ;
- séchage (cuisson) dans un deuxième four ;
- bobinage sous forme de *jumbos*.

6.2.3 Traitements des produits

■ **Flexage** : à la sortie de la machine de fabrication, les supports ont été rigidifiés par le séchage des deux couches de liant.

L'opération de flexage consiste à faire passer le produit (*jumbo*) entre les deux cylindres d'un laminoir de façon à réaliser un système de craquelures dans ce liant. Elle est destinée :

- d'une part, à donner au produit la souplesse adaptée au type d'opération pour laquelle il est prévu : selon les cas, le produit pourra subir une, deux, voire trois opérations successives de flexage, qui donneront un réseau de craquelures à une, deux ou trois directions préférentielles ;
- d'autre part, à conférer au produit une action de coupe constante, l'affaiblissement du pouvoir adhésif du liant, lié à sa fissuration, favorisant l'élimination des grains émoussés.

■ **Traitement anti-encrassant** : il consiste à déposer une couche de stéarate de zinc sur les produits destinés à poncer des matériaux particulièrement encrassants, tels les apprêts et les vernis.

6.2.4 Réalisation du produit fini

Cette réalisation consiste à extraire du *jumbo* de la spécification choisie, par une série d'opérations de découpe, formage, jointage, etc., le produit dans la forme et les dimensions requises.

6.2.5 Contrôles

Au passage ou en sortie de machine : contrôle de la répartition des grains (espacement et homogénéité) et de leur encollage.

En cours et en fin de cycle : contrôles dimensionnels et contrôle de la résistance des joints (pour les bandes).

6.3 Formes, dimensions et principes d'utilisation

Sans atteindre l'infinie variété des abrasifs agglomérés, les abrasifs appliqués n'en présentent pas moins une gamme de formes et de dimensions très étendue selon leur utilisation.

Les dimensions d'un abrasif appliqué doivent toujours être exprimées dans un ordre et des unités définis, qui sont rappelés pour chacune des principales formes de la gamme.

6.3.1 Feuilles et garnitures

Désignation : largeur (mm) × longueur (mm).

Ce sont des rectangles, plus rarement des parallélogrammes, utilisés à des travaux d'égrenage et de ponçage des apprêts, des peintures et des vernis, au dérouillage, planage, polissage des tôles et des surfaces métalliques, au ponçage du bois, soit manuellement en travail à sec ou à l'eau (**feuilles**), soit fixés sur des ponceuses portatives vibrantes, des ponceuses à parquet, des machines à cylindres (**garnitures**).

Sur support papier, papier imperméabilisé ou toile, encollage naturel, semi-résine ou tout résine, toutes les variétés d'abrasif dans les grains P 36 à 1 200 sont employées pour la fabrication des feuilles.

Dimensions usuelles.

- 93 × 230, 110 × 270, 115 × 230 et 115 × 280 pour les garnitures de ponceuses portatives vibrantes ;
- 203 × 680 pour les parallélogrammes de ponceuses à parquet ;
- 180 × 280 à 230 × 390 pour les feuilles utilisées manuellement ;
- de 350 à 750 × 900 ou plus pour les rectangles utilisés sur marbre.

6.3.2 Rouleaux

Désignation : largeur (mm) × longueur (mm).

D'une largeur comprise entre 25 mm et 610 mm, les rouleaux sont un réservoir duquel l'utilisateur peut puiser par une opération de découpe des morceaux ou des garnitures de la longueur adaptée à l'utilisation qu'il veut en faire, et cela jusqu'à épuisement de la longueur totale du rouleau, généralement 25 ou 50 m.

6.3.3 Bandes

Désignation : largeur (mm) × longueur (mm).

Une bande est une portion de rouleau d'une longueur déterminée dont les deux extrémités ont été raccordées par le fabricant suivant un procédé appelé *jointage*.

Suivant la nature du support, la grosseur de grain, les dimensions et l'utilisation prévue de la bande, on emploie trois types principaux de joints (figure 17) :

- les joints à **recouvrement**, qui engendrent une certaine surépaisseur, en général admissible pour les travaux en brin libre ou sur roue de contact tendre avec des grains fins ou moyens ;
- les joints à **recouvrement meulé**, où les grains faisant surépaisseur sont éliminés par une opération de meulage ; l'inconvénient du procédé est une certaine fragilisation du joint, qui n'est plus protégé par la couche abrasive ;
- les joints **bord à bord** avec film plastique genre *Mylar*, qui n'entraînent pratiquement aucune modification d'épaisseur.

Les joints sans surépaisseur sont les seuls permettant de travailler sur des machines à support dur sans marquer la pièce.

Les bandes sont ordinairement classées en étroites (§ 6.3.3.1) ou larges (§ 6.3.3.2).

6.3.3.1 Bandes étroites

Il s'agit de bandes dont la largeur n'excède pas 355 mm. Leur longueur varie de :

- 500 à 1 000 mm pour les ponceuses portatives à platine ;
- 1 500 à 4 000 mm pour les machines fixes travaillant le métal ;
- 6 000 à 9 000 mm pour les machines à bois (bandes longues).

Elles sont utilisées sur des machines assez simples dérivées des trois principes de travail suivants.

6.3.3.1.1 Travail sur roue de contact

La roue de contact sert de support à la bande abrasive. Elle peut être réalisée en caoutchouc, toile, feutre, cuir, acier ou aluminium. Environ 75 % des roues de contact sont en caoutchouc, rainurées ou lisses.

Pour les opérations d'ébauche, où l'objectif est un enlèvement important de matière dans un minimum de temps, on choisira toujours une roue entraînant la plus faible surface de contact possible afin d'augmenter la pression unitaire de chaque grain. La préférence ira donc vers une roue de faible diamètre en matériau pas ou peu déformable : acier, aluminium ou caoutchouc de dureté ≥ 80 points Shore. La présence de rainures, en créant une succession d'angles saillants et rentrants, augmentera encore l'agressivité de la bande et, de plus, favorisera l'élimination des copeaux.

Pour les opérations de finition, par contre, où le but recherché est un bel état de surface, on préférera une roue de grand diamètre, lisse et déformable : caoutchouc de dureté ≤ 60 points Shore, ou toiles de coton empilées et cousues pour les pièces courbes.

La figure 18 donne quelques exemples de réalisation de machines à roue de contact pour bandes étroites :

- touret de polissage dit **backstand** : la roue de contact RC est également roue motrice. Le positionnement de la bande est assuré par le bombement de la poulie de tension PT ;
- machine type **Bader** : la roue de contact n'est plus motrice, ce qui permet de mieux dégager le poste de travail, de changer rapidement de roue de contact tout en conservant une vitesse de coupe constante, quel que soit le diamètre de cette roue ;
- machine à **convoyeur** : les pièces à surfaçer sont amenées sous la tête abrasive TA par un tapis convoyeur C qui peut être un tapis en caoutchouc ou une bande abrasive ;
- machine *centerless*, destinée en général au polissage des tubes. L'entraînement des pièces et la pression de travail sont assurés par une bande ou un galet en caoutchouc.

6.3.3.1.2 Travail sur support plan

— Machine à platine dite **tank**. Utilisée pour des travaux de dressage et de polissage, elle est équipée, non pas d'une roue de contact, mais d'une platine généralement en acier. Elle peut se présenter soit en position verticale (figure 19), soit en position horizontale. Afin d'éviter que son frottement sur la platine ne provoque un échauffement excessif de la bande, il est parfois nécessaire de travailler sous arrosage avec un mélange d'eau et d'huile soluble. Les bandes utilisées doivent dans ce cas être du type « imperméable ».

— Machine à **patin et bande longue** (figure 19). Ce type de machine est utilisé pour le ponçage ou le polissage des surfaces planes. La bande abrasive est mise en contact avec la pièce à surfaçer grâce à l'action d'un patin recouvert de feutre (ou de toile graphitée pour faciliter le glissement), dont la position et la pression sur le dos de la bande sont données par l'intermédiaire d'un levier.

6.3.3.1.3 Travail en brin libre

Il n'y a plus aucune espèce de support (figure 20). C'est la tension de la bande qui assure son contact avec la pièce. La pression étant faible, le procédé ne permet pas l'enlèvement de quantités importantes de matière et est réservé à des travaux de finition.

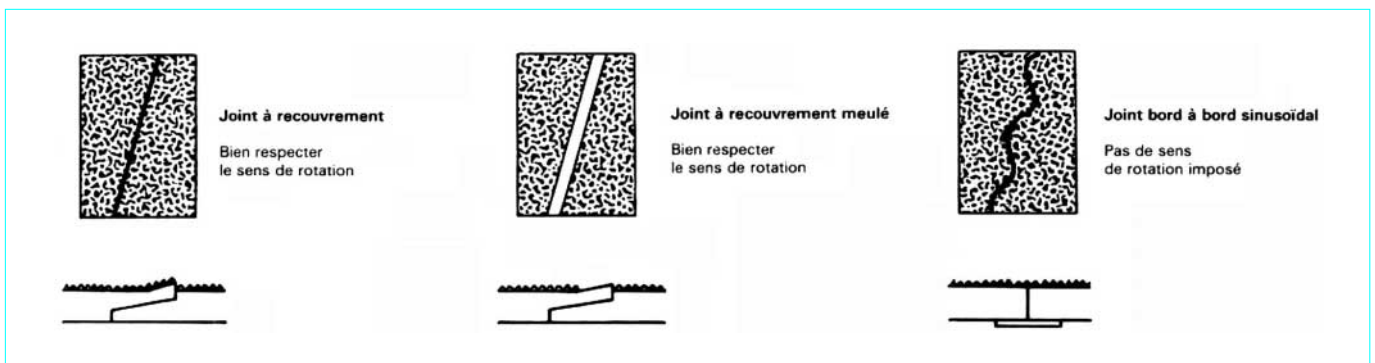


Figure 17 – Joints des bandes abrasives

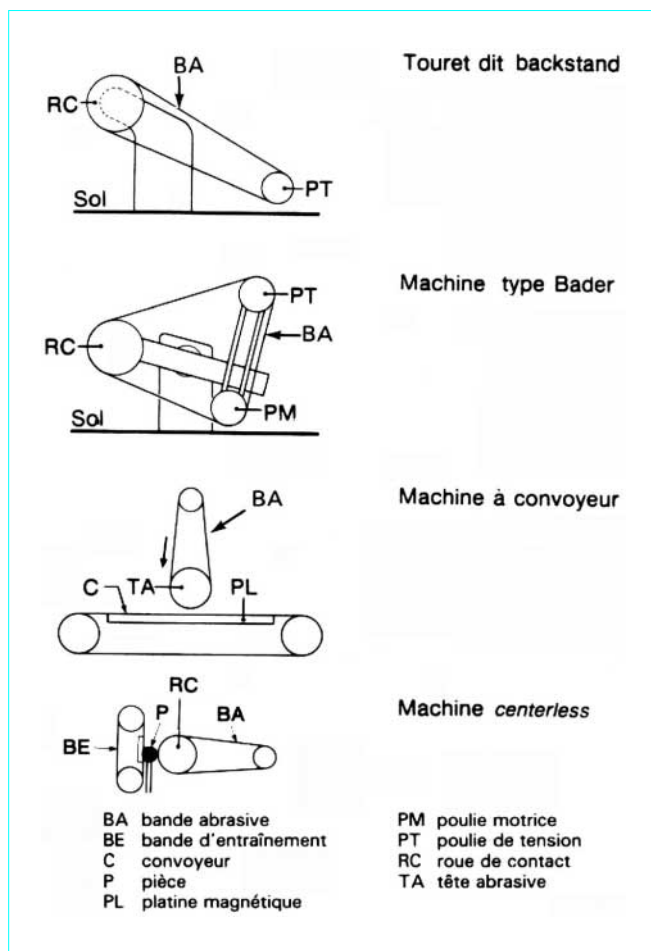


Figure 18 – Travail sur roue de contact

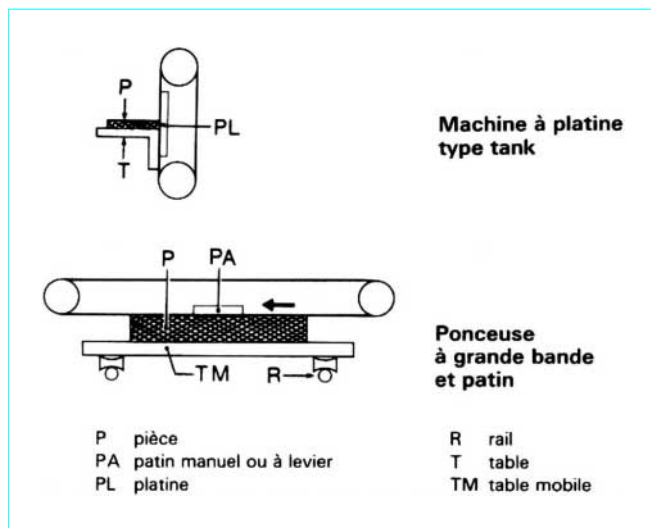


Figure 19 – Travail sur support plan

6.3.3.2 Bandes larges

Cette dénomination s'applique à des bandes dont la largeur excède 355 mm.

Il convient d'en distinguer deux types, suivant leur largeur et le procédé utilisé pour leur réalisation :

- les **bandes à un seul joint**, dénommées simplement **bandes larges**, dont la largeur est comprise entre 356 mm et la largeur utile de fabrication, c'est-à-dire celle du *jumbo* après suppression de ses rives ; suivant les fabricants et la nature du produit, cette largeur utile peut varier de 1 300 à 1 550 mm ;
- les **bandes à plusieurs joints**, dites **bandes sectionnelles**, dont la largeur excède la largeur utile de fabrication (figure 21). Théoriquement il n'y a pas de limite supérieure de largeur pour la réalisation de bandes sectionnelles. Dans la pratique, toutefois, la largeur maximale est limitée à 3 000 mm, car il n'existe pas encore de machine utilisatrice de capacité supérieure.

Qu'elle soit de l'un ou l'autre type, une bande large n'est plus centrée (on dit aussi *dégauchie*) sur la machine utilisatrice grâce au bombé d'un galet de tension comme pour les bandes étroites, mais au moyen d'un cylindre oscillant actionné par un vérin pneumatique. La détection de la position de la bande est assurée par un système mécanique, pneumatique ou photoélectrique.

Les bandes larges sont utilisées sur des machines de production, de plus en plus sophistiquées, qui toutes découlent des deux principes de travail suivants :

- le **travail sur cylindre de contact**, où l'élément de contact n'est plus une roue mais un cylindre CC (figure 22) dont la longueur varie de 600 à 3 000 mm selon les machines. Ce cylindre est parfois en acier, plus généralement en caoutchouc rainuré de dureté adaptée au travail effectué.

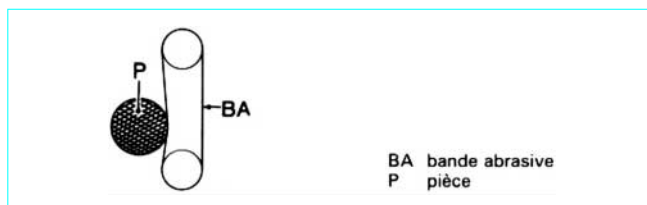


Figure 20 – Travail en brin libre

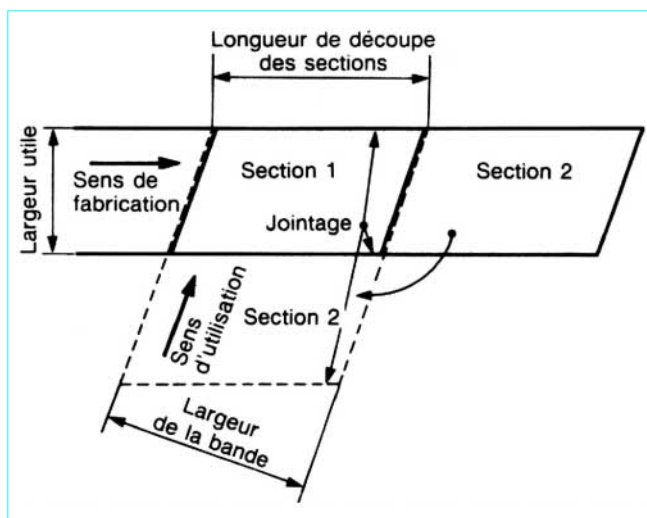


Figure 21 – Construction d'une bande sectionnelle

Le cylindre de tension et de centrage oscille axialement et imprime à la bande un mouvement latéral de va-et-vient, d'une amplitude de l'ordre de 20 mm, qui permet de *croiser* les sillons d'usinage provoqués par les grains d'abrasif et d'obtenir ainsi un meilleur aspect de surface. L'entraînement des pièces P est assuré par un tapis convoyeur TC, parfois remplacé par des rouleaux d'entraînement.

Ce type de machine est utilisé pour le polissage des tôles et pour le ponçage des panneaux de bois, lattés et contreplaqués, ou des panneaux de particules ;

— le **travail sur poutre** : mis au point pour des travaux de finition sur bois, c'est une variante du modèle précédent, dans laquelle le cylindre de contact est remplacé par une poutre métallique, d'une longueur égale à la largeur de la bande et d'une largeur voisine de 100 mm.

Le fait de remplacer une surface courbe (cylindre) par une surface plane (poutre) augmente la surface de contact bande-pièce, diminue la pression unitaire de chaque grain et permet donc d'obtenir un meilleur fini. De plus, la poutre est recouverte d'une bande de feutre pour donner de la souplesse, et de toile graphitée pour faciliter le glissement.

6.3.4 Disques

Désignation : diamètre (mm) × alésage (mm).

Deux types de machines peuvent être équipées de disques abrasifs.

6.3.4.1 Machines portatives dites disquieuses

Ces machines à renvoi d'angle, électriques ou pneumatiques, sont équipées d'un plateau tournant sur lequel est fixé le disque abrasif. La vitesse périphérique est en général comprise entre 40 et 60 m/s.

Pour les opérations d'ébauche ou de demi-finition, on utilise des plateaux rigides ou semi-rigides, généralement en fibre, sur lesquels sont montés des disques avec alésage. Pour les opérations de finition, on préfère des plateaux souples, souvent en mousse de dureté comprise entre 25 et 40 points Shore, sur lesquels sont fixés des disques sans alésage, autocollants ou autoagrippants.

Sur support papier, combinaison, fibre ou maille (toile résille), les disques sont utilisés dans toutes les grosseurs de grain des abrasifs fabriqués. Suivant le type de machine, la gamme des diamètres est échelonnée de :

- 100 à 235 mm pour les disques avec alésage ;
- 76 à 185 mm pour les disques sans alésage.

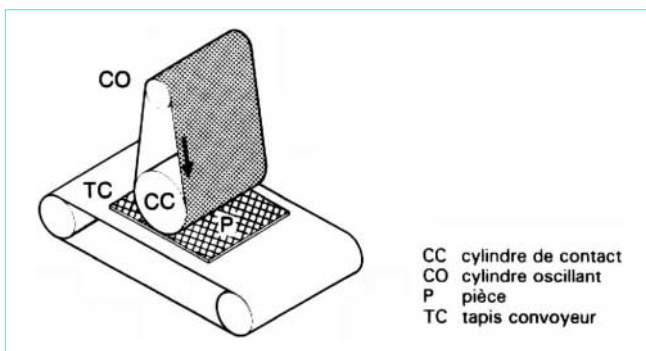


Figure 22 – Machine à large bande. Travail sur cylindre de contact

6.3.4.2 Machines à plateau lapidaire

Elles sont composées d'un plateau circulaire en acier, généralement vertical, sur lequel le disque abrasif est collé, et d'un support sur lequel la pièce à usiner, tenue à la main ou dans un montage, est appuyée (figure 23).

La vitesse périphérique du disque est de l'ordre de 35 m/s. Les diamètres s'échelonnent de 200 à 350 mm.

6.3.5 Formes spéciales

6.3.5.1 Roues à lamelles

Désignation : diamètre (mm) × épaisseur (mm) × alésage (mm).

Constituées de lamelles de toile abrasive disposées radialement de façon à réaliser une roue monobloc, ces roues à lamelles permettent d'effectuer les opérations les plus diverses :

- polissage de moules, de profilés, satinage de tôles, ébavurages ;
- ponçage de moulures en bois ;
- prépolissage des biseaux taillés en cristallerie, etc.

Les plus petites, du diamètre 30 au diamètre 80, sont fixées sur une tige qui sera prise en mandrin ; au-delà, les roues à lamelles sont montées entre flasques (figure 24).

Elles sont utilisées soit sur machine portative (Ø 165 et moins), soit sur touret. Leur vitesse maximale d'emploi est de 40 m/s, mais les vitesses de travail optimales se situent entre la moitié (pour le bois) et les deux tiers (pour les métaux) de cette limite.

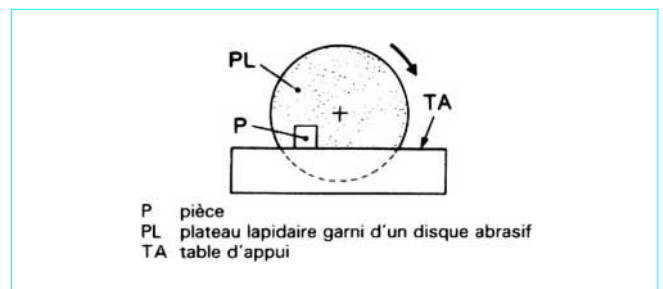


Figure 23 – Machine à plateau lapidaire

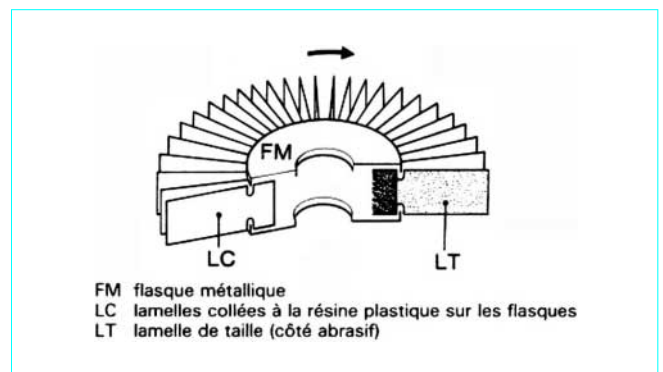


Figure 24 – Roue à lamelles

6.3.5.2 Autres formes spéciales

Elles sont adaptées à des conditions de travail particulières, telles que le polissage de zones d'accès difficile :

- cônes : ce sont des cônes de toile abrasive montés sur des mandrins en caoutchouc ;
- spirabandes : ce sont des petits manchons cylindriques montés sur des mandrins expansibles en caoutchouc ;
- spirapointes et crayons (*pencils*) : de dimensions plus faibles que les précédents, ils sont montés sur des tiges en acier.

Cônes et spirabandes ont des diamètres qui s'échelonnent de 20 à 60 mm.

Ces formes spéciales sont toujours utilisées sur machine portable ou sur flexible.

6.4 Anomalies d'usure au travail

Lorsqu'un abrasif appliqué est bien adapté et bien utilisé, les grains s'usent, se fracturent et s'éliminent de façon régulière jusqu'à usure complète du produit.

En dehors de ce cas, normal mais non permanent, on constate des types d'usure anormale auxquels il est souvent possible de remédier. Les anomalies les plus fréquentes sont les suivantes.

6.4.1 Glaçage

Un produit abrasif *glacé* après un certain temps d'utilisation se caractérise par un aspect anormalement lisse et brillant : cet aspect est dû au fait qu'au lieu de couper franchement, les grains ont tendance à glisser sur la pièce à usiner, s'émoussent et finissent par présenter une facette plane sur leur sommet. Cette anomalie engendre une perte progressive du pouvoir de coupe de l'abrasif et un échauffement anormal de la pièce.

L'utilisateur dispose d'un certain nombre de remèdes à ce défaut :

- augmenter la pression de travail ;
- utiliser une roue de contact plus dure ;
- utiliser une roue de contact plus petite ;
- utiliser une roue avec des rainures plus larges ;
- diminuer la vitesse de travail.

Si ces remèdes ne suffisent pas (ou ne sont pas tous applicables), il convient de s'orienter vers un produit dont le liant a un pouvoir d'adhésion plus faible : semi-résine au lieu de résine par exemple.

6.4.2 Encrassement

Des particules du matériau usiné se logent entre les grains d'abrasif, dont ils finissent par recouvrir les arêtes coupantes.

Remèdes :

- utiliser un produit à distribution ouverte (pour le bois) ;
- utiliser un produit traité anti-encrassement (apprêts et vernis) ;
- graisser la bande (métaux tendres : aluminium par exemple) ;
- utiliser une roue de contact plus petite ;
- utiliser une roue avec des rainures plus larges.

6.4.3 Déchaussement des grains

Alors que les grains n'ont pas accompli tout leur travail, ils sont éliminés soit seuls par arrachement hors du liant, soit avec des particules de liant décollées du support (on voit alors apparaître la trame de celui-ci). Les causes possibles de ce phénomène sont multiples :

- conditions de travail trop dures ;
- adhésion insuffisante des grains sur le support ;
- fragilisation du liant par un flexage trop poussé.

Les remèdes sont exactement l'inverse de ceux utilisés pour éliminer le phénomène de glaçage :

- diminuer la pression de travail ;
- utiliser une roue de contact plus tendre ;
- utiliser une roue de contact plus grande ;
- utiliser une roue avec des rainures plus petites ;
- augmenter la vitesse de travail.

En cas de persistance de l'anomalie, s'orienter vers un produit dont le liant a un pouvoir d'adhésion plus fort : résine au lieu de semi-résine.

6.5 Conditions de stockage

De mauvaises conditions de stockage peuvent être à l'origine :

- d'une altération des liants ;
- d'une déformation du produit ;
- d'une fragilisation du produit, pouvant entraîner une rupture en cours d'utilisation.

Un abrasif appliqué se comporte comme un bilame lorsque les conditions hygrométriques varient. En effet, alors que la partie liant + abrasif reste constante en dimensions lorsque le taux d'humidité croît, le support (toile et surtout papier) se dilate. Et inversement... Seuls les abrasifs appliqués sur support fibre échappent à ce phénomène.

Par ailleurs, il faut noter qu'un support papier trop sec devient cassant.

D'une façon générale, on peut formuler les **recommandations** suivantes :

- stocker les produits dans un local où les variations de température et d'humidité sont faibles. Les conditions optimales sont une température de 15 à 20 °C et une humidité de 40 à 50 % ;
- conserver les produits dans leur emballage d'origine :
 - légèrement surélevés et séparés les uns des autres pour assurer une bonne ventilation,
 - à l'écart des fenêtres ouvertes,
 - à l'abri des rayons du soleil,
 - éloignés de toute conduite importante d'eau froide ou chaude ;
- si l'ambiance de l'atelier est très différente de celle du lieu de stockage, laisser les produits dans leur emballage se stabiliser 1 à 2 jours à proximité de la machine utilisatrice ;
- débarrasser les produits au dernier moment pour éviter les cassures, pliures ou déchirures ;
- utiliser systématiquement le produit le plus ancien.

Remarque : pour stocker une bande ayant déjà servi, la laisser reposer sur une potence dans un local tempéré.

7. Abrasifs incorporés

7.1 Constitution

On appelle *abrasif incorporé* un volume constitué de fibres textiles non tissées dans lequel sont répartis et fixés des grains d'abrasif.

Comme les abrasifs appliqués, les abrasifs incorporés sont donc constitués d'un support, de grains d'abrasif et d'un liant. C'est la notion de **volume** par opposition à celle de **surface** qui les différencie et fait des abrasifs incorporés un produit intermédiaire entre les abrasifs agglomérés et les abrasifs appliqués.

■ **Supports** : les supports sont constitués de fibres de nylon disposées en nappes et retenues entre elles par un liant à base de latex. Les fibres, d'une longueur de 20 à 30 mm, peuvent être de deux grosseurs : 15 deniers ou 60 deniers (1 denier représente la masse en grammes de 9 000 m de fibre). Les nappes sont réalisées dans des épaisseurs allant de 5 à 30 mm.

■ **Abrasifs** : en théorie, tous les abrasifs peuvent être utilisés. Pratiquement, seuls l'alumine cristallisée et le carbure de silicium noir sont employés. La gamme des grosseurs de grain s'étend du grain 120 au grain 600.

■ **Liants** : servant à la fois à fixer les grains d'abrasif dans la nappe-support et à donner de la résistance à cette dernière, les liants utilisés sont des résines synthétiques.

7.2 Fabrication

Les grains abrasifs et la résine sont injectés dans la nappe-support déjà formée par calandrage.

À ce stade, le produit suit deux circuits différents suivant son utilisation ultérieure :

- produit en nappe : le produit est séché dans un four et bobiné à la sortie sous forme de rouleaux après polymérisation de la résine ;
- roues et cylindres : le produit est enroulé autour d'un moyeu immédiatement après injection des grains et de la résine, puis séché au four pour polymérisation du liant.

7.3 Formes et principes d'utilisation

La constitution des abrasifs incorporés leur confère un pouvoir de coupe limité et les rend inaptes à de gros enlèvements de matière. Aussi sont-ils réservés à des travaux de finition et d'uniformisation d'aspect de surface. Il s'agit là d'un domaine d'application très étendu et les abrasifs incorporés industriels sont promis à un développement considérable dans leurs différentes formes d'utilisation.

■ **Tampons, feuilles, rectangles** : obtenues à partir du produit en nappe, toutes ces formes sont utilisées pour des travaux manuels, pour des reprises ou des nettoyages sur aciers inoxydables ou sur alliages légers.

■ **Disques** : découpés dans le produit en nappe, ils peuvent être utilisés :

- soit individuellement pour travail à plat : disques pour le nettoyage des sols, par exemple ;

- soit empilés pour travail sur leur périphérie : roues ou cylindres utilisés à des travaux de satinage ou à des brossages légers.

■ **Bandes** : pour cette forme également, le produit de base est la nappe. Toutefois, l'abrasif incorporé n'ayant pas une bonne résistance à la traction, il est nécessaire de le coller sur un support toile pour réaliser des bandes, utilisées, soit sur des machines portatives à platine, soit sur des machines à grande bande.

Parmi les diverses applications, on peut citer par exemple la désoxydation des circuits imprimés et le satinage des vernis.

Remarque : la température de fusion du nylon étant basse, il convient de limiter l'échauffement en travaillant à des vitesses d'environ 15 m/s.

■ **Roues à lamelles** : constituées de lamelles d'abrasif incorporé découpées dans le produit en nappe, puis fixées radialement à un moyeu, elles servent à réaliser des satinages fins sur métaux ou des égrenages sur apprêt avant peinture. Les vitesses d'emploi sont de l'ordre de 20 à 25 m/s.

■ **Roues et cylindres compacts** : les cylindres sont obtenus par enroulage d'une nappe autour d'un moyeu. Différentes duretés peuvent être réalisées en faisant varier la grosseur de la fibre de nylon de la nappe et la tension d'enroulage.

Les roues sont réalisées par découpe des cylindres en tranches de l'épaisseur désirée. Elles sont utilisées pour éliminer certains défauts sur les tôles inoxydables, obtenir des finitions mates ou brillantes sur métaux ou même réaliser des ponçages de moulures en bois. Les vitesses d'emploi peuvent varier de 10 à 30 m/s selon la dureté de la roue et le fini recherché.

8. Tendances actuelles

Technique déjà ancienne, liée au développement du machinisme au cours de la première moitié du XX^e siècle, l'usinage par abrasion a été concurrencé au fil des ans par d'autres procédés venus *mordre* sur certains de ses domaines d'emploi traditionnels. Par exemple :

- le décriquage des aciers ordinaires par un procédé de flammage au chalumeau ;
- le tronçonnage de ronds ou de profilés en aciers peu sensibles à l'aide de disques en acier tournant à grande vitesse (100 m/s et plus) ;
- le tournage fin à l'aide d'outils céramiques ou d'outils diamant, permettant d'effectuer un travail comparable à celui d'une meule d'ébauche en rectification.

À l'inverse, d'autres facteurs de développement de l'usinage par abrasion sont apparus, tels que :

- la demande croissante dans l'industrie de matériaux de plus en plus difficiles à usiner à l'outil : aciers très fortement alliés ou surcarburés, alliages réfractaires, céramiques industrielles, carbures métalliques, etc. ;
- le développement de nouvelles techniques de rectification, telles que la rectification par passes profondes et avance lente (ou *rectification dans la masse*), qui vient bouleverser les concepts de la rectification traditionnelle : possibilité de prendre des passes 100 fois supérieures à celles de la rectification classique.

Parallèlement à ces tendances, et permettant ainsi de les satisfaire, la mise au point et la production à des coûts acceptables d'abrasifs de plus en plus performants (diamants artificiels, nitrure de bore cubique, abrasifs microcristallins) ouvrent en permanence de nouveaux domaines à l'usinage par abrasion.

Abrasifs

par **Jean-Louis DOUZET**
Ancien Directeur de Marchés de Norton SA

Normalisation

International Organization for Standardization ISO

ISO 525	1986	Produits abrasifs agglomérés. Généralités. Désignation, marquage, gamme des diamètres extérieurs et tolérances.
R 603	1967	Produits abrasifs agglomérés. Dimensions des meules (Partie 1).
603-2	1981	Produits abrasifs agglomérés. Dimensions des meules (Partie 2 : meules plates de tronçonnage, type 1).
1117	1975	Produits abrasifs agglomérés. Dimensions des meules (Partie 2 suite).
1929	1974	Bandes abrasives. Désignation, dimensions et tolérances.
2220	1972	Bâtons d'affûtage à la main et pierres à huile. Dimensions.
2235	1981	Feuilles abrasives. Désignation, dimensions et tolérances.
2421	1972	Manchons abrasifs cylindriques. Désignation. Dimensions. Tolérances.
2422	1986	Manchons abrasifs tronconiques. Dimensions et désignation.
2933	1974	Produits abrasifs agglomérés. Dimensions des meules (Partie 3).
2976	1973	Bandes abrasives. Sélection des combinaisons largeurs × longueurs.
3017	1981	Disques abrasifs. Désignation, dimensions et tolérances. Sélection des combinaisons diamètre extérieur du disque × diamètre de l'alésage.
3366	1975	Abrasifs appliqués. Rouleaux dits d'atelier. Tous supports. Désignation et dimensions.
3367	1975	Abrasifs appliqués. Rouleaux de largeurs supérieures ou égales à 50 mm. Tous supports. Désignation et dimensions.
3368	1975	Abrasifs appliqués. Rouleaux en toile de largeurs inférieures ou égales à 40 mm. Désignation et dimensions.
3919	1986	Abrasifs appliqués. Roues à lamelles sur tiges. Désignation et dimensions.
3920	1976	Bâtons rodoirs à section carrée. Désignation et dimensions.
3921	1976	Bâtons rodoirs à section rectangulaire. Désignation et dimensions.
5429	1977	Abrasifs appliqués. Roues à lamelles à flasques incorporés ou amovibles. Désignation et dimensions.
6103	1986	Produits abrasifs agglomérés. Équilibrage statique des meules. Contrôle.
6104	1979	Produits abrasifs. Meules et scies à base de diamant ou de nitrure de bore. Généralités, désignation et nomenclature multilingue.
6105	1988	Produits abrasifs. Scies segmentées pour l'usinage de la pierre et des matériaux de construction. Dimensions du corps en acier.
6106	1979	Produits abrasifs. Dimensions des grains de diamant ou de nitrure de bore.
6168	1980	Produits abrasifs. Meules à base de diamant ou de nitrure de bore cubique. Dimensions.

8366	1987	Produits abrasifs appliqués. Tolérances dimensionnelles sur les produits convertis non normalisés.
8486	1986	Abrasifs agglomérés. Granulométrie. Désignation et détermination de la distribution granulométrique des macrograins de F4 à F220.

Association française de normalisation AFNOR

NF E 60-400	8-86	Machines-outils à meuler. Prévention des risques d'origine mécanique. Spécifications générales.
NF E 60-401	8-86	Machines-outils à meuler. Carters de meules. Essais de résistance.
NF E 60-402	8-86	Machines-outils à meuler. Tourets à meuler. Prévention des risques d'accident d'origine mécanique.
NF E 60-403	12-87	Machines-outils à meuler. Machines à tronçonner à meule à avance manuelle. Prévention des risques d'accident d'origine mécanique.
NF E 60-404	8-86	Machines-outils à meuler. Rectifieuses planes à table à déplacement rectiligne et de course inférieure ou égale à 3 mètres. Prévention des risques d'accident d'origine mécanique.
NF E 60-408	12-87	Machines-outils à meuler. Rectifieuses cylindriques verticales. Prévention des risques d'accident d'origine mécanique.
NF E 60-409	3-88	Machines-outils à meuler. Machines à rectifier les surfaces de révolution à axe de broche horizontale. Prévention des risques d'accident d'origine mécanique.
NF E 62-114	4-80	Flasques et moyeux flasques pour montage des meules de précision.
NF E 62-116	4-86	Machines-outils à meuler. Flasques pour le montage des meules. Règles de conception. Essais.
NF E 65-130	12-82	Meuleuses portatives. Prévention des risques d'accident d'origine mécanique.
NF E 75-072	9-73	Bandes abrasives. Désignation. Dimensions. Tolérances (EQV ISO 1929, 2976).
NF E 75-073	4-80	Abrasifs appliqués. Feuilles abrasives. Désignation. Dimensions et tolérances (EQV ISO 2235).
NF E 75-074	4-80	Abrasifs appliqués. Disques abrasifs. Désignation. Dimensions et tolérances (EQV ISO 3017).
NF E 75-075	3-72	Manchons abrasifs cylindriques. Désignation. Dimensions (EQV ISO 2421).
NF E 75-076	10-83	Produits abrasifs appliqués. Manchons tronconiques. Désignation. Dimensions.
NF E 75-077	10-83	Produits abrasifs appliqués. Rouleaux tous supports, dits d'atelier. Désignation. Dimensions et tolérances (EQV ISO 3366).
NF E 75-078	10-83	Produits abrasifs appliqués. Rouleaux tous supports. Désignation. Dimensions et tolérances (EQV ISO 3367, 3368).
E 75-080	4-75	Produits abrasifs appliqués. Feuilles, disques, rouleaux, bandes, roues à lamelles. Correspondance entre dimensions usuelles et dimensions normalisées.
NF E 75-082	6-76	Abrasifs appliqués. Roues à lamelles à flasques incorporés ou amovibles. Désignation. Dimensions (EQV ISO 5429).

ABRASIFS

E 75-100	1-82	Abrasifs appliqués. Granulométrie. Définitions. Désignation. Principe des distributions granulométriques.	NF E 75-302	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule plate, à moyeu renforcé, type 14A1 (EQV ISO 6168).
E 75-101	1-82	Abrasifs appliqués. Granulométrie. Contrôle de la distribution granulométrique des macrograins P 12 à P 220.	NF E 75-303	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule plate, type 1L1 (EQV ISO 6168).
E 75-102	1-82	Abrasifs appliqués. Granulométrie. Contrôle de la distribution granulométrique des micrograins P 240 à P 1 200.	NF E 75-304	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meules plates, types 1E6Q et 14E6Q (EQV ISO 6168).
E 75-199	12-82	Meuleuses tenues à la main (portatives) entraînées par moteur. Sécurité mécanique.	NF E 75-305	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule plate, à moyeu renforcé, type 14EE1 (EQV ISO 6168).
NF E 75-200	9-85	Produits abrasifs agglomérés. Équilibrage statique des meules. Balourds admissibles. Spécifications. Contrôle (NEQ ISO 6103).	NF E 75-306	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule plate, type 1FF1 (EQV ISO 6168).
NF E 75-201	5-85	Produits abrasifs agglomérés. Généralités. Désignation. Marquage. Gammes des diamètres extérieurs. Tolérances (NEQ ISO 525).	NF E 75-307	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule boisseau droite, type 6A2 (EQV ISO 6168).
NF E 75-202	3-86	Produits abrasifs agglomérés. Meules d'ébarbage. Désignation. Dimensions. Spécifications (NEQ ISO 603).	NF E 75-308	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule boisseau conique, type 11A2 (EQV ISO 6168).
NF E 75-203	5-89	Produits abrasifs agglomérés. Meules de rectification. Désignation. Dimensions. Spécifications.	NF E 75-309	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule assiette à 20°, type 12A2 (EQV ISO 6168).
NF E 75-204	9-79	Produits abrasifs agglomérés. Meules d'affûtage (NEQ ISO 603, 1117).	NF E 75-310	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule assiette à 45°, type 12A2 (EQV ISO 6168).
NF E 75-205	10-84	Produits abrasifs agglomérés. Meules de tronçonnage (NEQ ISO 603/2).	NF E 75-311	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule plate, à deux embrèvements, type 9A3 (EQV ISO 6168).
NF E 75-206	5-87	Produits abrasifs agglomérés. Meules sur tiges. Type 52. Désignation. Dimensions et spécifications.	NF E 75-312	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule boisseau droite, type 6A9 (EQV ISO 6168).
NF E 75-208	3-82	Produits abrasifs agglomérés. Meules lapidaires à serrer mécaniquement et meules lapidaires à coller. Dimensions et tolérances.	NF E 75-313	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule boisseau conique, type 11V9 (EQV ISO 6168).
NF E 75-209	12-82	Produits abrasifs agglomérés. Plateau-support pour meules lapidaires. Dimensions. Caractéristiques de serrage.	NF E 75-314	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule boisseau conique, type 12V9 (EQV ISO 6168).
NF E 75-210	12-88	Produits abrasifs agglomérés. Plateaux porte-segments. Désignation. Dimensions.	NF E 75-315	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule plate, type 1EE1V (EQV ISO 6168).
NF E 75-221	10-87	Produits abrasifs agglomérés. Pierres à main. Type 90. Désignation, formes et dimensions (NEQ ISO 2220).	NF E 75-316	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule plate, type 1V9 (EQV ISO 6168).
E 75-222	3-88	Produits abrasifs agglomérés à base d'oxyde d'aluminium, de carbure de silicium, de diamant ou de nitrure de bore cubique. Bâtons rodoirs et pierres de superfinition. Type 54. Désignation, formes et dimensions.	Fédération Européenne des fabricants de Produits Abrasifs (FEPA) Code Européen de Sécurité pour l'Emploi des Meules et Produits abrasifs agglomérés. Norme FEPA 44-F-1986 des grains de corindon électrofondu et de carbure de silicium. Norme FEPA 42-F-1984 des grains de corindon électrofondu et de carbure de silicium pour abrasifs agglomérés. Norme FEPA 43-F-1984 des grains de corindon électrofondu et de carbure de silicium pour abrasifs appliqués. FEPA Standard sur les dimensions des grains de diamant. FEPA Standard sur les scies diamant. FEPA Standard sur les meules diamant et nitrure de bore cubique.		
NF E 75-300	6-78	Meules et scies à base de diamant ou de nitrure de bore. Généralités. Désignation. Nomenclature multilingue (EQV ISO 6104).			
NF E 75-301	6-78	Meule à base de diamant ou de nitrure de bore. Meule plate, type 1A1 (EQV ISO 6168).			

Constructeurs. Fournisseurs

(liste non exhaustive)

aa = abrasifs appliqués
maa = meules et abrasifs agglomérés

Abrasienne (L'). – aa.
Atlantic Sarl. – maa (meules industrielles).
Barre Métrologie et Meules (Sté). – maa.
Diamant Boart Abrasifs France. – aa-maa (meules industrielles).
Christaud et Cie SA. – maa (meules industrielles).
Deplanque (SA Meules). – maa (meules industrielles).
Durrschmidt (Abrasifs). – maa (meules industrielles).
Mercier (Abrasifs). – maa (meules industrielles - industrie du marbre et de la pierre).
Norton SA. – aa-maa (meules industrielles).
SERCAP (Sté d'Étude et de Recherche Céramiques Abrasifs Plastiques). – maa (meules industrielles - abrasifs céramiques-plastiques).
Sime Meules. – maa (meules industrielles - meules de moulin).

Sinto Casco Nobel France SA. – maa (industrie du marbre et de la pierre).
Somars. – maa (meules vitrifiées-corindon et carbure de silicium).
SOMATA (Sté pour la Fabrication du Matériel Abrasif). – maa (industrie du marbre et de la pierre).
3 M France. – aa.

Importateurs

Bay State Abrasives. SA. – maa.
Dipram SA. – aa-maa.
Feldmühle Produits Techniques France Sarl. – aa-maa.
Hermes SA. Abrasifs. – aa.
Hoganas Meppi SA Slip Naxos France SA. – maa.
Impavide (L'). – aa-maa.
SAIT France. Abratec (Sté). – aa-maa (meules industrielles).
SIA France Sarl. – aa.
Tyrolit (Sté). – maa.

Organismes européens

Le Code de Sécurité pour l'Emploi des Meules et Produits Abrasifs agglomérés est le fruit de la collaboration des associations suivantes :

République fédérale d'Allemagne

Verein Deutscher Schleifmittelwerke eV.

Autriche

Fachverband der Stein und Keramischen Industrie Österreichs.

Belgique

Fédération des Industries Céramiques de Belgique et du Luxembourg (FICBL).

Espagne

Agrupación Nacional de Fabricantes de Abrasivos (ANFA).

France

Syndicat National des Fabricants de Produits Abrasifs (SNFPA).

Grande-Bretagne

The British Abrasive Federation.

Italie

Federceramica (Settore Abrasivi).

Norvège

Norske Slipemiddelprodusenters Forening (NSF).

Pays-Bas

Nederlandse Vereniging Van Abrasive Fabrikanten.

Suède

Sveriges Slipverktygsleverantörers Forening (SSL).