

ROBERT NADREAU

ANCIEN ÉLÈVE DU LYCÉE TECHNIQUE DIDEROT
PROFESSEUR A L'ÉCOLE TECHNIQUE GAMBETTA
DE LA CHAMBRE DE COMMERCE ET D'INDUSTRIE
DE PARIS

**A JUSTAGE
ET
PETITE MÉCANIQUE**

Manuel Technique

A L'USAGE DES CANDIDATS

AU

CERTIFICAT D'APTITUDE PROFESSIONNELLE

conforme au programme du C.A.P. National des Ajusteurs
et des Mécaniciens en Petite Mécanique

VIGNETTES DE H. DEBEURÉ

15^e édition revue et augmentée

120^e mille

SOCIÉTÉ UNIVERSITAIRE D'ÉDITIONS ET DE LIBRAIRIE
5, RUE PALATINE — PARIS-VI^e

CET OUVRAGE A ÉTÉ COMPOSÉ A L'INTENTION DES ÉLÈVES DES COLLÈGES TECHNIQUES, DES ÉCOLES TECHNIQUES, DES ÉCOLES PRATIQUES D'INDUSTRIE, DES COURS PROFESSIONNELS ET DES APPRENTIS EN AJUSTAGE ET EN PETITE MÉCANIQUE POUR LA PRÉPARATION AU

CERTIFICAT D'APTITUDE PROFESSIONNELLE

TOUS DROITS
de traduction, de reproduction et d'adaptation
réservés pour tous pays.

A la demande de nombreux collègues chargés des cours de technologie générale et professionnelle et pour faciliter dans une plus large mesure l'illustration des cahiers d'élèves, l'auteur a cru indispensable d'ajouter à cet ouvrage le duplicata des dessins et photographies contenus à l'intérieur.

Le découpage, l'encartement et la reproduction des légendes de ces documents pouvant être exécutés en dehors du cours, le temps récupéré sur une reproduction fastidieuse pourra être consacré à des tâches plus utiles.

R. N.

AVANT-PROPOS

L'auteur n'a pas eu la prétention, en composant ce manuel, de faire une encyclopédie du métier, mais seulement un aide-mémoire et un guide susceptibles de rendre aux futurs professionnels d'utiles services pour la préparation de leur C.A.P.

Ayant lui-même fait son apprentissage d'ouvrier en instruments de précision, il s'est mis constamment à la portée des jeunes apprentis, les guidant au milieu de multiples sujets posés par le métier.

L'ajustage consiste à parfaire et à assembler, après usinage, différentes pièces ou différents organes de machine afin d'en constituer un tout susceptible de fonctionner dans les meilleures conditions. C'est le métier de base de toute la mécanique, qui conduit indispensablement ses meilleurs professionnels vers l'outillage.

La petite mécanique est la partie des industries mécaniques construisant des appareils de petites dimensions : instruments de mesure, d'étude, de contrôle ou de reproduction. Cette profession exige donc de la part de ses professionnels une grande minutie, le goût du travail irréprochable et la pratique aussi bien de l'ajustage que du rabotage, du tournage, du fraisage et de la rectification.

De nombreux sujets de technologie se posent aux apprentis mécaniciens. En traitant les plus importants d'entre eux sous une forme simple et compréhensible, l'auteur a tenté, en les intéressant, de leur faire mieux connaître le métier qu'ils ont choisi.

Le rôle du Professeur chargé de la préparation du C.A.P. sera, en outre, grandement simplifié, car l'utilisation de l'ouvrage comme plan ou résumé lui facilitera le développement des chapitres traités conformément aux programmes de l'Enseignement technique.

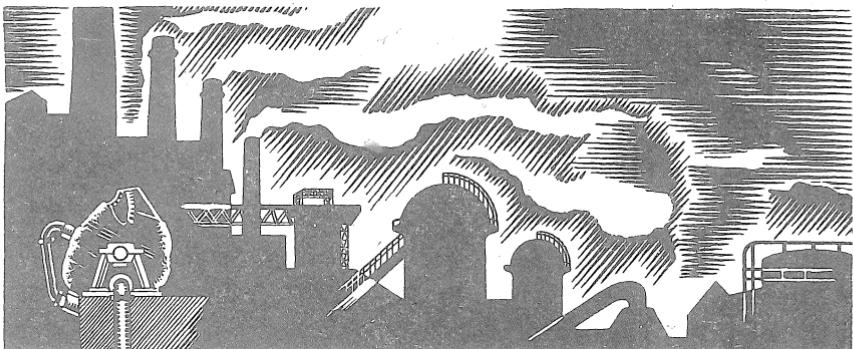
R. NADREAU.

PROGRAMME DES CERTIFICATS D'APTITUDE PROFESSIONNELLE

LE PROGRAMME DE TECHNOLOGIE DU C.A.P. NATIONAL COMPREND LE MAXIMUM DE CONNAISSANCES QUI SERONT ENSEIGNÉES AUX CANDIDATS. IL A ÉTÉ ÉTABLI EN TENANT COMPTE DU FAIT QUE LE C.A.P. N'EST PAS UN CERTIFICAT D'OUVRIER, MAIS SEULEMENT UN CERTIFICAT DE FIN D'APPRENTISSAGE QUI DOIT ÊTRE SUIVI D'UNE PÉRIODE DE PERFECTIONNEMENT AU COURS DE LAQUELLE L'ANCIEN APPRENTI DEVENU PETITE MAIN, DEVRA ACQUÉRIR LES CONNAISSANCES NÉCESSAIRES POUR DEVENIR OUVRIER QUALIFIÉ ET OUVRIER HAUTEMENT QUALIFIÉ.

PREMIÈRE PARTIE

**MATIÈRES PREMIÈRES
UTILISÉES EN AJUSTAGE
ET EN PETITE MÉCANIQUE**



1. LES MÉTAUX

DÉFINITION DE LA MÉTALLURGIE

La métallurgie englobe l'extraction du minerai, le traitement et la purification de tous les métaux, afin de les rendre aptes à leur utilisation en mécanique générale.

La sidérurgie consiste à faire subir les mêmes transformations aux métaux ferreux seulement (fers, fontes, aciers).

Les métaux sont des corps simples doués, après polissage, d'un brillant particulier appelé éclat métallique. Ils sont, en outre, caractérisés par des propriétés spéciales : malléabilité, fusibilité, conductibilité, ductilité, élasticité, ténacité, coulabilité, soudabilité et homogénéité.

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES MÉTAUX

Les métaux sont généralement bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité; de plus, ils sont solides aux températures ordinaires, sauf pour deux d'entre eux : l'hydrogène qui est gazeux et le mercure qui est liquide. Par ordre de malléabilité décroissante, les principaux métaux seront classés de la façon suivante : or, argent, aluminium, cuivre, étain, plomb, zinc, platine et fer. Par ordre de ductilité décroissante, ils se rangent comme suit : or, platine, aluminium, fer, cuivre, zinc et plomb.

Malléabilité. — C'est la propriété que possèdent certains métaux de pouvoir être réduits en feuilles minces, à froid ou à chaud. Cette opération peut être exécutée au marteau ou au laminoir.

Fusibilité. — La fusibilité est la qualité possédée par certains corps de pouvoir passer de l'état solide à l'état liquide sous l'influence de la chaleur. La température limite du commencement de ce phénomène s'appelle point de fusion.

Conductibilité. — C'est la propriété que possèdent les métaux de se laisser traverser plus ou moins facilement par la chaleur et l'électricité.

Ductilité. — La ductilité est la qualité que possèdent certains métaux de pouvoir être réduits en fils de faible section.

Elasticité. — C'est la propriété possédée par certains corps ou métaux de reprendre leur position initiale ou leur forme primitive après avoir été distendus. La propriété inverse s'appelle **plasticité**.

Ténacité. — La ténacité est définie par la résistance des métaux à des efforts de traction ou de pénétration. Elle est également fonction de leur résistance à la rupture. Les expériences permettant de contrôler la ténacité prennent l'appellation d'**essais de métaux**.

Coulabilité. — On appelle coulabilité la propriété possédée par plusieurs métaux d'épouser étroitement la forme des moules dans lesquels ils sont introduits après fusion. C'est en quelque sorte la fluidité des métaux fondus.

Soudabilité. — La soudabilité est l'aptitude que possèdent certains métaux à se souder à eux-mêmes par simple contact lorsqu'ils sont portés à haute température et ceci sans le secours d'aucun métal additionnel.

Homogénéité. — L'homogénéité est caractérisée, dans la masse d'un corps, par une répartition très régulière des éléments la constituant ; c'est la qualité première d'un alliage. La propriété opposée est l'**hétérogénéité**.

LES MINERAIS

DÉFINITION

Les métaux sont assez rarement à l'état **natif**, c'est-à-dire sous leur forme métallique, dans le sol, exception faite pour le mercure, l'or, le platine, l'argent et le cuivre ; on les y rencontre beaucoup plus souvent sous forme de **minerais**.

Les minerais sont des composés naturels de **terrain brut** et de **métal**, ce dernier en quantité suffisante pour permettre une extraction économique. Les minerais peuvent être **terreux, rocheux ou argileux**.

Les minerais apparaissent dans la nature suivant quatre combinaisons principales :

a) Les **oxydes** : Métal + oxygène + gangue (fer, cuivre, zinc, aluminium, étain, chrome, manganèse) ;

- b) Les sulfures ou pyrites : Métal + soufre + gangue (cuivre, plomb, zinc, nickel, cobalt, antimoine);
- c) Les carbonates : Métal + gaz carbonique + gangue (fer, plomb, cuivre, zinc);
- d) Les silicates : Métal + silice + gangue (nickel, plomb, fer).

Teneur en métal d'un minéral. — La teneur en métal des différents minéraux est très variable, actuellement elle est exploitables à partir des **valeurs minima** suivantes :

Fer : 20 %

Cuivre : 1 %

Nickel : 6 %

Or : 0,0005 %

TRAITEMENTS

Avant leur utilisation en métallurgie, les minéraux doivent subir plusieurs traitements particuliers :

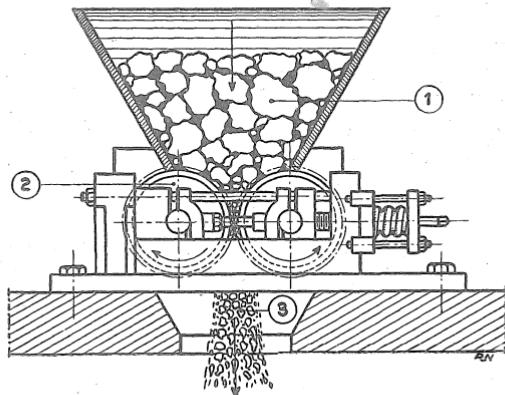
1° **Traitements mécaniques et enrichissement.** — Le traitement mécanique des minéraux consiste à diviser en plus faibles éléments des blocs trop importants pour être chargés dans les appareils d'élabo ration du métal. Il prend les deux formes suivantes :

a) **Concassage.** C'est l'ébauche du broyage, permettant l'obtention d'éléments de 30 à 50 mm de cote extérieure, réalisée dans des concasseurs semblables à ceux utilisés dans les carrières de pierre. L'appareil agit par écrasement à l'aide de deux mâchoires en acier au manganèse. Un arrosage abondant favorise la division des blocs en évitant l'échauffement.

b) **Broyage.** Le broyage a pour but de diviser le minéral en fines particules afin de le rendre propre à une plus parfaite séparation des éléments le constituant. Parmi la gamme très variée des broyeurs agissant par choc ou par frottement, nous en citerons trois types principaux :

Le **broyeur à boulets**, utilisant la force vive de sphères de fonte dure retombant les unes sur les autres à l'intérieur d'un tambour tournant et dans lequel pénètre le minéral à diviser. A l'extérieur de l'appareil un tamis circulaire ne laisse passer que les particules ayant atteint le degré de finesse voulu.

Le **broyeur rotatif**, muni de tambours cannelés tournant en sens inverse, agit par frottement et écrasement tout en obligeant le minéral à passer entre les deux cylindres (fig. 1).



BROYEUR A MINERAI

Fig. 1

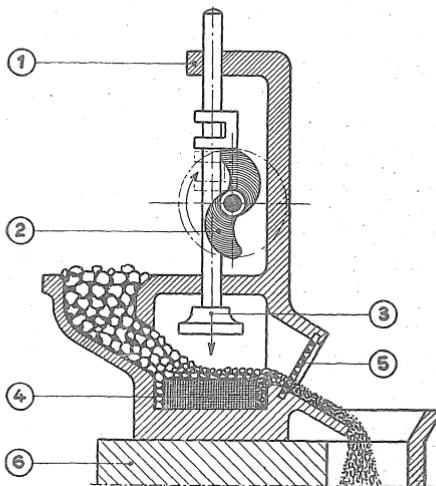
1. Minerai brut.
2. Cylindre en fonte trempée.
3. Fines broyées.

L'appareil à bocardier, composé d'une multitude de petits marteaux soulevés par des came et frappant alternativement sur une enclume. La division du minerai est ici beaucoup plus poussée que dans les méthodes précédentes (fig. 2).

APPAREIL A BOCARDER

Fig. 2

- | | |
|-----------|-------------|
| 1. Guide. | 4. Dé. |
| 2. Came. | 5. Tamis. |
| 3. Pilon. | 6. Enclume. |



Enrichissement. — L'enrichissement a pour but de débarrasser la combinaison métallique de la plus grande partie de sa gangue, afin de n'avoir à traiter chimiquement que la partie rentable du produit.

Ce triage peut s'effectuer de plusieurs façons différentes :

a) Par différence de densité des composants lorsque ceux-ci sont en suspension dans l'eau. Une suite de compartiments de dimensions croissantes retient à l'aide d'un courant d'eau les particules par densités décroissantes : le composé métallique dans le premier alvéole et la gangue dans le dernier. Cette opération s'appelle également débourbage.

b) Par triage électromagnétique valable seulement pour les minerais magnétiques. Ceux-ci : hématite rouge ou brune, carbonate de fer, oxyde de manganèse, etc., défilent sur un tambour rotatif constitué par des secteurs alternés de fer et de cuivre. Le champ magnétique obtenu à l'aide d'un électro-aimant sur les parties en fer du tambour provoque l'entraînement des seuls éléments magnétiques du minerai vers une réserve plus éloignée que celle dans laquelle la gangue tombe par son propre poids (fig. 3).

TRIEUR ÉLECTROMAGNÉTIQUE

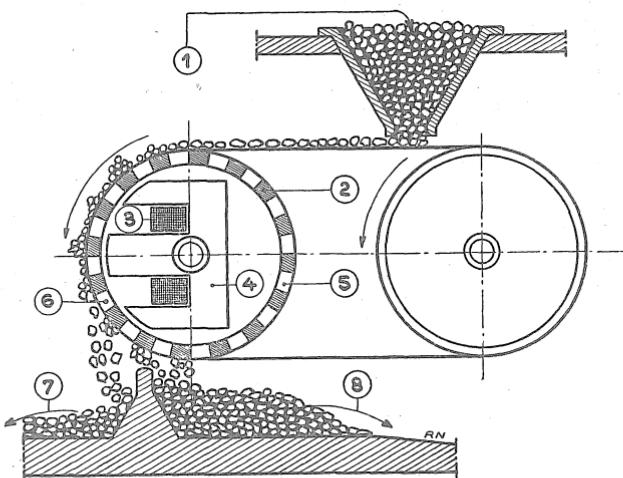


Fig. 3

- | | |
|--|--|
| 1. Entonnoir de chargement.
2. Secteur de fer.
3. Bobinage d'excitation.
4. Electro-aimant. | 5. Secteur non magnétique.
6. Tambour d'entraînement du minerai.
7. Evacuation de la gangue.
8. Evacuation du minerai magnétique. |
|--|--|

Le briquetage ou agglomération de particules pulvérulentes de minerai a un but contraire à celui du broyage ; c'est d'en grouper les fines poussières de provenances diverses pour les rendre propres à la séparation du métal dans un appareil métallurgique susceptible de s'étouffer en période de fonctionnement.

2^o Traitements chimiques. — Le traitement chimique des minerais sert à isoler le métal des éléments avec lesquels il est combiné. Suivant la nature de ceux-ci des transformations différentes seront effectuées.

a) Traitement des oxydes, basé sur les propriétés réductrices du charbon et de l'oxyde de carbone se combinant avec l'oxygène du minéral et laissant le métal en liberté.

b) Traitement des pyrites ou sulfures qui, par grillage, sont transformés en oxydes.

Le grillage est opéré dans un four à soles superposées, le minéral pulvérulent, chargé par la partie supérieure de l'appareil de forme cylindrique (hauteur : 9 mètres ; diamètre : 7 mètres), est entraîné de sole en sole, à l'aide de râteaux tournants refroidis par circulation d'eau. Les oxydes obtenus sont récupérés à la partie inférieure.

c) Traitement des carbonates dont la calcination fournit des oxydes.

TRAITEMENTS DES DIFFÉRENTS MINERAIS AVANT RÉDUCTION

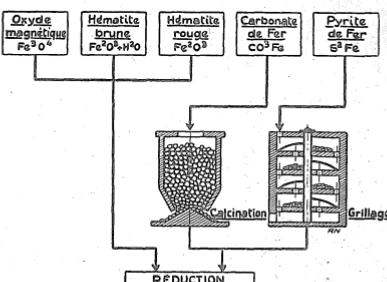
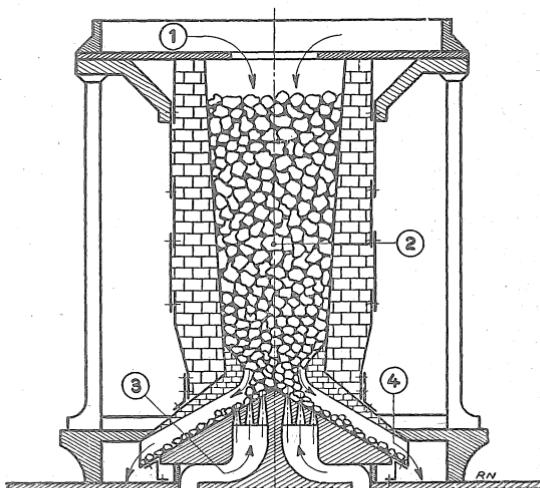


Fig. 4



FOUR A CUVE
DE CALCINATION

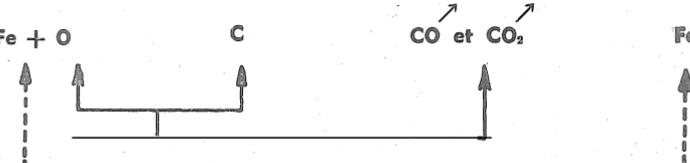
Fig. 5

La calcination, réservée au carbonate de fer, est opérée dans un four à cuve à partir des minéraux morcelés ou briquetés, on ajoute à la charge 10 kg de combustible par tonne. Une soufflerie

d'air, active à l'aide de tuyères, la formation du produit calciné ; le déchargement a lieu à la base du four (fig. 5).

d) Traitement des silicates qui, après addition de produits sulfurés, sont également grillés pour obtenir des oxydes.

Tous ces oxydes sont ensuite réduits en présence du charbon et de l'oxyde de carbone.



PRINCIPE DE LA RÉDUCTION DE L'OXYDE DE FER

3° Affinage. L'affinage des métaux bruts fait suite aux traitements chimiques. Il a pour rôle essentiel de faire disparaître toutes les impuretés afin d'aboutir à un métal sain directement utilisable dans l'industrie.

Cette élimination des produits nuisibles prend des formes variées.

a) **Oxydation des impuretés** (carbone, silicium, phosphore, soufre, etc.) dont l'exemple le plus typique pour le carbone nous est fourni par la transformation de la fonte en acier en soufflant au travers du bain un courant d'air oxydant.

b) **Dilution.** Addition à un métal fondu impur d'une plus grande quantité de métal pur afin d'abaisser la teneur de l'impureté.

c) **Liquation.** C'est la séparation, par ordre de densité, des métaux après fusion commune.

d) **Electrolyse.** Méthode parfaite permettant d'obtenir les métaux les plus purs par déplacement dans une cuve électrolytique du métal seul de l'anode vers la cathode sous l'action du courant électrique. Ce procédé est plus spécialement réservé à la métallurgie du cuivre, du fer, du plomb, du nickel et du zinc.

MÉTAUX FERREUX

GÉNÉRALITÉS

Les produits ferreux prennent trois formes distinctes caractérisées par une teneur en carbone différente :

- a) Le **fer** contenant au maximum 0,05 % de carbone ;
- b) La **fente** contenant de 2,5 à 6 % de carbone ;
- c) L'**acier**, produit intermédiaire entre les deux précédents et contenant de 0,05 à 1,5 % de carbone.

Les **acières sauvages** ont une teneur en carbone comprise entre 1,5 % et 2,5 %, mais ils sont beaucoup trop fragiles pour être utilisés dans l'industrie.

LE FER MINERAIS DE FER

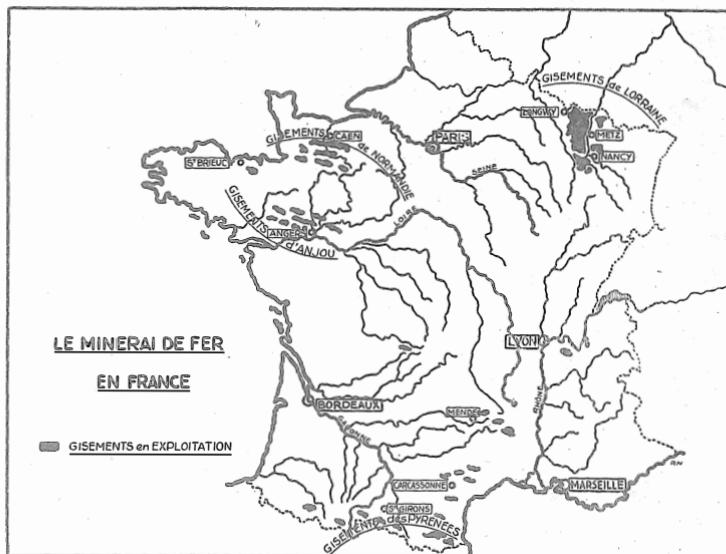


Fig. 6

Le fer ne se trouve pas à l'état natif, mais sous forme de minéraux qui se rencontrent partout ou presque partout dans le monde, puisque la teneur moyenne en fer de la croûte terrestre est de l'ordre de 5,6 %.

Les minerais de fer apparaissent sous les formes suivantes : oxydes, sulfures ou carbonates.

Les cartes ci-jointes nous indiquent, d'une part, l'emplacement des principaux gisements français et, d'autre part, les points précis d'extraction d'un des plus grands bassins mondiaux, la Lorraine, dont les réserves sont évaluées à 5 milliards de tonnes.

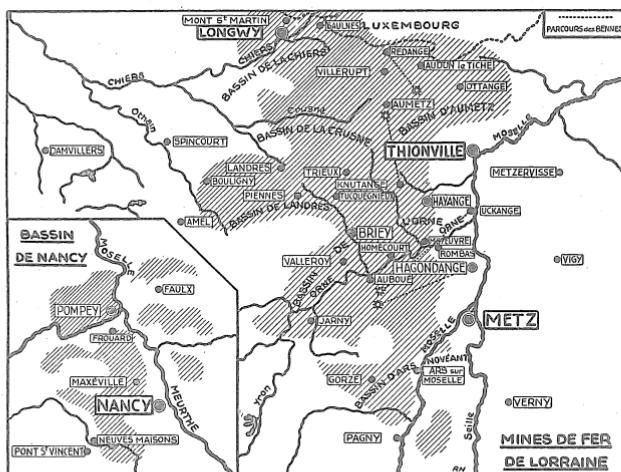


Fig. 7

Actuellement, pour qu'une exploitation soit rentable, il est indispensable que la teneur en fer du minéral atteigne au moins 25 %.

Les principaux minerais de fer rencontrés dans le monde sont les suivants :

1^e OXYDES

a) L'oxyde magnétique ou pierre d'aimant (Fe^3O_4), dont la richesse en fer est voisine de 63 %, a pour densité 4,9 à 5,2 ; il a la propriété de faire dévier l'aiguille aimantée.

Lieux d'extraction : Suède, France, Algérie, U.R.S.S., Etats-Unis, etc.

b) L'hématite rouge, ocre rouge ou sanguine (Fe^2O_3). Teneur en fer 65 %. Densité : 5,5.

Lieux d'extraction : France (Normandie, Pyrénées-Orientales, Ariège), Belgique, Angleterre, Allemagne, U.R.S.S., Etats-Unis, etc.

c) L'hématite brune ou limonite ($\text{Fe}^2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$). Richesse en fer 52 %. Densité : 3,6 à 4. C'est le mineraï de fer le plus répandu en France. Appelée encore « Minette de Lorraine », elle fournit près de 95 % de la production française.

Lieux d'extraction : France (Alsace-Lorraine, Dordogne, Pyrénées), Luxembourg, Allemagne, U.R.S.S., Etats-Unis, etc.

2^e SULFURES OU PYRITES

Le sulfure de fer (FeS^2) a comme teneur moyenne en fer 40 % ; sa densité, égale à celle de l'oxyde magnétique, varie de 4,9 à 5,2. Il n'est jamais utilisé directement, mais seulement après grillage.

Lieux d'extraction : France (Loire, Finistère, Basses-Pyrénées, Corse), Allemagne, Mexique, Suède, Japon, Canada.

3^e CARBONATES

Le carbonate de fer a pour symbole CO_3Fe , sa teneur en fer moyenne est de l'ordre de 45 %. Sa densité est la plus faible : 3,5. Avant d'être réduit au haut fourneau répétons qu'il est indispensable de lui faire subir une calcination préalable pour le transformer en oxyde.

Lieux d'extraction : France (Basses-Pyrénées, Alpes, Bassin de Saint-Etienne), Angleterre, Allemagne, Etats-Unis, etc.

MÉTALLURGIE DU FER

Le fer est obtenu suivant trois méthodes distinctes :

1^o Par la méthode directe, en utilisant le mineraï :

- a) Procédé catalan;
- b) Procédé Siemens.

2^o Par la méthode indirecte, en utilisant la fonte :

- a) Puddlage;
- b) Procédé comtois ;
- c) Fer Armco.

3^o Par voie électrolytique.

1^o MÉTHODE DIRECTE

a) Procédé catalan. Utilisé actuellement dans les régions boisées où les mineraïs sont très riches (Pyrénées, Corse), il fournit

un fer d'excellente qualité, mais en quantités relativement faibles : 120 kg à chaque charge. Il est indispensable, dans cette méthode, que la température intérieure du four métallurgique soit inférieure au point de fusion du fer. Comme le carbone du combustible (charbon de bois) et l'oxyde de carbone produit ont plus d'affinité pour l'oxygène que pour le fer, celui-ci reste en liberté sous

FOUR CATALAN

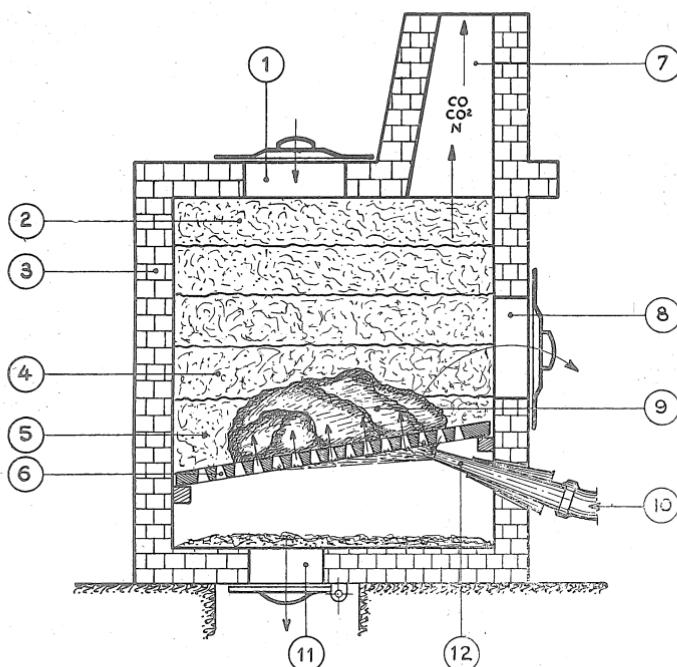


Fig. 8

- | | |
|---|--|
| 1. Porte de chargement. | 6. Grille. |
| 2. Lits alternés de minerai (oxyde de fer) et de carbone (charbon de bois). | 7. Cheminée d'évacuation des gaz. |
| 3. Paroi en briques réfractaires. | 8. Porte de travail et de défournement. |
| 4. Minerai. | 9. Loupe de fer pâteuse. |
| 5. Charbon. | 10. Admission du vent froid sous pression. |
| | 11. Orifice de vidange des cendres. |
| | 12. Tuyère. |

forme pâteuse ; on le rassemble en loupes, on le cingle ensuite pour en extraire les scories fusibles, puis finalement il est étiré en barres.

Dans le procédé catalan, il faut trois tonnes et demie de minerai pour obtenir une tonne de fer.

b) Procédé Siemens. Les réactions chimiques sont ici les mêmes que dans le four catalan, mais le traitement du minerai a lieu dans un appareil rotatif muni d'un revêtement réfractaire, ce qui procure un rendement bien supérieur. Le chauffage du four est assuré par un générateur à gaz Siemens.

2^e MÉTHODE INDIRECTE

La méthode indirecte consiste à obtenir le fer par décarburation de la fonte blanche liquide au contact d'un violent courant d'air. Cette opération prend le nom d'affinage.

FOUR A PUDDLER OU A RÉVERBERÈRE

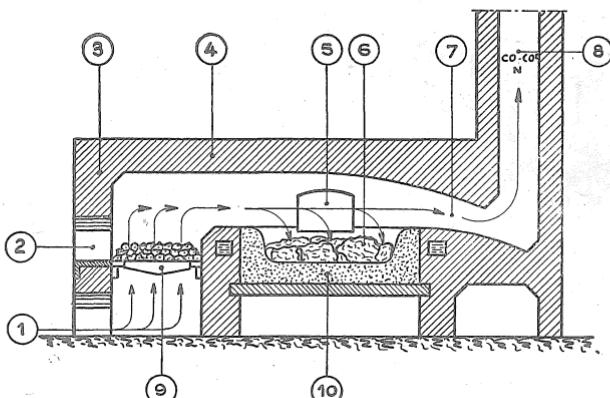


Fig. 9

- | | |
|--|---------------------------------|
| 1. Admission d'air. | 6. Loupes de fer. |
| 2. Porte de chargement du combustible. | 7. Voûte surbaissée de la sole. |
| 3. Paroi en briques réfractaires. | 8. Cheminée d'évacuation. |
| 4. Voûte du foyer. | 9. Grille du foyer. |
| 5. Porte de brassage. | 10. Sole. |

a) Puddlage. L'affinage de la fonte par puddlage est un procédé découvert en 1874 par l'Anglais Cort consistant à décarburer la fonte blanche, non pas au contact direct du charbon comme la méthode comtoise, mais sur la sole d'un four à réverbère d'une surface de 2 à 3 mètres carrés (fig. 9), à l'abri des impuretés du combustible. On utilise à cet effet de la houille grasse à longues flammes brûlant dans un foyer séparé de la sole ; celle-ci est toujours refroidie par une circulation d'eau.

L'opération consiste à mélanger au métal en fusion des oxydes ferriques (battitures) qui, avec l'oxygène de l'air, se combineront au carbone de la fonte pour la transformer lentement en fer. Un

brassage énergique, mais pénible, à l'aide de ringards, favorise l'affinage. La température intérieure varie de 1300° à 1400°. Le métal obtenu est ensuite rassemblé en loupes pour être finalement cinglé et laminé.

Production du four à puddler : 1.800 kg de fer par 24 heures.
Combustible : 1 tonne de houille par tonne de fer.

Un procédé mécanique de puddlage, dû à l'Américain Danks, est actuellement très employé; il porte l'appellation de **four Danks** et permet d'obtenir cinq fois plus de métal qu'au four à puddler ordinaire (fig. 10).

FOUR DANKS POUR PUDDLAGE MÉCANIQUE

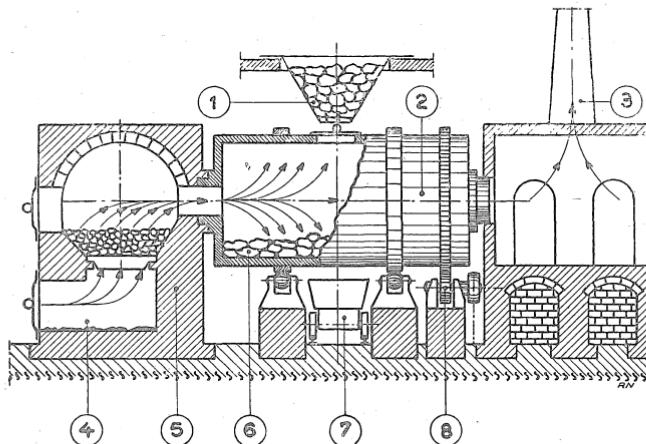


Fig. 10

- | | |
|--|--|
| 1. Buse d'introduction des gueuses de fonte. | 5. Armature fixe du foyer. |
| 2. Tambour rotatif. | 6. Fer puddlé en loupes. |
| 3. Cheminée. | 7. Evacuation des loupes par wagonnets. |
| 4. Cendrier. | 8. Dispositif mécanique d'entraînement du tambour. |

b) **Procédé comtois.** Le four comtois ou **bas-foyer** (fig. 11) est constitué de la même façon que le four catalan: le combustible employé est encore le charbon de bois. Le travail consiste à faire tomber des gueuses de fonte sur le charbon porté au rouge. Le métal fondu passe alors devant la tuyère sous forme de gouttelettes. L'oxygène de l'air soufflé oxyde le carbone et libère le fer pur qui, à l'état pâteux, se rassemble dans le creuset. Les traitements mécaniques (cinglage, laminage) sont ensuite conduits comme pour le

produit du four catalan. Ce procédé est encore employé en Franche-Comté et en Lorraine.

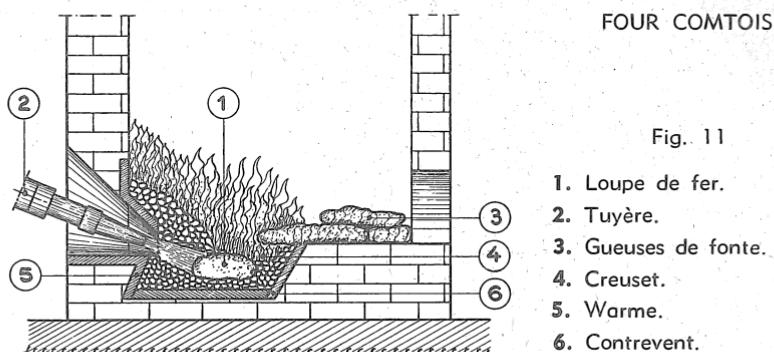


Fig. 11

1. Loupe de fer.
2. Tuyère.
3. Gueuses de fonte.
4. Creuset.
5. Warme.
6. Contrevent.

c) **Fer Armco.** C'est un fer relativement pur obtenu au four Martin-Siemens sur sole basique en dolomie par addition d'oxyde de fer, de chaux et d'aluminium. La coulée du métal est toujours opérée très lentement afin d'éviter la formation de soufflures.

3^e VOIE ÉLECTROLYTIQUE

Le fer électrolytique est obtenu en cuve dans des solutions de sels ferreux entre anode de fonte (pôle + du courant électrique)

FER ELECTROLYTIQUE

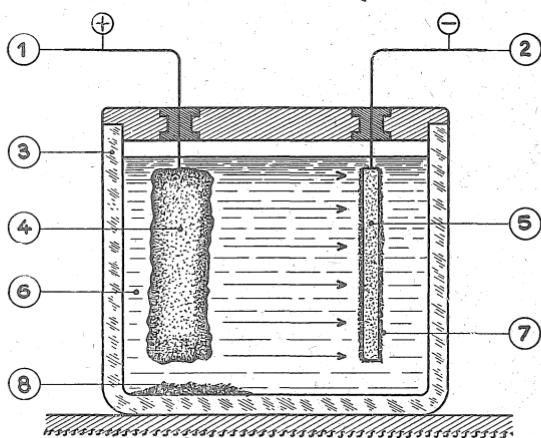


Fig. 12

1. Anode (entrée du courant continu).
2. Cathode (sortie du courant continu).
3. Cuve électrolytique (verre ou matière isolante).
4. Gueuse de fonte (métal à affiner).
5. Cathode en acier doux.
6. Solution d'un sel du métal à déposer.
7. Dépôt de fer électrolytique.
8. Impuretés.

et cathode tournante d'acier (pôle — du courant électrique). C'est sur cette dernière que se dépose le métal affiné, les impuretés tombant au fond de la cuve. C'est le fer le plus pur obtenu actuellement, mais on ne peut le produire qu'en quantités relativement peu importantes, en raison de la lenteur de l'opération. La production française la plus importante se situe à Grenoble à proximité des centrales hydro-électriques des Alpes ; elle atteint environ 3 tonnes de métal par 24 heures.

PROPRIÉTÉS DU FER

C'est un métal gris blanc, tenace et malléable, dont la densité est 7,86 et le point de fusion 1530°. Sa résistance à la rupture R et son allongement $A\%$ varient selon ses nuances :

- a) Fer ordinaire : $R = 30 \text{ kg/mm}^2$; $A\% = 7$.
- b) Fer de construction : $R = 32 \text{ kg/mm}^2$; $A\% = 8$.
- c) Fer de maréchalerie : $R = 37 \text{ kg/mm}^2$; $A\% = 12$.
- d) Fer de marine : $R = 39 \text{ kg/mm}^2$; $A\% = 18$.

Le fer est magnétique, mais ne conserve pas son aimantation. Cette qualité est toujours fonction de sa pureté (fer électrolytique) et de la qualité de son recuit.

Le fer se forge, mais ne se moule pas et ne se trempe pas.

UTILISATION DU FER

Les fers très purs sont recherchés en électricité pour la fabrication des induits de moteurs, des noyaux d'électro-aimants et des plaques de transformateurs. Ils sont utilisés également comme matière première pour la préparation des aciers fins au creuset, sous forme de métal d'apport en soudure autogène, et pour la fabrication des maillons de chaînes de levage où sa grande facilité de soudure par rapprochement est mise à profit.

A part ces utilisations indispensables, le fer n'est plus employé en construction mécanique où les aciers extra-doux et doux le remplacent avantageusement grâce à une production beaucoup plus intensive.

INSTALLATION DE PRODUCTION DE FONTE

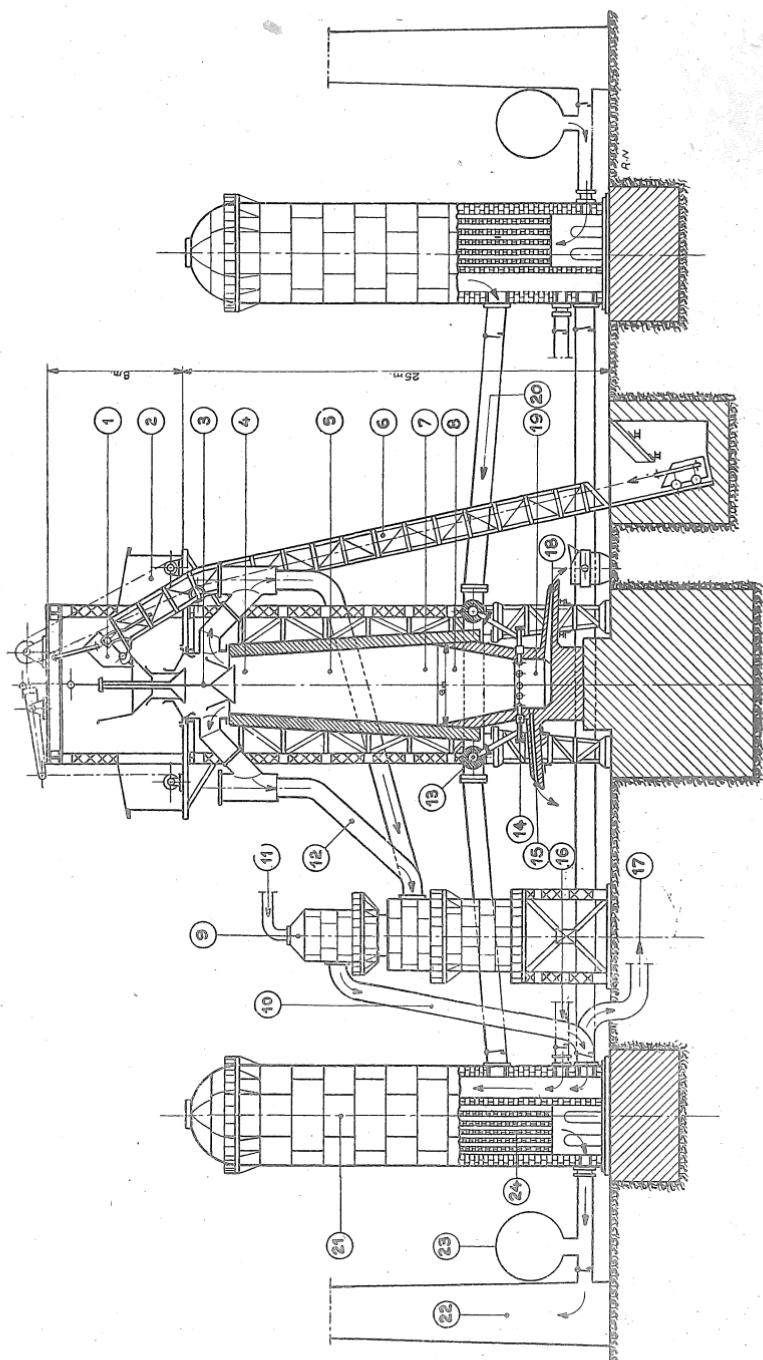


Fig. 13

LA FONTE

GÉNÉRALITÉS

Les méthodes primitives de production de fer provoquaient une perte importante de métal due à ce que l'on opérait à une température inférieure à sa fusion. La sidérurgie moderne procède à une température bien supérieure dans les appareils actuels appelés

CENTRES SIDÉRURGIQUES FRANÇAIS

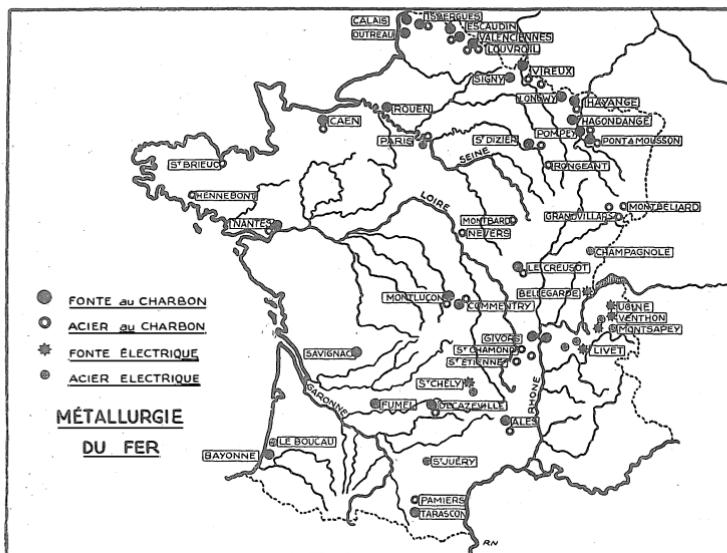


Fig. 14

hauts fourneaux, mais, à cette haute température, le fer a la propriété d'absorber du carbone en grande quantité, si bien que ce n'est plus au fer que l'on aboutit, mais à un produit ferreux plus carburé appelé la fonte.

Avant d'aborder la métallurgie de la fonte, il est indispensable de connaître les centres français d'élaboration et de transformation

Fig. 13

1. Benne de chargement.
2. Plate-forme de chargement.
3. Double « cup and cône ».
4. Gueulard.
5. Cuve (température 700°).
6. Montecharge incliné.
7. Ventre (température 790°).
8. Etalages (température 1.000°).
9. Appareil d'épuration des gaz.
10. Gaz épurés.
11. Admission d'eau.
12. Gaz bruts.
13. Ceinture de vent.
14. tuyères (température 1.800°).
15. Bec de coulée du laitier.
16. Admission d'air froid.
17. Gaz épurés dirigés vers les moteurs et les générateurs d'énergie.
18. Bec de coulée de la fonte.
19. Creuset.
20. Admission de gaz chauds à 800°.
21. Récupérateurs de chaleur ou « cowpers ».
22. Cheminée d'évacuation des gaz brûlés.
23. Soufflantes.
24. Ruchage (empilage de briques réfractaires).

des produits sidérurgiques. Nous remarquons sur la figure 14 qu'ils voisinent généralement : d'une part, avec les bassins d'extraction du minerai et, d'autre part, avec les lieux de production de charbon.

MÉTALLURGIE DE LA FONTE

La fonte résulte de la réduction de l'oxyde de fer par l'oxyde de carbone se dégageant pendant la combustion du coke métallurgique.

L'air soufflé à la partie inférieure de cette tour particulière appelée **haut fourneau** active la combustion du charbon, une partie de l'oxyde de carbone (CO) réduit, c'est-à-dire sépare le fer des éléments combinés avec lui en se transformant en gaz carbonique (CO_2) ; l'autre partie est captée à la partie supérieure et est utilisée comme source d'énergie.

La séparation des éléments composant le minerai fournit deux produits essentiels :

- a) Le **laitier**, résultant de la fusion de la gangue ;
- b) La **fonte**, produit ferreux ayant dissous du carbone en excès.

LE HAUT FOURNEAU

Le **haut fourneau** (fig. 13) est une immense tour verticale de 25 à 30 mètres de hauteur en briques réfractaires, encastrée dans une charpente métallique qui en soutient les accessoires. Il ressemble à deux troncs de cône accolés par la grande base et comprend quatre parties essentielles :

- a) Le **creuset**, récipient cylindrique situé à la partie inférieure de l'appareil métallurgique et destiné à recevoir la fonte liquide et le laitier, au fur et à mesure de leur formation.
- b) Les **étalages**, constitués par le tronc de cône inférieur en forme d'entonnoir et supportant les tuyères d'insufflation de gaz.
- c) La **cuve** ou tronc de cône supérieur, qui écraserait les étalages si elle n'était supportée par une partie métallique circulaire appelée **marâtre** et reposant elle-même sur de grosses consoles.
- d) Le **gueulard**, ouverture de la plate-forme supérieure, ayant pour rôle de faciliter l'enfournement des matières à transformer grâce à son dispositif de fermeture appelé « **cup and cone** », simple ou double. Au-dessous du gueulard se situent les **prises de gaz** qui sont des tuyauteries de captation des gaz combustibles.

Un **haut fourneau fonctionne 24 heures sur 24** et produit en moyenne, dans ce laps de temps, de **380 à 600 tonnes de fonte** (1).

(1) Un **haut fourneau vit dix années** environ ; il produit en moyenne pendant ce laps de temps 1.500.000 tonnes de fonte.

La Sidérurgie française possède actuellement 190 hauts fourneaux dont 148 sont à feu (1).

CARACTÉRISTIQUES D'UN HAUT FOURNEAU MODERNE
PRODUISANT 480 TONNES DE FONTE PAR 24 HEURES

Hauteur totale	25 m	Diamètre du creuset.....	5,50 m
Diamètre du gueulard....	5,40 m	Hauteur du creuset.....	2,30 m
Diamètre du ventre.....	8 m	Capacité	575 m ³
Hauteur des étalages....	4,50 m	(2)	

APPAREILS DE CHARGEMENT

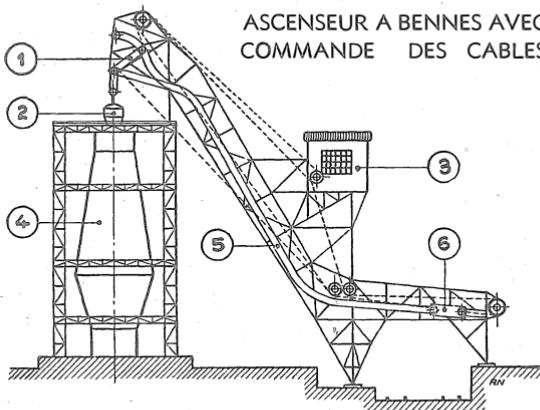


Fig. 15

1. Dispositif de centrage et d'ouverture des bennes.
2. Benne.
3. Cabine de commande des câbles.
4. Haut fourneau.
5. Rails de guidage du chariot porte-benne.
6. Contrepoids.

MÉCANISME D'ARRÊT ET D'OUVERTURE DES BENNES

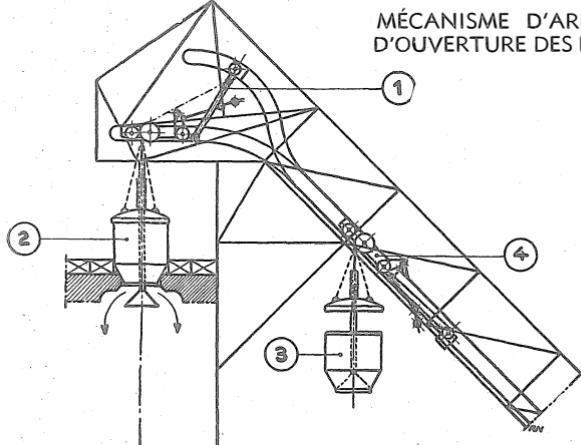


Fig. 16

1. Levier d'ouverture de la benne.
2. Benne ouverte et couvercle fermé.
3. Benne fermée et couvercle ouvert.
4. Chariot porte-benne.

(1) Sur les 148 hauts fourneaux en fonctionnement actuellement, 110 d'entre eux se situent en Lorraine.

(2) Les Fonderies de Pont-à-Mousson ont mis à feu un nouveau haut fourneau dont la construction a duré douze mois et dont la capacité de production atteindra dans un avenir proche environ 35.000 tonnes de fonte par mois.

Les appareils de chargement sont destinés à faire parvenir successivement, au sommet du haut fourneau, le coke, le mineraï et parfois le fondant, afin d'en permettre la disposition en couches alternées à l'intérieur de la cuve. L'ensemble du dispositif est chargé d'élever au gueulard de 1.400 à 1.700 tonnes de mineraï par 24 heures.

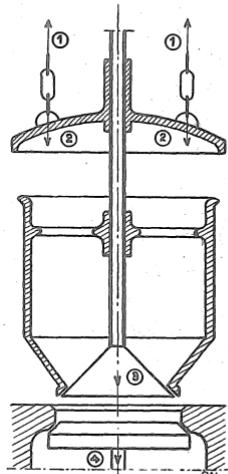
La benne, à l'usage du mineraï et du coke, est une sorte de cuve rétrécie à la partie inférieure en forme de tronc de cône et fermée à ses deux extrémités : à la partie supérieure un couvercle pouvant se baisser et se relever à volonté ; à la base, un fond conique solidaire d'une tige centrale commandant l'ouverture ou la fermeture.

Après le remplissage de la benne, celle-ci est accrochée au monte-charge constitué par un chariot de roulement qui, sur une voie inclinée, dirige la charge au gueulard. La partie supérieure des chemins de roulement est constituée de telle sorte que le fond de la benne vient coiffer exactement l'ouverture du « cup and cone » ; au même instant, le treuil continuant son mouvement, ferme tout d'abord le couvercle de la benne et ouvre, par l'intermédiaire de la tige centrale, le fond de celle-ci en poussant le cône de fermeture du gueulard. Ce mécanisme particulier a pour but essentiel d'éviter l'échappement des gaz combustibles pendant l'enfournement de la charge.

CROQUIS D'UNE BENNE

Fig. 17

1. Ouverture du couvercle.
2. Fermeture du couvercle.
3. Ouverture de la benne.
4. Ouverture du « cup and cone ».



ÉLÉMENS DE LA CHARGE

Le chargement d'un haut fourneau fait appel à trois éléments essentiels : le mineraï, le coke et le fondant.

1^o MINERAÏ

Comme nous l'avons vu plus haut, le mineraï chargé dans un haut fourneau doit être obligatoirement un oxyde de fer. Si nous sommes en présence d'un sulfure ou d'un carbonate, nous savons

que ceux-ci doivent subir un traitement préalable (grillage ou calcination) aboutissant à un oxyde. Les minerais pulvérulents sont transformés en briquettes pour éviter l'étouffement.

2^e COKE

En raison de sa friabilité et de sa teneur en matières volatiles, la houille ne peut être utilisée directement après son extraction ; il est indispensable de la transformer en un combustible plus résistant, le coke métallurgique. Cette transformation a lieu dans les fours à coke. En raison de la valeur des sous-produits, ceux-ci sont récupérés avec soin et transforment la cokerie en une véritable usine chimique.

FOUR A RÉGÉNÉRATION POUR LA FABRICATION DU COKE MÉTALLURGIQUE

1. Cellules d'admission des flammes.
2. Cellules d'élaboration du coke.
3. Chambres d'admission des gaz combustibles.
4. Chambres de récupération de la chaleur.
5. Soufflerie.
6. Piston de défournement.
7. Trémies de chargement.
8. Récupération des sous-produits.
9. Porte escamotable de défournement.

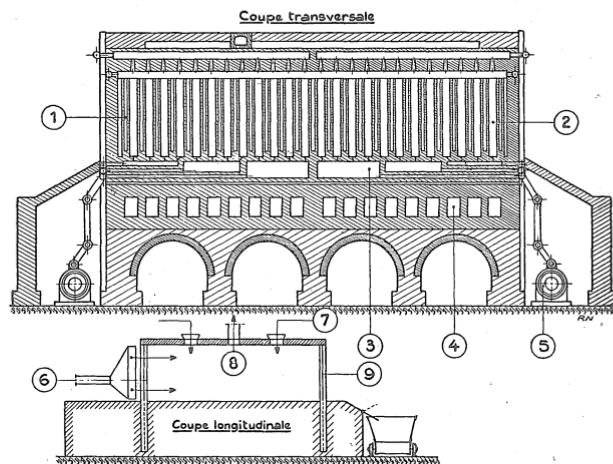


Fig. 18

Les fours à coke (fig. 18) sont constitués par une série de murs parallèles de 13 mètres de longueur laissant entre eux un intervalle de 0 m 40 ; ces murs sont recouverts d'une voûte et fermés aux deux extrémités. Entre leurs briques réfractaires sont ménagés des carreaux servant au chauffage.

Le chargement en houille pulvérisée a lieu dans ces sortes de couloirs. Le chauffage des fours résulte de la combustion d'un mélange de gaz et d'air. La houille emprisonnée entre deux murs incandescents se distille sans brûler et, au bout de 15 à 20 heures, se transforme en coke métallurgique. Le déchargeement très spectaculaire est opéré dans un wagon métallique spécial appelé coke-car ; celui-ci transporte ensuite son contenu incandescent sous la tour d'arrosage, qui l'éteint.

3^e FONDANT

Le fondant, matière stérile, sert à faciliter la fusion des impuretés contenues dans le minerai et le coke (cendres, gangues, etc.) et par cela même à composer le lit de fusion. Le fondant prend les deux formes suivantes :

a) **Castine**, fondant calcaire utilisé lorsque la gangue est siliceuse;

b) **Erbue**, fondant siliceux utilisé lorsque la gangue est calcaire.

Un minerai siliceux est un minerai pour lequel le rapport $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$ (1) est inférieur à 1,3 et nécessite, en marche normale du HF, l'adjonction de minerai calcaire ou de castine. Pratiquement, en Lorraine, on n'ajoute pas de castine mais on mélange les minerais.

Un minerai est dit **calcaireux** lorsque le rapport $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$ est supérieur à 1,3, c'est le cas des minerais lorrains dont le rapport est de l'ordre de 1,8. On appelle ce rapport **indice de basicité**.

Lorsque le minerai est trop calcaire, c'est-à-dire qu'il a un indice de basicité nettement supérieur à 1,3, on ajoute un minerai siliceux, sinon on n'arriverait pas à obtenir, à la température du HF, une viscosité suffisante du laitier pour permettre sa coulée.

PRODUITS DU HAUT FOURNEAU

ÉLÉMENTS DE LA CHARGE ET PRODUITS DE HAUT FOURNEAU

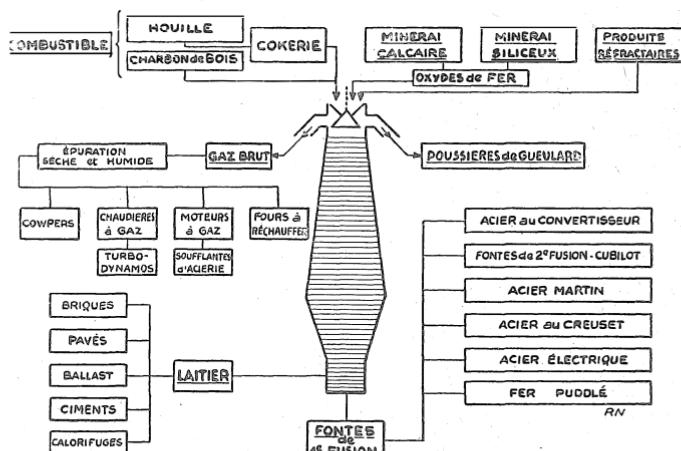


Fig. 19

(1) CaO : chaux. SiO₂ : silice.

Les produits du haut fourneau apparaissent sous trois formes différentes : la fonte ; le laitier et les gaz.

En Lorraine, on emploie un peu moins de 3.000 kg de minerai et un peu plus de 1.000 kg de coke pour fournir une tonne de fonte.

La charge met environ 20 heures pour se déplacer du gueulard au creuset.

1° FONTE

Toutes les cinq heures environ on évacue la fonte du creuset ; c'est généralement une fonte blanche dont la coulée s'effectue de deux façons différentes :

a) En gueuses pour obtenir des morceaux transportables susceptibles de transformations ultérieures. Cette coulée peut être

SCHÉMA DE L'OBTENTION DES GUEUSES DE FONTE AU SABLE

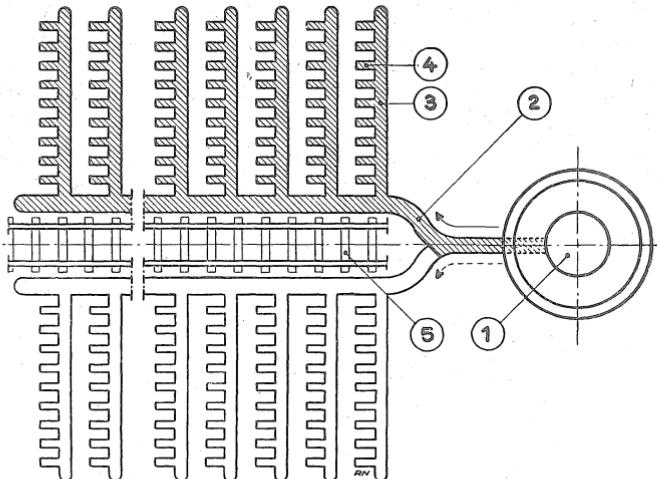


Fig. 20

- | | |
|--|---|
| 1. Haut fourneau. | 4. Gueuses de fonte. |
| 2. Chenal d'arrivée de la fonte liquide. | 5. Voie d'évacuation des gueuses détachées. |
| 3. Canal de dérivation ou « mère gueuse ». | |

effectuée, d'une part, dans une halle préparée à l'avance, en tracant dans le sable une rigole principale partant du trou de coulée ainsi que de multiples dérivations (fig. 20) ; d'autre part, mécaniquement sur une machine rotative à fabriquer les gueuses (fig. 21).

b) En poches lorsque la fonte est destinée à être transformée immédiatement en acier. Dans ce dernier cas, elle arrive liquide

aux mélangeurs de l'aciérie Thomas. Chacune de ces poches peut contenir 30 tonnes de métal.

SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT DE LA MACHINE
A FABRIQUER LES GUEUSES

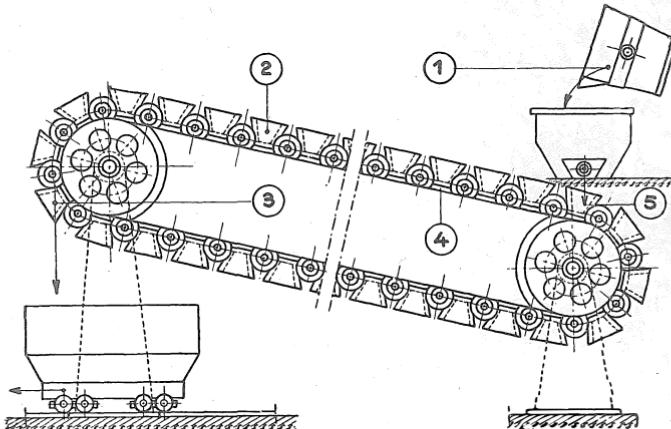


Fig. 21

1. Chargement de la fonte liquide. 2. Godets ou moules à gueuses.
3. Ejection des gueuses de fonte après refroidissement.
4. Chaîne sans fin montée sur rails. 5. Remplissage des godets.

2^e LAITIER

Le minerai de fer ne contient qu'environ 33 % de métal, aussi le laitier (silicate de chaux) résultant de la fusion de la gangue du minerai, du fondant, des impuretés et des cendres du combustible est produit en plus grande quantité que la fonte ; pour cette raison sa coulée a lieu plus souvent, c'est-à-dire environ toutes les deux heures, par un orifice situé à la partie supérieure du creusé.

Un haut fourneau fournit généralement une tonne et demie à deux tonnes de laitier pour une tonne de fonte. La densité des deux produits étant très différente, le volume de laitier est deux à trois fois supérieur à celui de la fonte.

Les laitiers qui, autrefois, étaient presque inemployés, font actuellement l'objet de multiples utilisations :

- a) Fabrication du ciment à l'aide de laitier pulvérulent obtenu en le précipitant, liquide, dans un courant d'eau froide ;
- b) Constitution du ballast pour voies de chemins de fer ;
- c) Obtention de la laine de laitier utilisée comme calorifuge et résultant de la précipitation d'un jet de vapeur d'eau dans la scorie en fusion ;

d) Fabrication des pavés et briques de laitier.

Les laitiers inutilisés en raison de la trop grande quantité produite sont dirigés sur le crassier.

3^e GAZ

L'air nécessaire à la combustion réductrice du coke métallurgique (3.000 mètres cubes par tonne de fonte) provoque pendant son passage au travers du combustible des réactions chimiques aboutissant à la formation d'un gaz générateur d'énergie dont la composition moyenne est la suivante :

Oxyde de carbone (CO) : 28 à 30 %	Hydrogène (H) : 2 à 4 %
Gaz carbonique (CO ₂) : 10 à 12 %	Azote (N) : 58 %

Production : 5.000 m³ par tonne de fonte.

SCHÉMA DE LA CIRCULATION DES GAZ
DE HAUT FOURNEAU

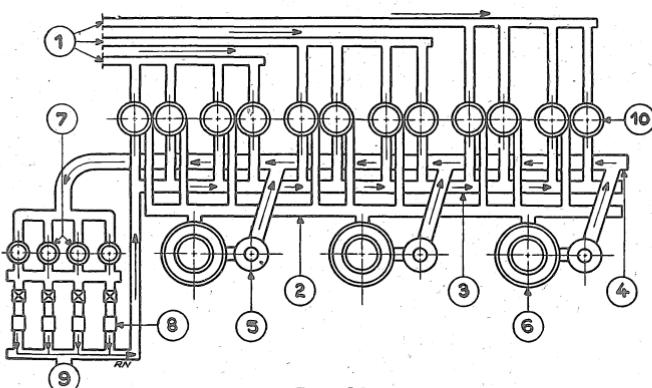


Fig. 22

- | | |
|--|---|
| 1. Conduites de vent froid. | 7. Laveurs à claires. |
| 2. Conduites de vent chaud. | 8. Désintégrateurs. |
| 3. Conduites de gaz épuré des cowpers. | 9. Gaz épuré destiné aux générateurs d'énergie. |
| 4. Gaz brut. | 10. Cowpers ou récupérateurs de chaleur. |
| 5. Epuration sèche. | |
| 6. Hauts fourneaux. | |

Ce gaz est récupéré au gueulard par les prises de gaz, mais à l'état brut il serait inutilisable en raison de l'humidité qu'il renferme et de la présence d'une quantité considérable de poussières appelées poussières de gueulard (1) (20 à 30 grammes par mètre cube). Il est donc indispensable de l'épurer pour le rendre propre à son utilisation dans les appareils récupérateurs et dans les moteurs. Cette épuration prend deux formes différentes :

(1) Chaque haut fourneau fournit par 24 heures environ 30 tonnes de poussières de gueulard dont la teneur en fer est de l'ordre de 35 à 40 %.

ÉPURATION SÈCHE

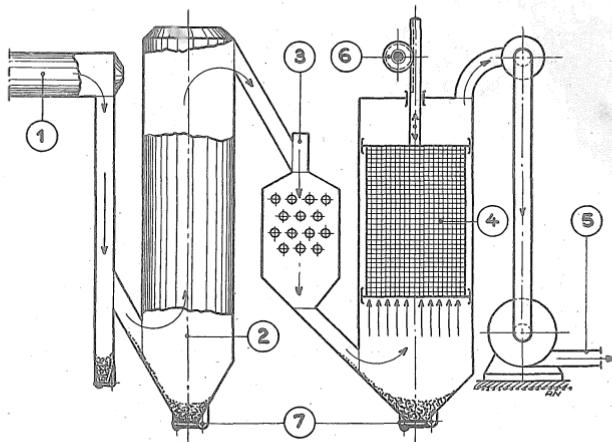


Fig. 23

- 1. Gaz brut arrivant du gueulard.
- 2. Boîte à poussières ou « bouteille ».
- 3. Réchauffeur.
- 4. Filtre mobile.
- 5. Sortie des gaz épurés.
- 6. Dispositif d'entraînement alternatif.
- 7. Evacuation des poussières.

a) **Epuration sèche dans des boîtes à poussières ou « bouteilles », sortes de cylindres en tôle chargés de lui faire abandonner ses impuretés les plus lourdes ;**

ÉPURATION HUMIDE

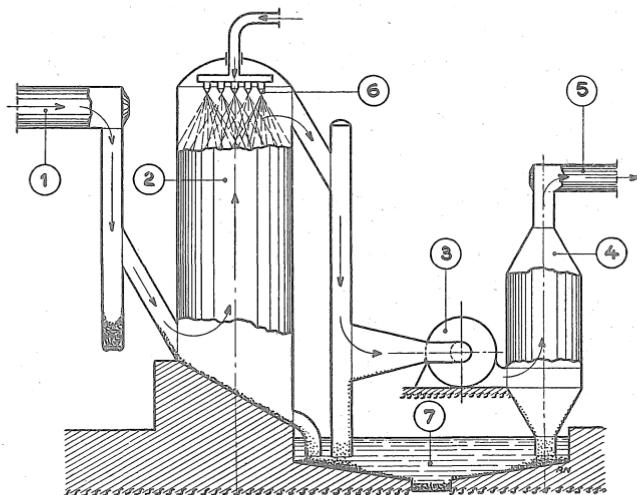


Fig. 24

- 1. Gaz brut arrivant du gueulard.
- 2. Cloche d'aspersion.
- 3. Ventilateur d'accélération des gaz.
- 4. Cloche d'élimination d'eau.
- 5. Sortie des gaz épurés.
- 6. Injecteurs d'eau.
- 7. Bac de dépôt des boues.

b) **Épuration humide** dans des tours verticales où, sous l'action d'une pluie artificielle, le gaz dirigé de bas en haut se débarrasse de la presque totalité de ses impuretés.

Les désintégrateurs sont chargés finalement, par brassage au milieu d'un brouillard d'eau pulvérisée, d'entraîner les particules les plus fines.

Le gaz de haut fourneau ne contenant plus maintenant que 0,02 g de poussière par mètre cube pourra être utilisé comme source d'énergie thermique, mécanique et électrique.

Récupérateurs de chaleur ou cowpers

Les récupérateurs de chaleur ou cowpers utilisent le gaz de haut fourneau dans la proportion de 30 à 45 % afin d'élever à 900° le vent admis aux tuyères.

Leur aspect extérieur est celui de tours cylindriques constituées essentiellement par une enveloppe de tôle contenant intérieurement des empilages de briques creuses appelés ruchage (fig. 25).

SECTION D'UN RÉCUPÉRATEUR RUCHAGE

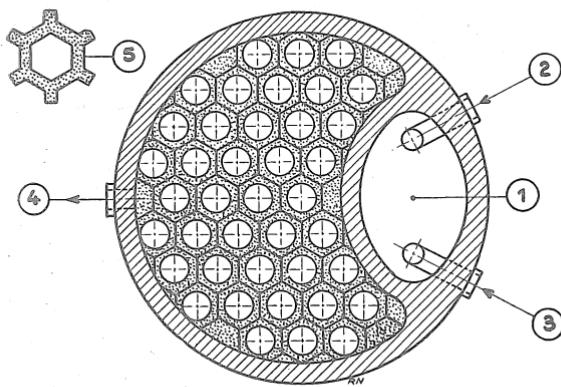


Fig. 25

1. Chambre de combustion.
2. Arrivée de l'air (comburant).
3. Arrivée des gaz (combustible).
4. Sortie des gaz brûlés.
5. Brique spéciale de ruchage.

On y envoie alternativement du gaz combustible ou du vent froid. Pendant la période de chauffage, le gaz enflammé porte au rouge le briquetage intérieur ; cette opération dure deux à trois heures. Pendant la période de récupération, après fermeture de l'arrivée de gaz, on ouvre la vanne d'admission du vent froid provenant des soufflantes. L'air aspiré au dehors se réchauffe au contact des briques incandescentes et est dirigé vers les tuyères du haut fourneau où il est admis à une température de 800°. Chaque haut fourneau utilise deux ou trois récupérateurs fonctionnant successive-

ment ; les multiples manœuvres de vannes nécessaires à ces inversions sont toutes effectuées automatiquement à partir d'un tableau central de distribution.

FONCTIONNEMENT DES RÉCUPÉRATEURS

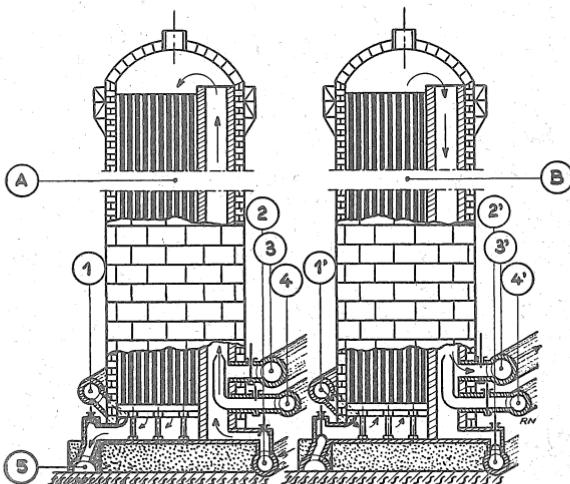


Fig. 26

- A. Période de chauffage.
- B. Période de récupération.
- 1. Canalisation fermée du vent froid des soufflantes.
- 1'. Canalisation ouverte du vent froid des soufflantes.
- 2. Admission du gaz de H.F. (ouvert).
- 2'. Admission du gaz de H.F. (fermé).
- 3. Canalisation fermée de vent chaud du H.F.
- 3'. Canalisation ouverte de vent chaud du H.F.
- 4. Air soufflé (comburant). Canalisation ouverte.
- 4'. Air soufflé (comburant). Canalisation fermée.
- 5. Evacuation des fumées vers la cheminée.

CARACTÉRISTIQUES D'UN RÉCUPÉRATEUR MODERNE CHAUFFANT 24.000 MÈTRES CUBES D'AIR PAR HEURE

Hauteur totale : 25 mètres.

Diamètre : 6 m 50.

Surface totale de chauffe : 5000 mètres carrés.

Poids des briques de ruchage : 400 tonnes.

Soufflantes

Les machines soufflantes ont pour rôle de lancer dans le haut fourneau l'air chaud sous pression provenant des récupérateurs de chaleur. Leur principe est celui des compresseurs d'air actionnés dans les centres sidérurgiques par des moteurs à gaz dont ils font partie intégrante.

L'énergie nécessaire au fonctionnement de ces derniers est généralement l'**oxyde de carbone épuré** provenant des prises de gaz du haut fourneau.

Moteurs à gaz - Chaudières spéciales - Fours de réchauffage

a) Comme source d'énergie mécanique et électrique le **gaz épuré** est admis dans des **moteurs à gaz** actionnant les **soufflantes de haut fourneau** (Machines comportant deux cylindres-moteurs et un troisième de plus grande dimension appelé **soufflet**) et les **soufflantes d'aciérie** plus imposantes qui compressent l'air nécessaire à l'alimentation des convertisseurs Thomas.

D'autres moteurs à gaz sont affectés à la production de l'énergie électrique ; ceux-ci comportent quatre cylindres accouplés deux par deux et actionnent des **alternateurs**.

b) Comme source d'énergie thermique, le gaz de haut fourneau est insufflé dans des **chaudières spéciales** à partir desquelles la vapeur produite alimente des **turbo-alternateurs**.

D'autre part, les gaz d'échappement des moteurs étant à très haute température (production : 2 millions de mètres cubes par 24 heures, à 600°) servent également à alimenter des **chaudières à vapeur** fournissant une force motrice d'appoint appréciable.

CHAUDIÈRE A VAPEUR CHAUFFÉE AU GAZ DE HAUT FOURNEAU

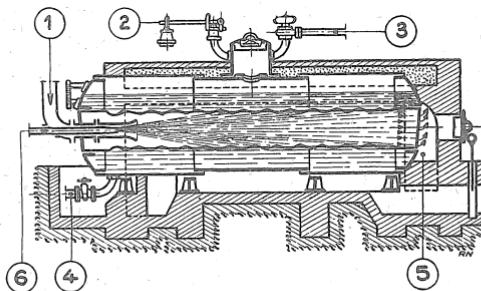


Fig. 27

1. Admission du gaz de H.F. épuré.
2. Soupe de sûreté.
3. Tubulure de sortie de vapeur.
4. Tubulure d'arrivée d'eau.
5. Évacuation des gaz brûlés.
6. Admission d'air sous pression (comburant).

c) Finalement le gaz de haut fourneau alimente les **fours de réchauffage** des lingots d'acier, afin de faire acquérir à ces derniers une température homogène indispensable pour leur **laminage**.

Comme ordre de grandeur et d'importance, la **centrale à gaz** d'Hagondange, réunissant la plupart des machines décrites précédemment, est située dans un bâtiment de 185 mètres de long sur 77 mètres de large et fournit une puissance de **55.000 CV**.

PROPRIÉTÉS ET UTILISATION DES DIVERSES FONTES

1° **Fonte blanche** ou fonte de première fusion, contenant de 2,5 à 3 % de C. R = 24 kg/mm²; HB = 280; densité : 7,6; point de fusion : 1100°. C'est un métal à cassure brillante, à grains fins et serrés, très fragile au choc et extrêmement dur à usiner. Elle est peu fluide à la coulée. Une allure froide du haut fourneau et la présence de manganèse favorisent sa formation. Dans la fonte

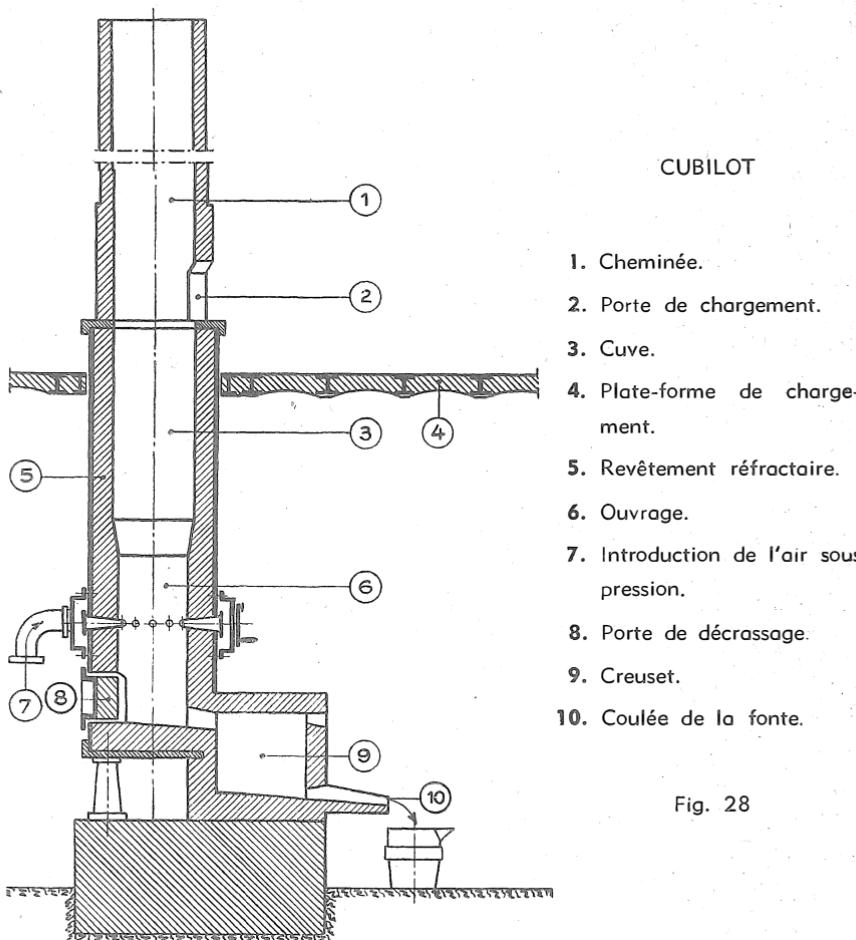


Fig. 28

CARACTÉRISTIQUES D'UN CUBILOT DE 14 TONNES

Hauteur totale	20,50 m
Diamètre intérieur de la cuve	2,80 m
Diamètre intérieur du creuset	2,40 m
Nombre de tuyères	8
Soufflerie: 200 à 230 m ³ de vent par minute.	
Combustible: 8,600 kg de coke pour 100 kg de fonte.	

blanche, le carbone se trouve dilué dans la masse sous forme de carbure.

Elle peut être utilisée à sa sortie du haut fourneau :

a) Pour la fabrication de l'acier dans des appareils de décarburation (Convertisseurs Bessemer et Thomas, Four Martin-Siemens).

b) En fonderie pour la fabrication de grilles d'appareils de chauffage, de foyers de locomotives, de colonnes de soutien de ponts, de canalisations d'eau et de gaz, de plaques d'égouts, de candélabres, de grilles d'arbres, de bancs de squares, etc.

2° **Fonte grise**, généralement de deuxième fusion, appelée fonte mécanique ou fonte de cubilot, contenant 3 à 5 % de C. $R = 22 \text{ kg/mm}^2$; $HB = 210$; densité : 6,9; point de fusion : 1200° . C'est un métal à cassure grise, à grains homogènes, plus fluide que la fonte blanche. Elle s'usine très facilement, mais résiste mal aux chocs.

Une allure chaude du haut fourneau et la présence de silicium favorisent sa formation. Dans la fonte grise, le carbone a repris son état stable de graphite.

Elle est obtenue en faisant fondre de la fonte blanche ou des déchets de fonte appelés **bocages** dans un appareil métallurgique appelé **cubilot**, on ajoute à la charge du **fondant** qui, combiné avec les impuretés du combustible (coke métallurgique) fournit du **laitier**.

Ses **utilisations** sont très nombreuses en mécanique en raison de son **travail facile à l'outil** et de son **indéformabilité** :

Pièces usinées d'appareils de chauffage ; Bâts de machines-outils ; Blocs cylindres de moteurs à explosion, etc.

Cubilot. — C'est une sorte de tour cylindrique constituée par un revêtement extérieur en tôle d'acier enrobant un garnissage en briques réfractaires. Les matières à transformer sont introduites par une **porte de chargement** latérale. Le vent est admis dans une boîte à vent circulaire alimentant généralement huit tuyères. Le laitier et la fonte liquide sont évacués par la partie inférieure du creuset (fig. 28).

Le fonctionnement du cubilot est très différent de celui du haut fourneau ; en effet, la fonte n'y subit qu'une **simple fusion**. Le volume de vent soufflé est de 8.000 mètres cubes par tonne de fonte.

Les gros cubilots produisent environ 8 à 10 tonnes de fonte par heure et par mètre carré de section.

3^o Fonte truitée. La fonte truitée résulte du mélange en proportions déterminées de fonte blanche et de fonte grise. Peu utilisée, elle ne trouve un emploi que dans la fabrication de certaines pièces soumises au frottement.

4^o Fontes alliées. Ce sont des fontes de qualité résultant de l'addition en faibles proportions de **nickel**, de **chrome**, de **manganèse**, d'**aluminium**, etc. Ces métaux, appelés **éléments d'addition**, confèrent au produit obtenu des caractéristiques mécaniques bien supérieures à celles des fontes ordinaires. Leur emploi se généralise actuellement pour la fabrication de toutes les pièces de fonderie à haute résistance.

5^o Fonte trempée. La fonte trempée résulte de la coulée en moules métalliques ou **coquilles** de fontes de première ou deuxième fusion. Le brusque contact du métal fondu avec le moule produit une surface extérieure très dure, seulement attaquable à la meule d'émeri. Elle est utilisée pour la fabrication des cylindres de laminaires et de minoterie.

6^o Fonte malléable. C'est un produit intermédiaire entre la fonte et l'acier, obtenu par décarburation superficielle d'une fonte blanche en présence d'un oxyde de fer (hématite ou battitures). La fonte malléable est utilisée dans la fabrication de toutes pièces devant posséder une âme dure et une périphérie douce susceptible d'être travaillée (raccords de tuyauteries de tous fluides, liquides et gazeux ; pièces de serrurerie et de machines agricoles, etc.).

7^o Fonte doucie. C'est une fonte très carburée, obtenue par le chauffage de pièces de fonte grise en présence de charbon de bois. Il en résulte une **fonte grasse** utilisée pour la fabrication de segments de pistons de moteurs à explosion.

La fonte se moule, se trempe difficilement, mais ne se forge pas.

L'ACIER

GÉNÉRALITÉS

Le fer pur étant plus spécialement réservé à l'industrie électrique, la construction mécanique actuelle fait appel presque exclusivement comme produit ferreux à l'acier (1) dont les procédés d'élaboration fournissent un métal dont les différentes nuances de composition représentent un choix riche et varié depuis un acier plus doux, plus malléable et plus voisin du fer que le métal désigné autrefois sous ce même nom, jusqu'aux aciers spéciaux au nickel, au tungstène, au chrome, etc., qui contiennent parfois moins de 50 % de fer.

MÉTALLURGIE DE L'ACIER

L'acier est le métal ferreux le plus utilisé dans l'industrie, sa teneur en carbone est intermédiaire entre celle du fer et celle de la fonte, c'est-à-dire comprise entre 0,15 et 1,5 % de C.

Trois procédés sont utilisés pour l'obtenir :

1° Décarburation de la fonte :

- a) Au convertisseur (procédés Bessemer et Thomas) ;
- b) Au four à sole (procédé Martin-Siemens) ;

2° Carburation du fer au four à cémenter, opération suivie, le plus souvent, d'une fusion au four à creusets.

3° Electrosidérurgie, consistant à fondre et affiner l'acier en faisant usage de l'énergie électrique.

1° DÉCARBURATION DE LA FONTE

a) ACIER AU CONVERTISSEUR

Dans cette méthode, la décarburation de la fonte est opérée à l'intérieur d'une vaste cornue d'acier, garnie d'un revêtement réfractaire et appelée convertisseur (voir fig. 31). Cette décarburation est provoquée par une soufflerie d'air froid traversant la masse métallique en fusion. Il est à remarquer que le convertisseur n'est pas un four avec son foyer, mais un appareil métallurgique particulier devant recevoir la fonte à l'état liquide; la chaleur nécessaire à l'entretien de cette fusion étant fournie par des éléments

(1) Autrefois, le terme « acier » désignait un métal dur, en opposition à « fer » qui signifiait un métal doux. De nos jours, la seule distinction qui subsiste est la suivante : « acier » désigne le métal ferreux obtenu à l'état liquide, et « fer » celui qui est produit à l'état pâteux et spongieux par puddlage ou corroyage.

thermogènes contenus dans la fonte traitée (silicium, phosphore, carbone).

Pour transformer une tonne de fonte lorraine en acier, il faut lui enlever 40 kg de carbone, 8 kg de silicium et 15 kg de phosphore.

Description d'un convertisseur. — C'est une sorte de grande cornue pouvant contenir jusqu'à 35 tonnes de métal. Les parois extérieures sont faites de tôles d'acier rivetées de 20 à 25 mm d'épaisseur ; quant au revêtement intérieur, il est constitué de briques réfractaires dont la composition est différente suivant les fontes à décarburer. Le fond est constitué par un disque réfractaire percé d'une grande quantité de trous tronconiques (210 environ) appelés tuyères. Celles-ci débouchent par leur grand diamètre dans la boîte à vent, elle-même reliée à la ceinture de vent par une conduite extérieure généralement de section rectangulaire. C'est par la ceinture de vent qu'arrive l'air froid sous pression provenant des soufflantes d'aciérie. La partie centrale du convertisseur possédant le plus grand diamètre s'appelle la panse et la partie supérieure étranglée, le bec.

Pour faciliter les opérations de chargement, d'addition de produits de transformation et de coulée, le convertisseur peut basculer autour d'un axe horizontal constitué par deux tourillons. L'un de ceux-ci a la particularité d'être creux pour livrer passage à l'air sous pression nécessaire à la décarburation.

La capacité intérieure nécessaire pour décarburer la fonte doit être de 8 à 10 fois supérieure au volume de cette fonte en raison de la grande quantité de scories produites.

CARACTÉRISTIQUES D'UN CONVERTISSEUR MODERNE DE 35 TONNES

Diamètre : 4 mètres.

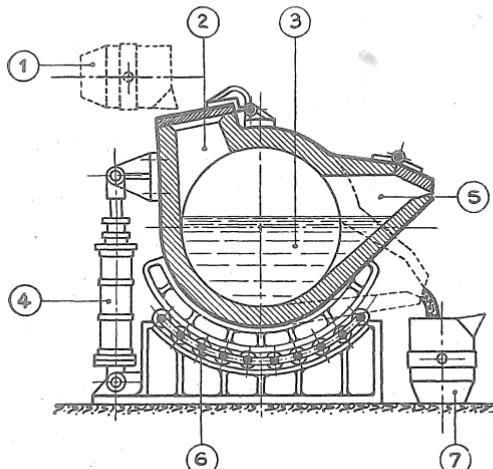
Hauteur du bain liquide : 0,50 m.

Hauteur totale : 7,50 mètres.

Durée du garnissage réfractaire : 600 opérations.

Poids à vide : 70 tonnes

Mélangeur. — La fonte liquide nécessaire à l'alimentation des convertisseurs provient généralement d'un mélangeur qui est une sorte de grand récipient à parois réfractaires pouvant contenir jusqu'à 1.700 tonnes de métal, c'est-à-dire les différentes coulées de plusieurs hauts fourneaux ; un four particulier adjoint à l'appareil conserve le métal à l'état liquide. Le rôle du mélangeur est de rendre plus homogène la composition des fontes d'affinage.



MÉLANGEUR

1. Poche amenant la fonte au mélangeur.
2. Porte de chargement.
3. Fonte liquide.
4. Dispositif hydraulique de pivotement.
5. Bec de coulée.
6. Chemin de roulement.
7. Poche transportant la fonte au convertisseur.

Fig. 29

Fonctionnement d'un convertisseur

Avant de basculer la fonte blanche liquide dans le convertisseur, on chauffe son revêtement soit avec du coke incandescent, soit, d'une façon plus pratique, avec du gaz combustible. La disposition particulière des vannes admet le vent afin d'empêcher le métal en fusion de pénétrer dans les tuyères ; la cornue est alors en position horizontale. Lorsque la charge est suffisante, on la redresse en position verticale (fig. 30).

L'oxygène de l'air froid insufflé brûle d'abord le silicium ; c'est la période des étincelles, d'une durée de 4 à 5 minutes ; puis il oxyde ensuite le carbone pendant la période des flammes qui dure environ 12 minutes. La combustion de ces deux corps (éléments thermogènes) a pour effet d'élever d'une façon importante la température du bain de 1300° à 1600°. Ensuite, suivant que nous sommes en présence d'un convertisseur Bessemer ou d'un convertisseur Thomas, la fin de la décarburation est différente.

1^o Convertisseur Bessemer : Bouillonnement de la masse en fusion, apparition de fumées rougeâtres indiquant le commencement de l'oxydation du fer ; confection d'éprouvettes et addition d'éléments de désoxydation et de recarburation. Coulée en poche ou en lingotière.

2^o Convertisseur Thomas : Période de « sur soufflage » pour brûler le phosphore, d'une durée de 3 à 4 minutes ; dégagement de vapeurs rousses ; confection d'éprouvettes et addition de « spiegel » (1). Coulée en poche ou en lingotière.

(1) Le mot spiegel est le diminutif de l'allemand « spiegeleisen » signifiant miroir de fer.

Dans les deux procédés d'affinage de la fonte l'addition de ce produit particulier, composé comme suit :

Fe : 82,6 %

Mn : 12 %

C : 5 %

Si-P : 0,4 %

possède un triple rôle :

- a) Recarburer l'acier en portant sa teneur en carbone de 0,08 % à 0,65 %.

SCHEMA INDICANT LES TROIS POSITIONS D'UN CONVERTISSEUR AU COURS DE L'ÉLABORATION DE L'ACIER

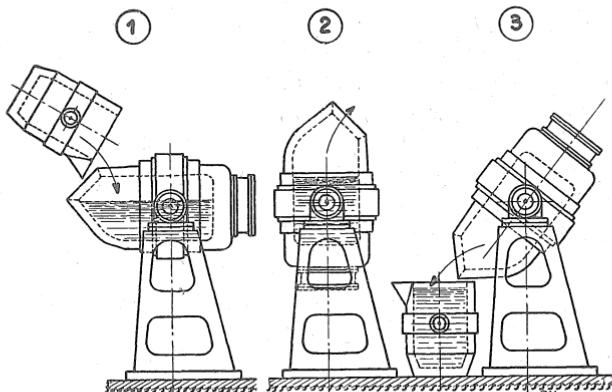


Fig. 30

1. Position horizontale. Chargement de la fonte liquide. Additions nécessaires au dosage de l'acier. Prise des éprouvettes.
2. Position verticale. Décarburation de la fonte. Direction des étincelles, des flammes et des vapeurs.
3. Position inclinée basse. Décrassage et coulée de l'acier en poche.

- b) Désoxyder le métal en formant un oxyde de manganèse, puisque le Mn est plus avide d'oxygène que ne l'est le fer :



- c) Augmenter la dureté du métal par addition de Mn non transformé.

Fig. 31

1. Crémailleure de pivotement.
2. Engrenage solidaire de l'axe d'articulation.
3. Plancher.
4. Commande hydraulique de la crémailleure.
5. Revêtement extérieur en tôle d'acier épaisse.
6. Panse.
7. Boîte à vent.
8. Cheminée d'évacuation.
9. Soupape d'échappement.
10. Soupape d'admission.
11. Arrivée du vent.
12. Bec de la cornue.
13. Briques siliceuses.
14. Briques siliceuses pour convertisseur Bessemer.
15. Briques de dolomie pour convertisseur Thomas.
16. Tuyères de 20x26 au nombre de 220.

COUPE D'UN CONVERTISSEUR MODERNE

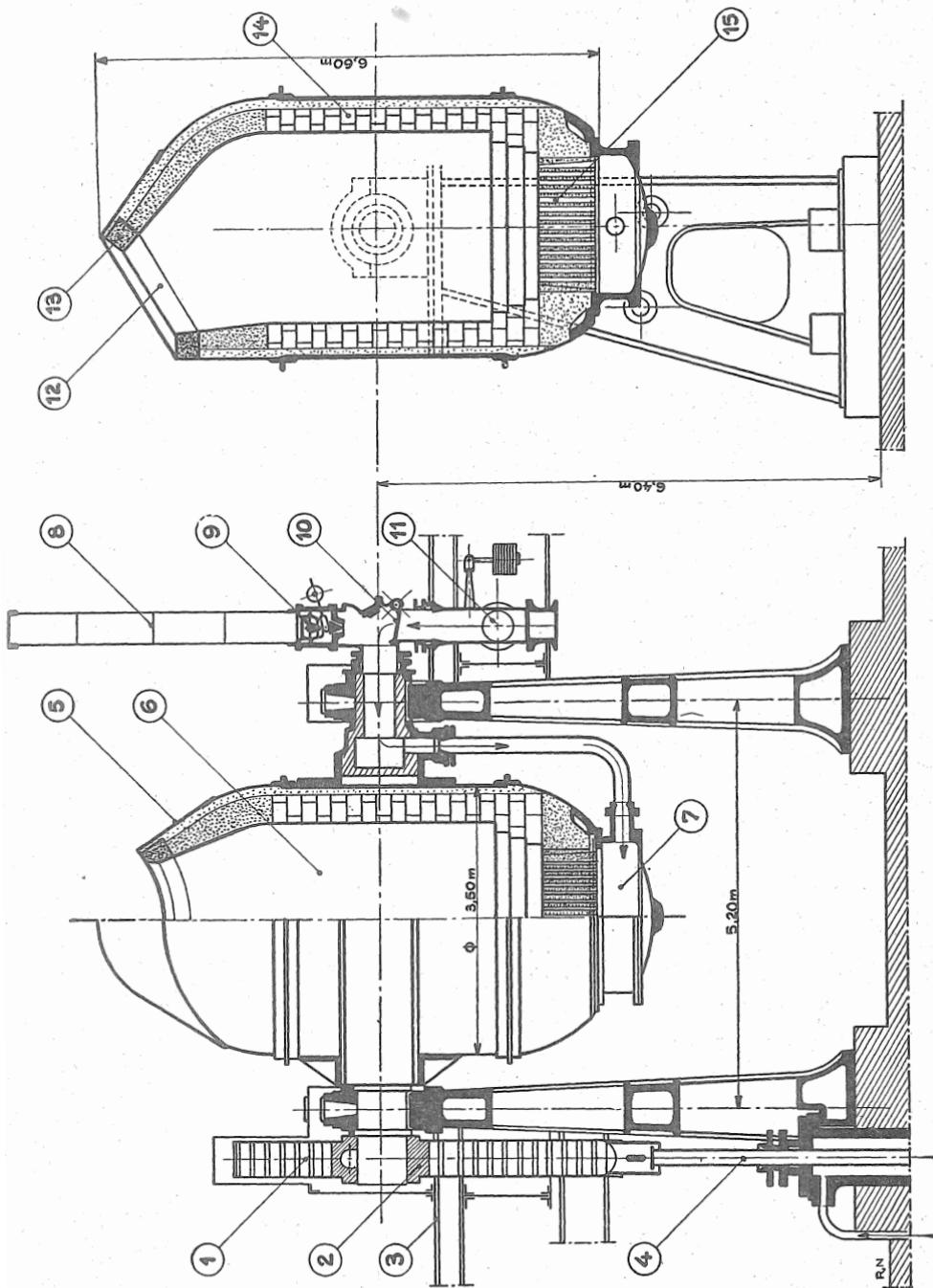


Fig. 31

PROCÉDÉ BESSEMER (1)

Du nom de l'inventeur anglais **Henry Bessemer** qui fit breveter sa cornue en 1860, ce procédé s'appelle également **affinage acide**. Le revêtement intérieur du convertisseur est constitué par des **briques réfractaires siliceuses**. Les fontes traitées doivent être riches en **silicium** et pauvres en **phosphore** (2) (**Si : 2 % ; P : 0,1 %**).

PROCÉDÉ THOMAS ET GILCHRIST (3)

Du nom de deux inventeurs anglais : **Sydney Thomas** et **Percy Gilchrist**, qui, entre 1872 et 1877, mirent au point une transformation du procédé Bessemer par la décarburation des **fontes phosphoreuses**, en remplaçant le briquetage intérieur à base de silice par un briquetage basique insensible à l'action de la chaux. Ces briques sont fabriquées avec de la **dolomie** qui est un carbonate double de chaux et de magnésie. Cette **méthode basique** fait appel à des **fontes riches en phosphore** et pauvres en **silicium** (**P : 2 % ; Si : 0,5 %**).

Afin d'en éliminer le phosphore, on ajoute au bain de la **chaux** (15 à 20 % du poids du métal) qui, au contact des briques basiques, donne naissance à un **phosphate de chaux ou scorie de déphosphoration** utilisé comme **engrais**.

Cette invention allait permettre à la **Lorraine**, située sur l'un des gisements les plus importants du monde et dont tous les minerais sont **phosphoreux**, de jouer un rôle de premier ordre dans le développement de la **Sidérurgie française** (4).

PROCÉDÉS MODERNES D'ÉLABORATION DE L'ACIER PAR SOUFFLAGE D'OXYGÈNE

L'acier **Thomas** possède toujours plusieurs éléments nuisibles à sa bonne qualité, d'une part : le **soufre** et le **phosphore** provenant de la fonte brute de HF et, d'autre part, l'**oxygène** et l'**azote** provenant de l'air soufflé. Le soufre rend l'acier fragile à chaud (acier rouverain) ; le phosphore augmente la fragilité à froid (acier aigre). Quant à l'**oxygène** et surtout l'**azote**, ils favorisent une **rupture fragile** à température ordinaire.

Les moyens modernes d'élaboration de l'acier à l'**oxygène** auraient donc pour but la diminution de ces teneurs d'éléments nui-

(1) **Henry Bessemer**, né le 18 janvier 1813, mort le 15 mars 1898.

(2) Le phosphore a le grave défaut de rendre l'acier **aigre**, c'est-à-dire cassant à froid.

(3) **Sydney Thomas**, né le 16 avril 1850, mort à 35 ans le 1^{er} février 1885.

(4) Il existe en France : 101 convertisseurs **Thomas** dont 83 en **Lorraine** et 14 dans la **région du Nord**.

sibles afin d'approcher et même d'égaler les qualités des aciers Martin.

Aciers Thomas ordinaires : 0,018 % à 0,024 % d'azote.

Aciers améliorés à l'oxygène : 0,002 % à 0,004 % d'azote.

On aboutit alors à la fabrication des tôles épaisses de l'industrie navale et des tôles minces de la carrosserie automobile (emboutissage profond).

Avant d'aborder les procédés à l'oxygène soufflé, intéressons-nous d'abord à deux méthodes d'amélioration de l'acier Thomas sans soufflage d'oxygène.

Procédé HPN. Cette méthode allemande a pour but essentiel la non-introduction d'azote par soufflage, on procède simplement en fin de combustion du carbone à des additions d'éléments riches en oxygène : minerai de fer, riblons oxydés et battitures.

Procédé Ugiperval (Ugine-Perrin-Valenciennes). **Addition de laitier spécial** produit au four électrique. L'acier Thomas est alors transvasé dans une cornue contenant déjà du laitier fondu, ce qui provoque l'émulsion des impuretés de l'acier. La coulée est finalement opérée après décantage et décrassage. L'addition terminale d'aluminium (500 g/tonne) désoxyde le bain et fixe l'azote sous forme de nitrures. Ce procédé français fournit d'excellentes tôles pour carrosserie.

Actuellement, en Allemagne, en Angleterre et en France, le soufflage à l'air enrichi d'oxygène et même à l'oxygène pur a permis la disparition presque complète de l'azote.

Procédé du rotor. C'est une méthode allemande d'affinage de la fonte brute de HF ; elle fait appel à l'introduction d'oxygène dans un **tambour rotatif** par deux lances d'admission refroidies à l'eau. Deux courants distincts s'établissent alors, l'un plonge dans le bain liquide et l'autre, débouchant au-dessus du bain, brûle l'oxyde de carbone produit. La vitesse de rotation du rotor est très lente (0,1 à 0,5 tour/mn) permet d'économiser le revêtement réfractaire.

Durée de l'opération : 40 mn à 2 h pour 60 tonnes d'acier produit.

Température intérieure : 2000° C.

Consommation d'oxygène : 90 m³/tonne d'acier.

Consommation de chaux : 125 kg/tonne d'acier.

Procédé Kaldo

Cette méthode consiste à convertir la fonte en acier par **soufflage d'oxygène pur** dans un four tournant et basculant ressemblant à

une bétonnière. Le croquis ci-joint donnera une idée précise de son fonctionnement.

Diamètre extérieur de la cornue : 3,50 m.

Longueur : 5,60 m.

Diamètre intérieur : 2,30 m.

Capacité : 30 tonnes.

Vitesse de rotation maximum : 30 t/mn.

PROCÉDÉ KALDO D'ÉLABORATION DE L'ACIER A L'OXYGÈNE

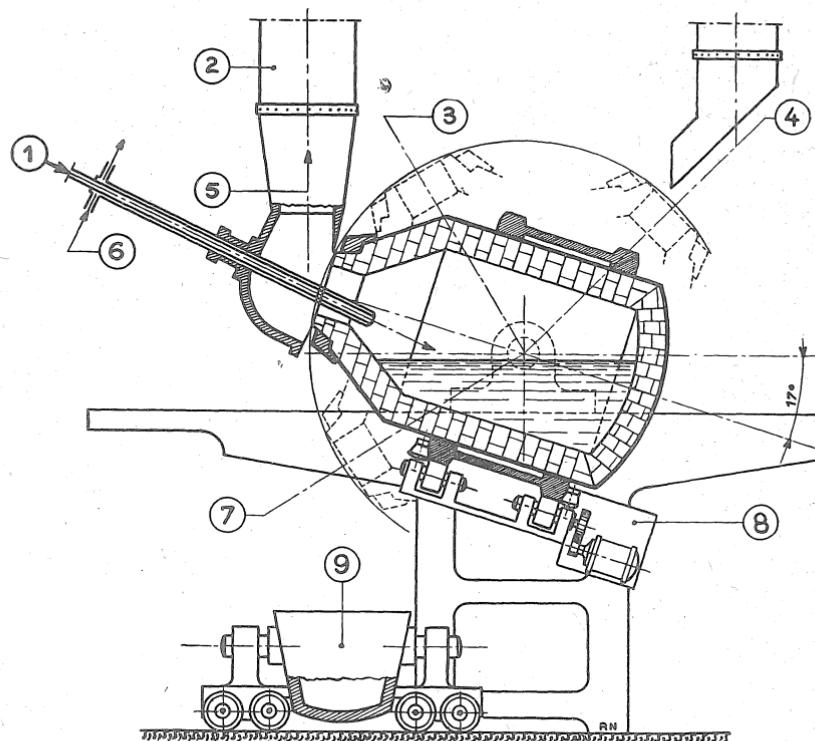


Fig. 32

1. Arrivée d'oxygène.
2. Hotte relevable.
3. Axe d'enfournement de la fonte liquide.
4. Axe d'enfournement du minerai et de la chaux.
5. Sortie des fumées.
6. Arrivée de l'eau de refroidissement.
7. Axe de coulée de l'acier.
8. Dispositif de rotation et de pivotement de la cornue.
9. Poche de réception de l'acier.

L'oxygène y est introduit par une lance à refroidissement d'eau inclinée de 17° par rapport à l'horizontale. Cette inclinaison faible de la cornue permet de baigner à tout instant la moitié seulement du fond de la cornue ; l'autre moitié ne subissant aucune élévation

de température excessive. La vitesse de rotation relativement grande du convertisseur permet d'accélérer l'affinage, celle-ci est maxima pendant la phase de soufflage.

La durée totale d'opération est de 80 mn.

Chargement et addition : 10 mn.

Soufflage d'oxygène : 40 mn.

Décrassage, prise d'éprouvette et coulée : 30 mn.

Production d'acier : 19,5 tonnes/heure.

Pour les fontes Thomas, nous obtenons :

Phosphore : 0,025 %, soufre : 0,019 %, azote : < 0,004 %.

b) ACIER AU FOUR MARTIN-SIEMENS

Généralités. — Le procédé **Martin-Siemens** de fabrication de l'acier est appelé encore **affinage sur sole**. Le principe en a été indiqué par Réaumur dès 1772 et la réalisation industrielle n'est venue que beaucoup plus tard. Ce n'est, en effet, qu'en 1865 que le Français **Pierre Martin** et l'Anglais d'origine allemande **William Siemens** mirent au point l'appareil métallurgique représenté sur la figure 33. Son rôle est de produire un acier en diluant sur la sole d'un four de grandes dimensions deux catégories de produits représentant, les uns du **fer carburé** et les autres du **fer oxydé** (1).

Description du four. — Comportant trois parties essentielles : la sole, le laboratoire et la voûte, il peut être fixe ou pivotant. Dans le premier cas, la sole est inclinée vers le trou de coulée et, dans le second, elle a une forme régulièrement creuse. Elle est acide ou basique suivant les fontes à traiter. Ce dernier type de four, le plus moderne, peut contenir 150 tonnes de métal.

Le **laboratoire** est l'espace situé entre la sole et la voûte, il présente à l'avant 3 ou 5 ouvertures fermées par des **portes à guillotine** constituées par un cadre métallique garni de briques réfractaires. L'ouverture centrale est aménagée pour permettre l'évacuation des scories et le décrassage.

La **voûte** est toujours en **briques siliceuses**, surbaissée pour l'affinage des fontes siliceuses et surhaussée pour celui des fontes phosphoreuses.

De chaque côté de la sole débouchent deux conduits superposés appelés **brûleurs**. Le conduit supérieur, de plus grande dimension, amène l'**air** réchauffé dans le **récupérateur Siemens**, et le

(1) Le premier four Martin-Siemens fut construit en 1867 à Firminy (Loire).

FOUR MARTIN-SIEMENS DE 35 TONNES

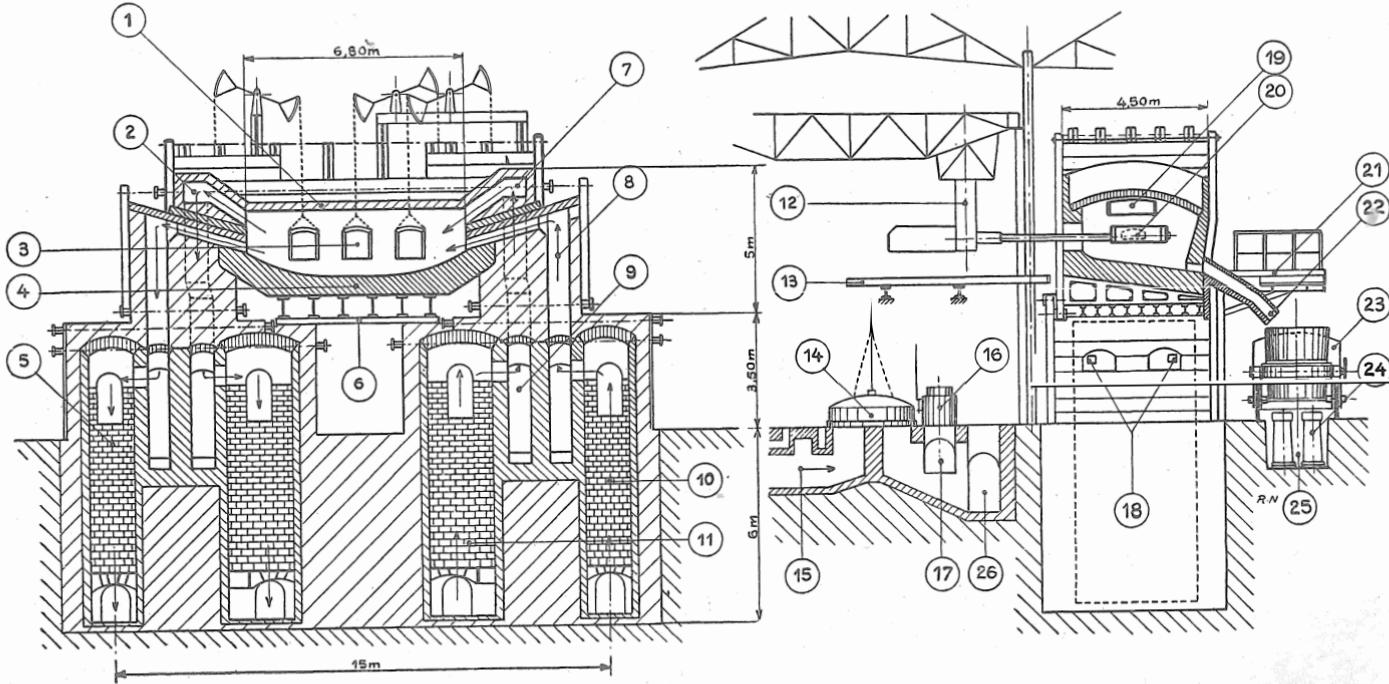


Fig. 33

conduit inférieur le **gaz combustible**, provenant de gazogènes, nécessaire à la fusion des éléments à transformer. Des vannes spéciales d'inversion permettent de faire passer le gaz et l'air tantôt de droite à gauche et tantôt de gauche à droite toutes les 30 minutes. Les gaz brûlent dans le four et s'échappent alternativement par les brûleurs à gaz et à air de droite ou de gauche. La température dans les récupérateurs atteint 1100° ; dans le four, elle varie entre 1600° et 1700°.

L'opération complète dure de sept heures et demie à huit heures.

CARACTÉRISTIQUES D'UN FOUR MARTIN-SIEMENS DE 45 TONNES

Longueur totale : 15 mètres.	Largeur de la sole : 2,20 m.
Hauteur au-dessus du sol : 8,50 m.	Profondeur du bain : 0,50 m.
Longueur de la sole : 6,80 m.	Epaisseur du revêtement : 0,40 m.

Capacité des différents fours fixes ou pivotants : 40 à 150 tonnes.

Il existe aux Etats-Unis un four Martin-Siemens de 600 tonnes dont les caractéristiques essentielles sont les suivantes :

Longueur : 33 mètres.	Largeur : 8,50 mètres.
Sole : 22,80 m x 5,60 m.	7 portes de chargement.
Surface de chauffe : 3.595 m ² .	Cheminée : 76,50 m de hauteur.
Temps de chauffe : 15 heures.	Chargement : 3 h 30'.

Fonctionnement du four. — L'action réciproque des deux éléments introduits : fer oxydé et fer carburé ramène l'affinage à deux catégories de phénomènes : la **dilution** et l'**oxydation**. Le carbone de la fonte se répartit régulièrement dans l'ensemble du bain, ce qui en diminue la teneur initiale ; en outre, toutes les impuretés sont éliminées par l'atmosphère oxydante du four et l'oxygène provenant de la réduction du minerai ; enfin, le phosphore est fixé par la chaux et transformé en phosphate de chaux.

1^o **Procédé de dilution** (formule Martin). On ajoute au bain de fonte des **riblons** (1) de fer ou d'acier doux, le tout en proportions

(1) **Riblons** : déchets de fer ou d'acier doux, chutes de cisaille ou de poinçonneuse, tournures, chutes de lingots, etc.

Fig. 33

1. Voûte du four.
2. Evacuation des gaz brûlés.
3. Portes de chargement.
4. Sole.
5. Empilage de briques.
6. Sommier.
7. Admission de l'air.
8. Admission du gaz combustible.
9. Chambres de décrassage.
10. Chambre à gaz.
11. Chambre à air.
12. Chargeuse électrique.
13. Plancher de service.
14. Cloche d'inversion des gaz.
15. Arrivée du gaz.
16. Boîte d'inversion d'air.
17. Arrivée de l'air.
18. Trous de regard.
19. Orifice d'admission de l'air.
20. Orifice d'admission des gaz.
21. Plancher de piquage.
22. Chenal de coulée.
23. Chariot de coulée.
24. Lingotières.
25. Fosse de coulée.
26. Evacuation des gaz brûlés par la cheminée.

convenables. Les riblons se diluent dans la fonte et en diminuent la teneur en carbone. Ce procédé s'appelle en anglais : **Scrap process**.

Exemple : 5.000 kg de fonte à 3,5 % de carbone + 25.000 kg de riblons à 0,1 % de carbone donnent, après dilution : **30.000 kg d'acier à 0,66 % de C.**

2^o Procédé d'oxydation (formule Siemens). On affine d'abord la fonte en utilisant à cet effet des corps avides de carbone : **hématite et battitures**, ce qui donne :



Oxyde de fer + Carbone = Fer + Oxyde de carbone

On recarbure ensuite à la dose voulue en ajoutant des spiegels. Appellation en anglais : **Ore process**.

3^o Procédé mixte (formule de Llandore). Ce n'est en réalité que la combinaison des deux méthodes précédentes, c'est-à-dire dilution et oxydation. Appellation en anglais : **Llandore process**.

L'acier est coulé soit par **basculage** pour les fours oscillants, soit par **percement du trou de coulée** pour les fours fixes.

La coulée est opérée dans des **poches** d'une capacité de **110 à 120 tonnes** et de là dans des **lingotières** montées sur chariots.

Après coulée, les lingots démoulés et réchauffés sont transportés aux **laminoirs** comme ceux de l'aciérie Thomas.

2^o CARBURATION DU FER GÉNÉRALITÉS

La carburation du fer ou addition de carbone prend également le nom de **cémentation**; cette méthode fournit, après fusion finale, des aciers d'excellente qualité.

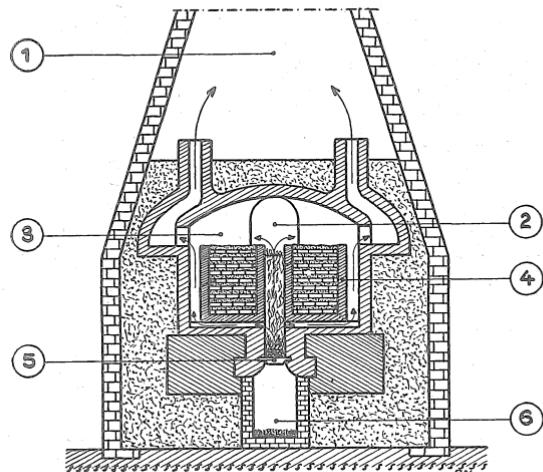
La **cémentation** consiste, comme nous le verrons dans le chapitre « Traitements thermiques », à **carburer le fer en le chauffant** en présence d'éléments susceptibles de lui procurer du carbone (**céments**). Comme le carbone ne peut pénétrer le métal que par dissolution, il sera nécessaire de chauffer celui-ci à une température supérieure à 860°.

FOURS A CÉMENTER

Les fours à cémerter ont pour rôle d'effectuer une **cémentation industrielle** d'assez grande profondeur sur des fers puddrés, afin de les rendre propres à la préparation des **acières au creuset** très carburés et, éventuellement, des **acières alliés**.

Ce sont des constructions de forme circulaire comprenant intérieurement une chambre rectangulaire de 4 mètres sur 3 mètres, dont la voûte est surbaissée.

A l'intérieur de cette chambre sont disposées des caisses en matière réfractaire dans lesquelles sont empilées les barres à carburer. A la partie inférieure du four et sous les supports de caisse se trouve le foyer dans lequel on charge de la houille à longue flamme. Le tout est surmonté d'une cheminée tronconique de 6 à 8 mètres de hauteur.



FOUR A CÉMENTER

1. Cheminée tronconique.
2. Porte de visite.
3. Chambre de travail à voûte surbaissée.
4. Caisse de cémentation en matière réfractaire.
5. Foyer.
6. Cendrier.

Fig. 34

Opération de cémentation. — Les caisses sont remplies de barres de fer dont la section est d'environ 80 mm sur 15 mm ; ces barres sont disposées par couches successives alternant avec un matelas de cément constitué par du **charbon de bois de chêne** en menus morceaux.

On peut ainsi charger jusqu'à **12 tonnes de métal par caisse** ; leur fermeture hermétique est réalisée avec du sable fin.

La température nécessaire à la dilution du carbone dans le fer et à sa pénétration progressive va être maintenue aux environs de **900°** pendant près de **15 jours** ; un refroidissement lent de 15 jours sera encore nécessaire pour obtenir un produit de choix. Cet acier cémenté s'appelait autrefois **acier poule** en raison de la multitude d'ampoules le recouvrant au moment du déchargement.

Le produit obtenu manque d'homogénéité, aussi pour mieux répartir le carbone dans toute sa masse, est-il nécessaire de lui faire subir soit un corroyage, soit une fusion.

Corroyage. — C'est un écrasement par laminage mécanique ou martelage pneumatique de paquets de barres cémentées portées au rouge vif. L'homogénéité est ainsi accrue par rapprochement des couches carburées (fabrication des limes et des ressorts).

Fusion. — La fusion répartit beaucoup mieux le carbone dans la masse que ne le permet le corroyage.

L'opération est effectuée dans des **creusets** en terre réfractaire mélangée de graphite dont la contenance peut aller de 25 à 60 kg de métal.

FOURS A CREUSETS

Les fours à creusets modernes sont des appareils métallurgiques à **récupération de chaleur** ressemblant au four Martin-Siemens ; ils peuvent contenir de 16 à 40 creusets et sont chauffés au gaz de gazogène. Lorsque le chargement des creusets est effectué, **quatre heures** de chauffage sont nécessaires pour obtenir la fusion. On ne coule pas immédiatement, car il est nécessaire d'attendre la formation des scories sur la surface du bain. Une heure supplémentaire est parfois nécessaire. On arrache les creusets du four à l'aide de pinces spéciales, puis on retire leurs couvercles et on procède au **décrassage** et à la **coulée en poche** ou en **lingotières**. L'obtention de pièces importantes ou de gros lingots d'acier nécessite l'emploi d'un grand nombre de creusets dont le contenu doit

FOUR A CREUSETS

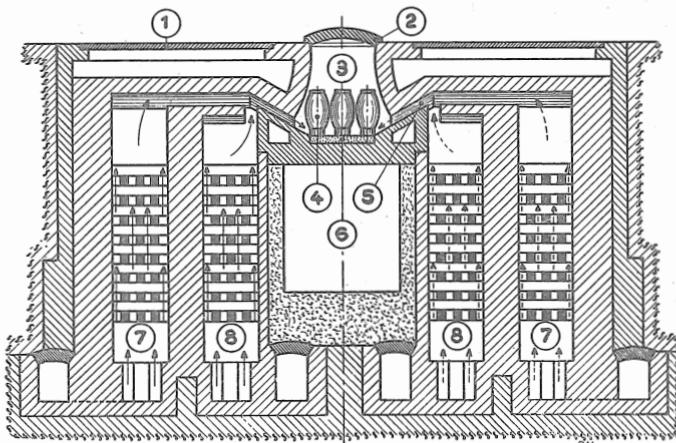


Fig. 35

- | | |
|--------------------|---|
| 1. Dalle de fonte. | 5. Brûleurs. |
| 2. Voûte mobile. | 6. Sole contenant 24 creusets
(terre réfractaire et graphite). |
| 3. Laboratoire. | 7. Récupérateur à air. |
| 4. Creusets. | 8. Récupérateur à gaz. |

être assez rapidement transvasé. On peut atteindre ainsi des masses de 70 tonnes.

L'acier fondu obtenu suivant cette méthode est un excellent acier à outils possédant des caractéristiques mécaniques bien supérieures à celles des aciers ordinaires obtenus par décarburation de la fonte. Le procédé de fusion n'est autre chose qu'un procédé de dilution mutuelle de tous les éléments nécessaires à l'obtention d'un acier de choix; il permet, d'autre part, l'élaboration de la plupart des aciers alliés.

3° ELECTROSIDÉRURGIE

L'électrosidérurgie a pour objet l'obtention des métaux ferreux (fers, fontes, aciers ordinaires, aciers alliés), en utilisant le courant électrique comme source calorique. La fusion et l'affinage du métal s'opèrent à l'intérieur de fours électriques qui peuvent être classés en deux catégories :

- Les fours à induction;
- Les fours à électrodes.

a) FOUR A INDUCTION

Leur principe est basé sur la création de courants induits dans un transformateur, courants possédant une très grande énergie calorique. Le primaire d'un transformateur spécial est constitué par une bobine recevant du courant alternatif, le secondaire n'est autre que le bain métallique entourant la bobine dans un creuset circulaire. Le courant primaire est de l'ordre de 3.000 volts sous 9 ampères, il se transforme en un courant secondaire d'environ 7 volts sous 3.000 ampères.

Le métal élaboré dans ces fours à basse fréquence est coulé par pivotement de l'appareil ; celui-ci, monté sur un berceau inclinable, est commandé par crémaillère.

FOUR A INDUCTION

- Bobine primaire.
- Enroulement primaire. (Courant alternatif de faible intensité et de haute tension.)
- Canalisation circulaire recevant le métal à fondre et constituant le secondaire à spire unique.
- Armature en acier doux feuilleté.
- Bec de coulée.

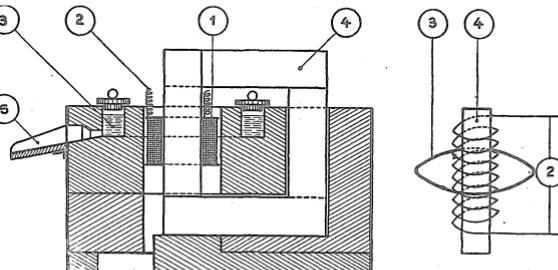


Fig. 36

Les fours à haute fréquence utilisent du courant alternatif dont la fréquence atteint 2.000 périodes/seconde. Ils ont l'avantage de créer dans la masse du métal une certaine « turbulence » favorisant dans une large mesure son homogénéité.

b) FOUR A ÉLECTRODES

Les fours à électrodes utilisent la transformation de l'énergie électrique en énergie calorique par l'intermédiaire d'un **arc électrique**. Cet arc peut jaillir soit entre deux **électrodes** voisines, soit entre une électrode et le bain. Ces particularités sont utilisées dans trois fours électriques distincts :

FOUR STASSANO (1889)

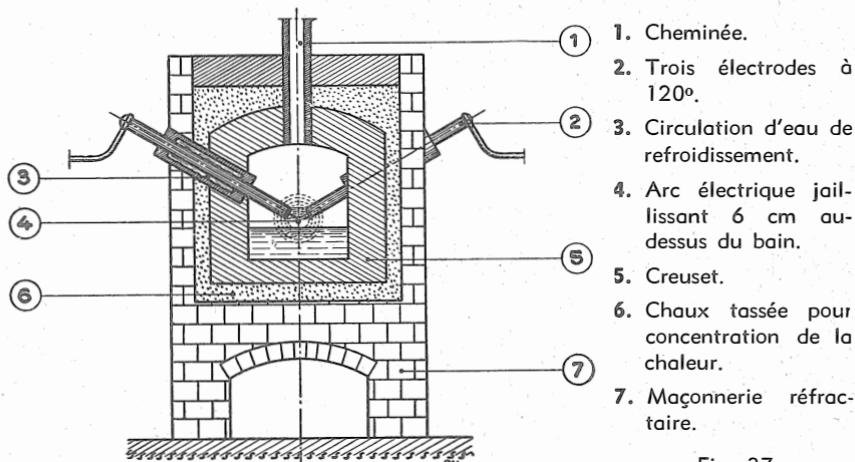


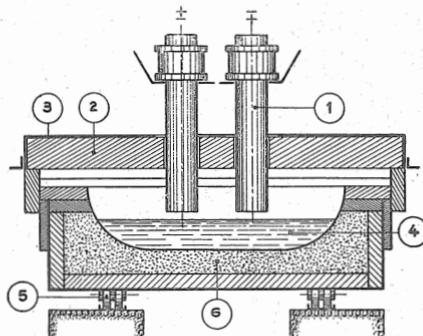
Fig. 37

1^o Le four Stassano (1889) à trois électrodes inclinées de 80 mm de diamètre, refroidies par circulation d'eau. L'arc jaillit à 6 cm au-dessus du bain et le rayonnement calorique, concentré par les parois réfractaires et la voûte du four, provoque la fusion du métal. Il est alimenté par du courant alternatif triphasé (fig. 37).

FOUR HÉROULT

1. Electrodes.
2. Voûte en matière réfractaire.
3. Armature métallique.
4. Bain conducteur.
5. Chemin de roulement.
6. Sole.

Fig. 38



2^o Le four Héroult (1901) possède deux électrodes perpendiculaires à la sole. Deux arcs se produisent, qui jaillissent entre chaque électrode et le bain ; ce dernier jouant le rôle d'un conducteur de courant (fig. 38).

3^o Le four Girod (1904) (fig. 39), qui a une ressemblance très marquée avec le four Héroult, possède une sole rendue partiellement conductrice grâce à des cylindres d'acier débouchant

FOUR ÉLECTRIQUE GIROD

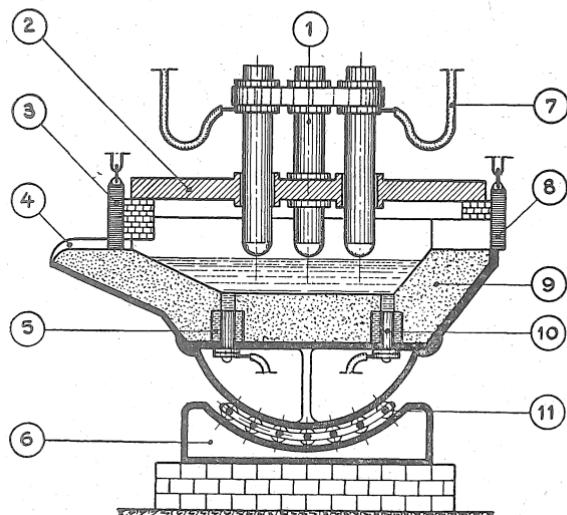


Fig. 39

1. Electrodes en charbon des cornues.
2. Voûte en matière réfractaire.
3. Porte de coulée.
4. Bec de coulée.
5. Circulation d'eau froide.
6. Berceau du four.
7. Câble conducteur de courant alternatif triphasé.
8. Porte de chargement.
9. Sole réfractaire.
10. Cylindres d'acier conducteurs.
11. Chemin de roulement.

dans le métal en fusion et refroidis par circulation d'eau. Dans ce cas, les arcs jaillissent entre les trois électrodes et le bain si le courant utilisé est alternatif triphasé.

Les électrodes des fours à arc doivent être constituées par un carbone très pur, c'est généralement du **charbon de cornue** (1).

OBTENTION DE L'ACIER ÉLECTRIQUE

La fabrication de l'acier au four électrique est conduite suivant les principes qui régissent l'utilisation des fours métallurgiques au charbon, mais l'absence de combustible solide simplifie sérieusement les manipulations. Trois procédés peuvent être utilisés :

(1) Le Creusot possède 2 fours électriques à électrodes de 90 tonnes ; ils se situent parmi les plus grands de l'Europe occidentale. C'est le Centre-Midi qui en possède le plus grand nombre : 53 sur 83 et 40 fours à induction sur 42.

a) Procédé de simple fusion qui consiste à diluer la fonte, les riblons et les éléments d'addition comme dans les creusets. Il est indispensable d'ajouter du fondant pour éliminer les impuretés provenant des différentes réactions.

b) Procédé d'affinage, conduit comme au four Martin-Siemens, en additionnant du mineraï et des oxydes ferriques (battitures) pour décarburer le bain. D'autre part, l'addition d'une certaine quantité de chaux fait disparaître le phosphore et le soufre (1). La recarburation est finalement opérée à l'aide de ferro-manganèse ou de spiegel.

c) Procédé indirect ou superaffinage. C'est l'association du four électrique au convertisseur ou au four Martin. Dans ces derniers, on procède à l'élimination préalable du carbone, du phosphore, du silicium et du manganèse, la désulfuration et la désoxydation de l'acier sont ensuite effectuées après transvasement dans le four électrique.

AVANTAGES DE L'ÉLECTROSIDÉRURGIE

a) Les aciers obtenus sont comparables aux meilleurs aciers au creuset.

b) L'oxydation du métal est réduite au minimum, puisque l'élaboration a lieu en vase clos sans circulation d'air, donc peu de perte de métal.

c) L'absence de combustible solide et par suite de ses impuretés permet la raréfaction des scories et facilite ainsi le rôle du fondant.

d) La haute température intérieure (3700°) favorise l'élimination des éléments nuisibles à un acier de choix (soufre-phosphore).

HAUT FOURNEAU ÉLECTRIQUE

Le haut fourneau électrique est dû aux deux grands spécialistes de l'électrosidérurgie, les Français Héroult et Girod, mais son emploi rationnel n'a guère lieu que dans les pays où l'énergie électrique est peu onéreuse, c'est-à-dire en Suède et au Japon.

C'est un appareil métallurgique de faibles dimensions, dont la puissance électrique atteint 2.000 kilowatts et dont la production voisine 20 tonnes de fonte par 24 heures.

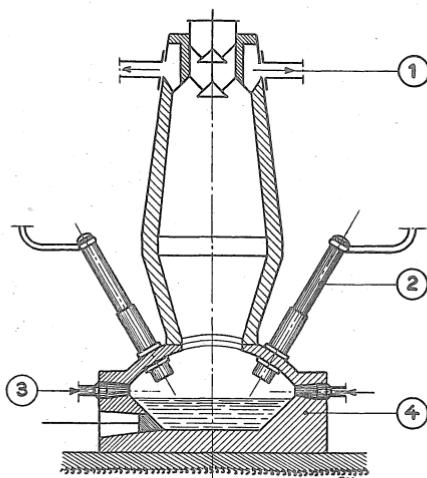
(1) Le soufre a le grave défaut de rendre l'acier rouverain, c'est-à-dire cassant à chaud.

Les électrodes sont en graphite et pénètrent dans le laboratoire par la voûte du four (fig. 40).

HAUT FOURNEAU ÉLECTRIQUE

1. Gaz de récupération.
2. Electrodes.
3. Tuyères utilisant le gaz épuré froid.
4. Creuset.

Fig. 40



La charge est constituée par du minerai oxydé, du coke, en plus faible quantité que dans un haut fourneau ordinaire, et du fondant.

Il y a formation d'oxyde de carbone par oxydation du coke de la charge et du carbone de l'électrode. Seul l'oxyde de carbone joue un rôle réducteur et la séparation du métal est beaucoup plus rapide que dans les hauts fourneaux au charbon.

Les gaz de récupération, après avoir été épurés, sont introduits dans les tuyères dont le rôle est essentiellement celui d'abaisser la température de la voûte ; en effet, on n'insuffle pas d'air chaud dans un haut fourneau électrique.

Consommation thermique et électrique : 330 kg de coke par tonne de fonte ; 2.400 kw par tonne de fonte et 10 kg d'électrodes.

COULÉE DE L'ACIER

Généralités. — Suivant que l'acier doit être utilisé directement sur place ou transporté vers d'autres lieux de transformation, la coulée, à partir de l'appareil métallurgique (convertisseur, four Martin, four électrique), est effectuée à l'aide de poches dans des moules ou des lingotières.

POCHES DE COULÉE

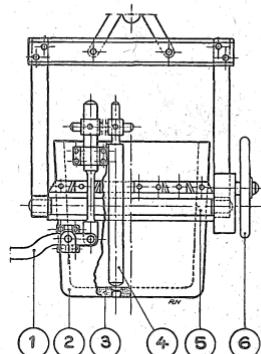
Les poches de coulée à acier sont d'immenses récipients en tôle garnis intérieurement d'un élément réfractaire (argile ou briques) et permettant le transport du métal en fusion du lieu d'obtention au lieu d'utilisation.

Poche à quenouille (fig. 41). — C'est le récipient le plus utilisé actuellement pour le transport et la coulée de l'acier ; elle est revêtue intérieurement de briques réfractaires et porte à la partie inférieure un trou de coulée disposé dans une brique spéciale appelée **busette**. La **quenouille** qui sert à la vidange de la poche est une tige d'acier protégée sur toute sa longueur par un chapelet de tubes réfractaires que l'on nomme **viroles**. L'extrémité de la quenouille s'appliquant sur la busette est une brique semi-sphérique appelée **bouchon**.

COUPE D'UNE POCHE DE COULÉE A QUENOUILLE

1. Levier de commande du débouchage et de l'obturation.
2. Revêtement réfractaire.
3. Brique de fond ou « busette ».
4. Quenouille.
5. Couronne de frettage.
6. Volant de commande du pivotement.

Fig. 41



Avant le remplissage de la poche, celle-ci est toujours **chauffée**, d'une part pour sécher le garnissage et, d'autre part, pour éviter les projections de métal dues à un brusque contact avec un revêtement trop froid. Ce chauffage est réalisé soit au **coke**, soit au **gaz de gazogène**.

LINGOTIÈRES

L'acier qui n'est pas directement utilisé dans les moules de fonderie est coulé en **lingotière**. C'est un récipient en fonte, de forme tronpyramidal, ouvert aux deux extrémités et muni d'oreilles pour faciliter le démoulage et le transport.

L'épaisseur de ses parois varie de 4 à 15 centimètres. Les lingotières d'aciérie peuvent contenir de 8 à 18 tonnes de métal, ces derniers lingots sont utilisés pour la grosse tôlerie. Pour la coulée, elles sont disposées sur des « **bases** », sortes de galettes en fonte montées sur chariots et sont préalablement badigeonnées au goudron pour éviter le « **collage** ».

Coulée en lingotière

La coulée en lingotière peut être réalisée de deux façons différentes :

a) Coulée à la descente : introduction du métal par le dessus de la lingotière (Aciérie Thomas).

b) Coulée en source : introduction du métal par le dessous de la lingotière (Aciérie Martin).

Le risque de soufflures et de gouttes froides fait préférer ce second mode de coulée pour l'acier Martin. On établit alors dans le sol réfractaire des canalisations spéciales aboutissant à une brique

COULÉE EN LINGOTIÈRE

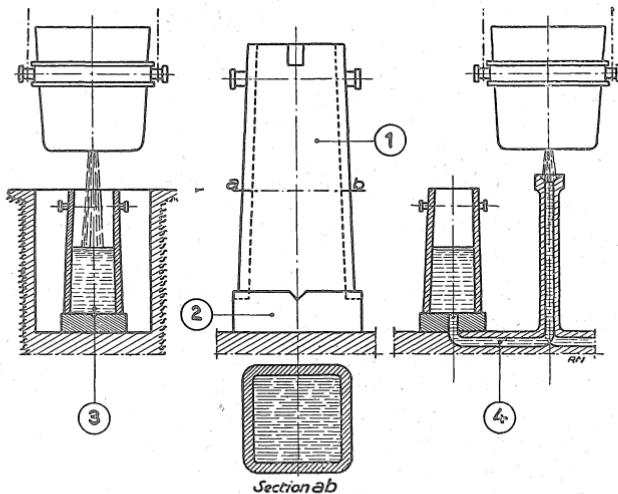


Fig. 42

1. Lingotière.

2. Galette en fonte ou « base ».

3. Coulée à la descente.

4. Coulée en source.

de distribution appelée **brique-mère**; au-dessus de cette dernière se trouve disposée la **nourrice**, constituée également par un chapelet de viroles enfermées dans une armature de fonte. A l'extrémité de chaque canalisation et au-dessus de chaque brique de sortie on dispose la **lingotière**.

Après renversement du contenu de la poche dans la nourrice, le métal se répand dans les canalisations auxiliaires et pénètre par la base des lingotières, les remplissant simultanément.

Pour **démouler** les lingots, on amène les chariots sous un pont roulant spécial appelé **strippeur**. Au moyen d'une pince, le strippeur soulève la lingotière en même temps qu'il repousse le lingot à l'aide d'une tige centrale appuyant sur sa partie supérieure.

Le **lingot d'acier** peut être utilisé soit directement au laminoir pendant qu'il est encore à haute température, soit **parqué** après refroidissement dans l'attente de son transport. Les fours spéciaux destinés à fournir une température homogène dans toute la masse

des lingots d'acier afin d'en permettre le laminage sont appelés Pitts.

Les fours Pitts sont constitués par une série de cellules de section carrée, fermées par un couvercle, et dans lesquelles les lingots sont disposés verticalement. Ces fours sont chauffés au gaz de haut fourneau et maintiennent les lingots à température constante pendant deux heures à deux heures et demie.

DÉFAUTS DES LINGOTS

Les lingots d'acier présentent, après refroidissement et laminage, certains défauts que l'on peut classer de la façon suivante :

a) Défauts naturels que l'on ne peut que rarement éviter : **retassure et soufflures**.

b) Défauts accidentels qu'une bonne conduite de la coulée, du refroidissement et du laminage aurait supprimés : cripes, tapures, pailles, doublures.

Défauts naturels

La **retassure** est une cavité allongée se situant généralement à la partie supérieure du lingot d'acier et qui est due au retrait du métal pendant sa solidification. Elle est plus sûrement localisée à l'aide d'un moule en sable étuvé coiffant la partie supérieure de la lingotière (lingot masselotte) ou complètement supprimée par le procédé **Harmet** de compression en période de fusion (fig. 43).

Les **soufflures** sont de petites cavités circulaires produites par

DÉFAUTS DE COULÉE DES ACIERS ET APPAREIL HARMET

1. Retassure.
2. Soufflures.
3. Appareil Harmet de compression des lingots.

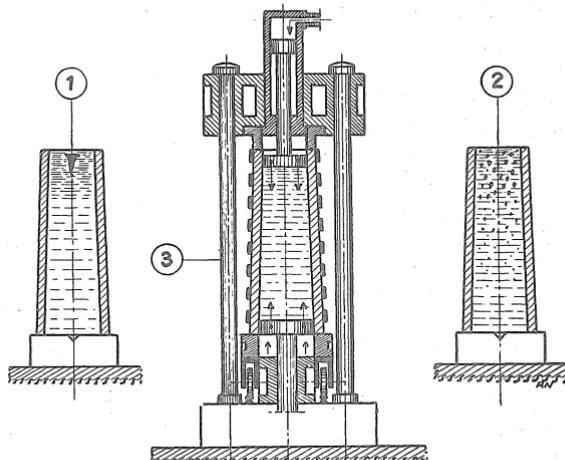


Fig. 43

des bulles d'oxyde de carbone restées emprisonnées au moment de la solidification du métal. Leur suppression ou plutôt leur raréfaction est obtenue par addition d'un réducteur énergique (aluminium). Le procédé Harmet atténue également la formation des soufflures.

Défauts accidentels

Les **crikes** et les **tapures** sont des fissures au sein du métal, provoquées par des irrégularités de chauffage.

Les **pailles** sont des décollements partiels de la croûte d'un produit laminé causées par un traitement mécanique à température trop basse.

Les **doublures** sont produites par l'introduction d'oxydes ou de scories lors du laminage ou du cinglage.

PROPRIÉTÉS DE L'ACIER

L'acier doit son grand intérêt industriel d'abord à son prix relativement peu élevé, provenant d'une grande abondance de minerais répartis sur toute la surface du globe, ensuite à sa grande résistance à la rupture, alliée à une limite élastique élevée. Une grande dureté, tolérant une certaine malléabilité, le fait rechercher pour toutes pièces de fatigue. L'acier se travaille facilement et se comporte parfaitement en face des agents mécaniques et thermiques. Enoncer ses qualités tendrait à fournir presque toutes celles des métaux. **A poids égal ou à volume égal, c'est le matériau le plus résistant.**

Les très nombreuses nuances d'acières aboutissant à des caractéristiques mécaniques très différentes : résistance à la rupture, allongement, dureté, résilience, etc., ne permettent d'énoncer, au titre général, que son point de fusion : 1350° à 1400°, et sa densité : 7,8.

Seul parmi les trois métaux ferreux, l'acier se forge, se moule et se trempe. Il peut ainsi s'usiner lui-même, ce que l'on ne peut obtenir daucun autre métal.

FORMES UTILITAIRES DES ACIERS

Les aciers sont utilisés en mécanique générale sous les formes suivantes :

1º **Laminés ou étirés pleins**, de section carrée, ronde, demi-ronde, rectangulaire, hexagonale, octogonale, trapézoïdale, etc. Longueur commerciale : 6 mètres.

2° **Laminés ou étirés de forme**, appelés également **profilés** ; ce sont les cornières : simple, ouverte, fermée ; les fers en U, en T, en double T, en Z, etc. Longueur commerciale : 6 mètres.

3° **Tôles**, dont l'épaisseur maximum atteint 10 mm et dont les dimensions commerciales sont 2 mètres \times 1 mètre.

4° **Planches**, dont l'épaisseur minimum est de 10 mm, avec des dimensions commerciales semblables aux tôles.

5° **Tubes** roulés, soudés ou étirés.

6° **Fils** de diamètres différents. Les **câbles** sont formés par plusieurs **brins** torsadés ensemble.

FORMES UTILITAIRES DES ACIERS



(A)



(B)

Fig. 44

A. Sections des barres pleines

1. Section rectangulaire.
2. Section méplate.
3. Section carrée.
4. Section ronde.
5. Section hexagonale.
6. Section octogonale.
7. Section trapézoïdale.
8. Section demi-ronde.

B. Sections des barres profilées

9. Cornière à ailes égales.
10. Cornière à ailes inégales.
11. Cornière ouverte.
12. Cornière fermée.
13. Fer en U.
14. Fer en T.
15. Fer en double T.
16. Fer en Z.
17. Fer à barrot.

7° **Pièces fondues** de toutes sortes (acier coulé, acier moulé).

8° **Pièces matricées** ou **estampées** de toutes formes et de toutes dimensions.

CLASSIFICATION ET UTILISATION DES ACIERS AU CARBONE

La classification des aciers sera faite de préférence en tenant compte d'abord de leur **teneur en carbone** et de leur **résistance à la rupture**, leur dureté n'intervenant que comme élément auxiliaire :

1° Aciers de 0,05 à 0,2 % de C. R = 35 à 45 kg (extra-doux). Soudure facile à chaud. Grande malléabilité. Durcissement relatif après trempe à 950° avec moins de fragilité.

Utilisation : Tôles ; fils ; produits chaudronnés et emboutis ; tubes étirés ou soudés; rivets, etc.

2° Aciers de 0,2 à 0,4 % de C. R = 45 à 55 kg (doux). Soudure difficile à chaud. Malléabilité décroissante. Durcissement relatif après trempe à 950° avec moins de fragilité.

Utilisation : Laminés et profilés pour charpente métallique ; boulonnerie et visserie commune ; pièces de mécanique sans fatigue, etc.

3° Aciers de 0,4 à 0,6 % de C. R = 55 à 65 kg (demi-durs). Début de l'action de trempe. Soudure impossible à chaud.

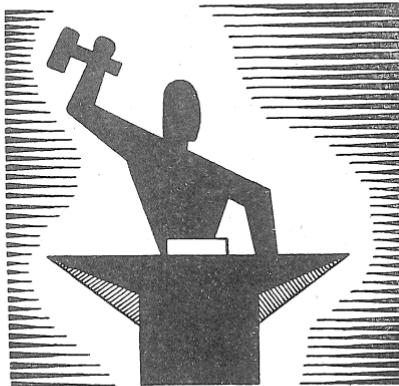
Utilisation : Pièces de mécanique courante pour moteurs et machines-outils ; marteaux ; arbres ; clavettes ; goupilles ; boulonnerie et visserie de qualité, etc.

4° Aciers de 0,6 à 0,8 % de C. R = 65 à 75 kg (durs). Trempe positive. Soudure impossible à chaud.

Utilisation : Pièces de mécanique devant supporter une certaine fatigue; outils de coupe à main; ressorts; rails, etc.

5° Aciers de 0,8 à 1,5 % de C. R = 75 à 100 kg (extra-durs). Trempe parfaite. Soudure impossible à chaud.

Utilisation : Pièces de mécanique de grande résistance ; outils de coupe pour machines-outils ; poinçons ; matrices ; ressorts de qualité ; câbles, etc.



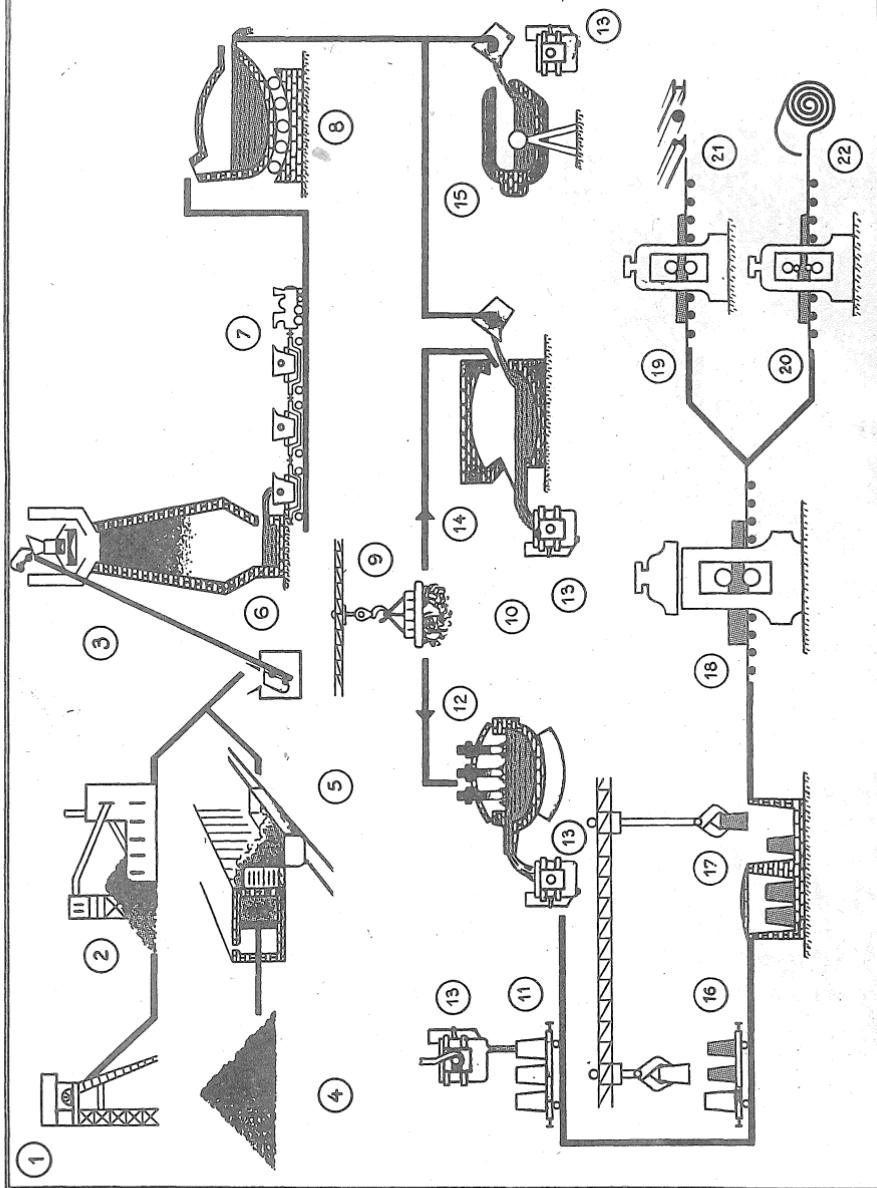


Fig. 45

TABLEAU D'ÉLABORATION ET DE TRANSFORMATION DE LA FONTE
ET DE L'ACIER

- | | |
|---------------------------------------|------------------------------|
| 1. Mine de fer. | 12. Acier électrique. |
| 2. Préparation du minerai. | 13. Poches à acier. |
| 3. Haut fourneau. | 14. Aciérie Martin-Siemens. |
| 4. Charbon à coke. | 15. Aciérie Thomas. |
| 5. Cokerie. | 16. Démolage des lingots. |
| 6. Coulée de la fonte. | 17. Réchauffage des lingots. |
| 7. Poches à fonte. | 18. Blooming. |
| 8. Mélangeur à fonte. | 19. Laminoir à profilés. |
| 9. Electro-aimant. | 20. Laminoir à tôles. |
| 10. Riblons. | 21. Profilés. |
| 11. Coulée de l'acier en lingotières. | 22. Produits plats. |

LES ACIERS ALLIÉS

GÉNÉRALITÉS

Le nom **acières ordinaires** est réservé en général aux alliages de fer et de carbone dans lesquels la teneur en carbone est peu élevée (1,7 % au maximum). Ils contiennent d'autre part des éléments secondaires en faible proportion (**silicium et manganèse**). Les autres composants sont des impuretés (**soufre et phosphore**).

Parallèlement aux aciers ordinaires, on appelle **acières alliés** ou **spéciaux** les alliages contenant, outre le fer et le carbone, un ou plusieurs éléments d'addition appelés **métaux nobles** et qui sont les suivants :

Le manganèse	Mn.	Le tungstène	W.
Le nickel	Ni.	Le vanadium	Va.
Le chrome	Cr.	Le molybdène	Mo.
Le silicium	Si.	Le cobalt	Co.
L'aluminium Al.			

Le **manganèse** et le **silicium** s'y rencontrent à des teneurs beaucoup plus élevées que dans les aciers ordinaires (> 1 %).

Les premières recherches ayant pour but d'incorporer des métaux nobles à l'acier remontent à la première moitié du XIX^e siècle, mais c'est surtout au début du XX^e siècle que l'industrie des aciers alliés a fait les progrès les plus importants. Les branches **automobile** et **aéronautique** doivent tous leurs records à la combinaison judicieuse des éléments d'addition dont la liste est loin d'être close.

Ces éléments d'addition peuvent, comme nous le verrons plus loin, s'y trouver dans des proportions considérables, **20 %** et plus.

Les aciers alliés présentent un ensemble de caractéristiques mécaniques intéressantes, alors que les aciers au carbone de première qualité ont une résilience et un allongement faibles.

La comparaison entre deux aciers de nuance demi-dure, l'un ordinaire au carbone, l'autre au **nickel-chrome**, traités pour obte-

nir sensiblement la même résistance au choc et le même coefficient d'allongement, montre bien cet avantage.

Acier demi-dur au carbone.

Trempé à l'eau à 825° et revenu à l'huile à 575°.

R	E	ρ	A %
68 kg	85 kg	10 kgm	12 %

Acier nickel-chrome demi-dur.

Trempé à l'huile à 825° et revenu à l'huile à 550°.

R	E	ρ	A %
100 kg	100 kg	11 kgm	12 %

R : Résistance à la rupture.

E : Limite élastique.

ρ : Résistance au choc ou résilience.

A % : Coefficient d'allongement.

AVANTAGES

Dans les études de machines, l'emploi des aciers alliés rend possible la réduction des sections et, par suite, la diminution du poids pour une même résistance (gros avantage utilisé en automobile et surtout en aviation). Au point de vue **traitement thermique**, les aciers au nickel-chrome ont une action de trempe beaucoup plus profonde que les aciers au carbone; de plus, on peut utiliser des milieux de trempe moins énergiques que l'eau. Ainsi l'huile et l'air diminuent très sérieusement les déformations et les tapures. En **cémentation**, le nickel-chrome permet d'obtenir une résistance élevée sous la couche cémentée en conservant une résilience suffisante. Le risque d'écrasement de la couche cémentée sur la partie douce interne est ainsi très réduit et l'on peut par là même diminuer l'épaisseur de cémentation.

Les éléments d'**addition** apportent aussi aux aciers de grandes qualités d'**inoxydabilité** et de **résistance à la corrosion** par les agents atmosphériques et les réactifs utilisés en chimie.

Enfin, le **nickel** et le **chrome** améliorent les propriétés mécaniques des aciers aux températures élevées; leur action est souvent renforcée par l'**addition de silicium, de tungstène et de molybđène**.

ACIERS AU MANGANÈSE

Le manganèse. — La découverte du manganèse date de 1774, elle est due au chimiste suédois Scheele, qui découvrit également

le tungstène. Le Mn est un métal blanc grisâtre, dur et fragile. Sa densité est de 7,21 et il fond à 1265°. On le rencontre dans la nature sous forme d'oxydes.

Propriétés. — Le manganèse abaisse le point de transformation de l'acier et lui communique une grande résistance à la traction. Jusqu'à la teneur de 0,8 %, il entre dans la composition des aciers alliés, il leur permet alors de prendre plus énergiquement la trempe. En automobile, le Mn confère à l'acier, en faible addition, de grandes qualités de résistance à la flexion, à la torsion et à l'usure qui le font rechercher pour la fabrication des viseurs. Le Mn étant très oxydable, le chauffage de ce métal doit être conduit avec précaution pour éviter de le brûler.

De 1 % à 8 % il est inutilisable par suite de sa grande fragilité à la trempe.

De 8 % à 21 % il est caractérisé par une résistance considérable à l'usure, il entre alors dans la fabrication des roues de wagonnets et des croisements de rails. Comme acier de moulage il permet de fabriquer des broyeurs et des concasseurs.

RÉSUMÉ DES AVANTAGES CONFÉRÉS PAR LE MANGANÈSE

Abaissement du point de transformation des aciers ; augmentation de la dureté et de la résistance à l'usure.

ACIERS AU NICKEL

Le nickel. — La découverte du nickel date de 1751; son nom fut emprunté à la mythologie scandinave, c'était le nom du génie des mines. Il est extrait de minerais très abondants en Nouvelle-Calédonie. Sa densité est de 8,8 et il fond à 1452°.

Le nickel abaisse le point de transformation de l'acier et est incorporé dans les aciers spéciaux sous forme de ferro-nickel.

Principaux pays producteurs de nickel par ordre décroissant : Canada, Nouvelle-Calédonie, Cuba, Etats-Unis.

Production mondiale de 1960 : 250.000 tonnes.

VARIÉTÉS D'ACIERS AU NICKEL (1)

Nous distinguerons au point de vue industriel deux classes bien distinctes d'acier au Ni :

(1) Il existe près de 3.000 alliages de Ni, depuis 99 % (nickel malléable) jusqu'à 0,02 % de Ni (argent durcissable).

- 1^o Les aciers à faible teneur jusqu'à 7 % ;
- 2^o Les aciers à haute teneur, plus de 20 %.

Entre ces deux classes, les aciers obtenus ne présentent aucun intérêt pratique, étant beaucoup trop cassants.

1^o Aciers à faible teneur 7 %

Le Ni, dans ces proportions, augmente l'homogénéité de l'acier, lui communiquant un grain plus fin, une grande résistance au choc, ainsi qu'une amélioration de R et de E.

Le tableau suivant en donne la preuve :

C = 0,15 %	R	E	A %
Ni = 0	38 kg	24 kg	30 %
Ni = 2 %	42 kg	38 kg	32 %
Ni = 5 %	50 kg	40 kg	30 %

Application. — A la suite de l'expérience des courses d'automobiles réclamant pour les châssis une très grande solidité, ainsi qu'une haute résistance à la flexion et au choc, on a fait appel aux aciers au Ni à faible teneur.

Le châssis d'automobile a donc utilisé toutes les qualités de cet acier allié.

A faible teneur, il est employé aussi pour la fabrication des aciers de cémentation où les points de transformation de l'âme et de la périphérie sont moins éloignés, permettant ainsi un traitement thermique plus efficace, tout en diminuant la fragilité. Pour les aciers trempants, le Ni leur confère une certaine résistance à l'usure (arbres moteurs, vilebrequins, essieux, etc.).

2^o Aciers à haute teneur 20 %

La proportion de carbone doit décroître en fonction de l'augmentation de la teneur en nickel. Bien que très résistants au choc, $\rho = 50 \text{ kgm}$ et plus, et assez résistants à la rupture, ils ne sont pour ainsi dire pas employés en construction courante vu :

- 1^o Leur prix élevé ;
- 2^o Leur limite élastique faible, $E = 20 \text{ à } 25 \text{ kg}$;
- 3^o La difficulté de leur travail.

Mais ils sont remarquables :

- 1^o Par leur inoxydabilité ;
- 2^o Par l'invariabilité de leur coefficient de dilatation ;
- 3^o Par leur résistance électrique.

Types particuliers

1^o **Le ferro-nickel.** Ni = 25 %.

Résistance électrique égalant dix fois celle du fer (rhéostats).

2^o Le type Ni = 32 à 33 % qui, pour son inoxydabilité à haute température, entre dans la fabrication des soupapes d'échappement des moteurs à explosion.

3^o **L'invar.** Ni = 36 %. Son coefficient de dilatation est pratiquement nul entre 0° et 350° (horlogerie, télémétrie, fils pour la mesure des bases géodésiques, commande des signaux avancés des gares, etc.).

4^o **Le platinite.** Ni = 46 %. Même coefficient de dilatation que le verre ; il a remplacé le platine pour les fils distribuant le courant à l'intérieur des lampes à incandescence.

5^o **Le constantan.** Ni = 50 %. Alliage de cuivre, fondant vers 1300° et utilisé pour la fabrication des résistances électriques.

En construction électrique, on utilise pour la fabrication des aimants coulés, mais non forgeables, deux types différents d'acières au nickel :

a) Ni 10 à 40 % Al 5 à 20 %

b) Ni 15 % Co 15 % Titane 8 à 20 %

RÉSUMÉ DES AVANTAGES CONFÉRÉS PAR LE NICKEL

Abaissement du point de transformation des aciers ; haute résistance à température élevée ; inoxydabilité ; diminution du coefficient de dilatation. Résistance électrique accrue.

ACIERS AU CHROME

Le chrome. — La découverte du chrome date de 1797 ; elle est due au chimiste français Vauquelin.

Il se rencontre à l'état naturel sous forme de fer chromé ou **chromite**, exploité comme mineraï de chrome. C'est un métal gris, densité 6,8, fondant aux environs de 1550°.

Le chrome élève le point de transformation de l'acier; en faible proportion, il augmente R et E, mais augmente également la fragilité. Les aciers au chrome sont peu utilisés en construction mécanique, n'offrant pas une aussi grande résistance au choc que les aciers au Ni. Cependant, leur dureté remarquable les fait rechercher :

1^o Dans la proportion de 2 %, pour la fabrication de **billes, galets cylindriques et coniques, chemins de roulements et butées de roulements. Tubes de canons et plaques de blindage.**

2^o Pour la confection d'outils très résistants, en acier à **coupe rapide** ($\text{Cr} = 3,5$ à 7% pour le **tournage de la fonte trempée**) ; des **limes tiers-point** servant à l'affûtage de certaines scies.

3^o Pour la fabrication des aciers inoxydables **faciles à emboutir** **Cr 12 % Ni 12 %** (orfèvrerie, platerie de luxe, couverts).

4^o Métaux inoxydables pour **appareils ménagers Cr 18% Ni 8 %** (évier, machines à laver, etc.).

5^o Dans la proportion de 13 à 14 %, pour l'élaboration d'aciers inoxydables employés en **coutellerie et en chirurgie.**

6^o A une teneur de 18 % pour la fabrication de moulures décoratives utilisées dans l'industrie automobile ainsi que des pare-chocs, calandres et enjoliveurs de roues. Ces pièces étaient précédemment réalisées en **acier inoxydable au nickel à la teneur de 8 %.**

7^o En **galvanoplastie**, pour le **chromage** qui supplante le nickelage, surtout sur l'acier, en raison de sa grande ténacité et de son aspect poli rappelant la teinte des alliages légers. Malheureusement, il est onéreux et les vapeurs provenant des bains d'électrolyse sont très nocives, ce qui nécessite de sérieuses précautions d'emploi.

RÉSUMÉ DES AVANTAGES CONFÉRÉS PAR LE CHROME

Elévation du point de transformation des aciers ; augmentation de la dureté, de la résistance à la corrosion et de la pénétration de trempe.

ACIERS AU NICKEL-CHROME

Le **nickel** et le **chrome**, incorporés à l'acier, lui donnent une très grande résistance sans fragilité. La résistance de ces aciers dépasse celle des aciers très durs au carbone seul avec un plus grand allongement avant rupture.

Les aciers **ordinaires extra-durs**, 0,8 % de carbone, peuvent résister à la traction jusqu'à **100 kg par mm²**, mais ne subissent avant rupture qu'un allongement de 5 %.

Si nous incorporons du **chrome** et du **nickel** dans l'acier, nous arrivons à une résistance **R** avant rupture égale à **120 kg par mm²** avec un allongement de **11 %**, c'est-à-dire deux fois plus

grand que précédemment, ce qui diminue sérieusement la fragilité de cet acier.

Utilisation. — Ce sont de très bons aciers de fabrication. Ils peuvent être utilisés dans la fabrication des fusées de roues AV et des essieux AR de camions automobiles poids lourds, des bielles, des engrenages des boîtes de vitesses, des arbres de transmissions, des plaques de blindages d'avions ; de plus, le nickel-chrome de cémentation donne, après traitement thermique, une limite élastique E excessivement élevée, 85 kg par mm², une résistance à la rupture R égale à 95 kg par mm². Ces deux caractéristiques le font employer avec succès dans la fabrication des fusées et des leviers de direction d'automobile.

Ce métal doit être trempé à l'huile à 825°.

ACIERS AU SILICIUM

Le silicium a été découvert en 1808 par le chimiste suédois Berzélius, et l'étude en a été complétée par Sainte-Claire Deville en 1854. Le silicium est extrait de la silice (oxyde de silicium). Densité : 2,35. Fusion : 1430°. Il confère à l'acier des propriétés d'élasticité remarquables.

Application. — Son utilisation est tout indiquée pour la fabrication des ressorts, dont l'industrie automobile absorbe une grande partie. Il sert également avec succès dans la fabrication des aciers à coupe rapide.

Il élève le point de transformation de l'acier, permettant ainsi au métal trempé de conserver des caractéristiques mécaniques intéressantes après un revenu à température élevée. Il donne, en outre, à l'acier une grande résistance à chaud, d'où son emploi pour la fabrication des soupapes pour moteurs à régime rapide.

Dans les aciers au Si pour soupapes d'échappement, la trempe a lieu entre 950° et 1000°, et le revenu à 750°. Caractéristiques mécaniques : $R = 95$ kg; $E = 85$ kg; $A\% = 18$.

Dans la proportion de 3 %, il entre dans la fabrication des induits de dynamos, car il diminue sérieusement l'hystérosis magnétique en rendant l'acier très perméable (1).

RÉSUMÉ DES AVANTAGES CONFÉRÉS PAR LE SILICIUM

Elévation du point de transformation des aciers ; augmentation du module d'élasticité ; grande résistance à chaud ; diminution de l'hystérosis magnétique.

(1) Inertie de l'aimantation dans un corps magnétique.

ACIERS MANGANO-SILICEUX

$\text{Si} = 2 \%$ $\text{Mn} = 0,6 \text{ à } 0,7 \%$

Les aciers spéciaux, qui contiennent du manganèse et du silicium, bénéficient des qualités apportées par ces deux éléments : élasticité, d'une part, et grande résistance, d'autre part.

Ces aciers sont très employés dans la fabrication des ressorts de qualité supérieure, ainsi que dans la construction de pièces soumises à des efforts importants ou à des frottements très accentués : vilebrequins, engrenages de boîtes de vitesses, axes, etc.

ACIERS AU TUNGSTÈNE

Le tungstène (2) a été découvert par Scheele (chimiste suédois). Ce métal a d'abord pris le nom de scheelium. Il est grisâtre comme aspect et rappelle celui du fer ; on le rencontre à l'état de tungstate de fer ou de manganèse (scheelite de wolfram), qui lui a donné son symbole chimique. Sa densité est de 19,1 ; il fond à 3460° environ.

Propriétés. — Le tungstène communique à l'acier une grande qualité, celle de prendre énergiquement la trempe, il élève le point de transformation des aciers avec lesquels il est incorporé. Les aciers alliés au tungstène sont peu employés en aciers de construction, mais ils trouvent trois débouchés sérieux :

1° **Fabrication des ressorts.** — $\text{W} = 0,6 \%$. Le prix de l'acier au W est plus élevé que celui de l'acier au silicium, mais sa fragilité est moindre.

2° **Fabrication des aimants permanents.** $\text{W} = 4 \text{ à } 6 \%$.

3° **Fabrication des outils de coupe.**

a) **Outils trempant à l'eau**, différents de ceux trempant à l'air, ayant une plus grande dureté et une meilleure conservation de coupe que les aciers ordinaires.

b) **Les aciers à coupe rapide**, très utilisés pour la fabrication des fraises et l'élaboration des aciers à outils et dans lesquels la proportion de tungstène peut atteindre 22 %.

Composition approximative des aciers à coupe rapide

$\text{C} = 0,6 \%$ $\text{W} = 19 \%$ $\text{Cr} = 6,5 \%$
 $\text{Va} = 0,3 \%$ $\text{Mn} = 0,1 \%$

(2) Du suédois « tungsten » qui signifie pierre lourde.

Les aciers à coupe rapide, qui ont, non traités, la dureté des aciers trempés et revenus au carbone, conservent cette dureté jusqu'au rouge sombre, ce qui permet à l'outil de travailler à des vitesses de coupe beaucoup plus grandes, d'où économie de temps et prix de revient réduit.

c) Les carbures métalliques (frittage du carbure de tungstène avec le cobalt) (1).

RÉSUMÉ DES AVANTAGES CONFÉRÉS PAR LE TUNGSTÈNE

Elévation du point de transformation des aciers ; augmentation de la dureté à température élevée ; amélioration des caractéristiques magnétiques. Trempe plus énergique.

ACIERS AU VANADIUM

Découvert en 1801 dans un mineraï de plomb, le vanadium est un métal blanc, cristallin, de densité 5,6 et fondant à 1725°. Il détermine dans les aciers alliés un accroissement considérable de R et E par la trempe ; de plus, il rend l'acier très résistant aux chocs répétés.

Le rôle bienfaisant du vanadium dans l'affinage de l'acier se manifeste par des propriétés réductrices remarquables ; il purifie l'acier en faisant disparaître les traces de toute oxydation.

Utilisation. — Métal très en vogue aux Etats-Unis et recherché pour la construction automobile (usines Ford).

On l'utilise avec succès dans tous les organes mécaniques demandant un maximum de R et de E (essieux de wagons, fusées de roues de voitures, commande de direction, ressorts, etc.).

Sa haute résistance et la grande élasticité des aciers au vanadium sont mises également à profit dans la fabrication des clefs de serrage à ouverture fixe et des clefs à pipe pour le serrage énergique des vis et écrous.

RÉSUMÉ DES AVANTAGES CONFÉRÉS PAR LE VANADIUM

Désoxydant des aciers qu'il durcit.

Augmentation de la ténacité et de la résistance à température élevée ; diminution de la fragilité.

(1) Voir page 108 du présent ouvrage.

ACIERS AU MOLYBDÈNE

Le molybdène fut découvert en 1782 par le chimiste suédois Hjelm qui l'a extrait du sulfure de molybdène. Son nom était donné à la plombagine par les anciens chimistes.

C'est un métal blanc de densité 9,01 ; il fond très difficilement, à 2570°, et est **inaltérable à l'air**.

Les Etats-Unis en sont les premiers producteurs du monde.

Pour effectuer l'incorporation du molybdène dans l'acier spécial, on le prépare au **four électrique** sous forme de **ferro-molybdène**.

Le Mo, comme le chrome, augmente la pénétration de trempe et confère à l'acier une grande résistance à la rupture, tout en augmentant son élasticité.

Le molybdène est également l'un des éléments indispensables à l'obtention des **acières de nitruration**.

Utilisation. — Il est utilisé pour la fabrication des outils en acier à coupe rapide. Les obus et les blindages à haute résistance sont en **molybdène-chrome** ou en **molybdène-chrome-nickel**. Sa grande résistance à l'usure le fait aussi rechercher pour la fabrication des engrenages de boîtes de vitesses.

RÉSUMÉ DES AVANTAGES CONFÉRÉS PAR LE MOLYBDÈNE

Amélioration de l'ensemble des caractéristiques mécaniques ainsi que de l'homogénéité après traitement thermique ; augmentation de la profondeur de trempe et de la résistance à la rupture.

ACIERS AU COBALT

Le cobalt. — Son nom est celui du diable (Kobalt) des légendes minières germaniques. C'est un métal blanc, d'un aspect voisin du fer et du nickel. Il n'existe pas à l'état pur dans la nature : ses principaux minerais sont la **sinaltine** et la **cobaltine** (sulfure d'arsenic).

Il fut connu dès le XVI^e siècle comme colorant bleu du verre, mais ne fut isolé à l'état métallique qu'en 1773 par le Suédois Brandt. Le cobalt est ductile et malléable à l'état pur, plus dur que le fer et le nickel ; sa densité est de 8,77 et il fond à 1488°. Il est magnétique à la température ordinaire, et ce magnétisme ne disparaît qu'à 1100°. Sa grosse qualité est d'**augmenter la puissance de coupe des aciers à coupe rapide**.

Alliages. — Le cobalt se trouve combiné la plupart du temps dans les aciers alliés avec certains éléments d'addition vus précédemment.

Les aciers au **chrome-cobalt**, carbone 1 %, chrome 10 à 15 %, cobalt 1 à 18 %, et les aciers au **chrome-tungstène-cobalt**, carbone 0,4 à 0,8 %, chrome 1,5 à 3 %, tungstène de 3 à 9 %, cobalt jusqu'à 40 %, sont utilisés après traitement thermique pour la **fabrication des aimants permanents**.

Le **Ticonal** : titane + cobalt + aluminium est utilisé pour la fabrication des aimants permanents de **haut-parleurs électrodynamiques** pour appareils de **radio** et de **télévision**.

Le **cobalt** est également intéressant en addition de **3 à 5 %** dans les aciers à coupe rapide au **chrome-tungstène** pour faciliter leur traitement thermique.

Certains alliages Cr, Co, W, sont employés sous le nom de **stellite** pour la fabrication d'outils spéciaux de grande dureté.

Le **cobalt** sert également de métal de liaison dans le frittage du **carbure de tungstène** pour la fabrication des **carbures métalliques**.

RÉSUMÉ DES AVANTAGES CONFÉRÉS PAR LE COBALT

Élément indispensable pour la fabrication de la stellite et des carbures métalliques ; augmente la puissance de coupe des aciers à coupe rapide et les propriétés magnétiques des aimants permanents.

ACIERS A L'ALUMINIUM

Les qualités de l'aluminium comme élément d'addition sont relativement peu connues en raison de son application récente. Retenons cependant pour mémoire qu'une addition de 1 à 1,5 % d'Al dans les aciers au **chrome-nickel-molybdène** procure une amélioration sérieuse de la faculté de **nitruration** ; cet avantage est également très apprécié pour les **fontes à nitrurer**.

L'**aluminium** a également pour avantage d'augmenter d'une façon notable la **résistance des aciers à l'oxydation**. C'est, en outre, un **désoxydant énergique** utilisé pour l'élaboration de la plupart des métaux industriels.

RÉSUMÉ DES AVANTAGES CONFÉRÉS PAR L'ALUMINIUM

Métal indispensable pour favoriser la **nitruration** ; il augmente la **résistance des aciers à la corrosion** et est un **désoxydant énergique**.

LES MÉTAUX NON FERREUX

GÉNÉRALITÉS

Les métaux industriels non ferreux les plus utilisés en mécanique générale sont les suivants :

Le cuivre (Cu)	L'étain (Sn)
Le zinc (Zn)	L'antimoine (Sb)
Le plomb (Pb)	Le nickel (Ni)
Le manganèse (Mn)	

L'aluminium et ses alliages feront l'objet d'un chapitre particulier intitulé : **Les métaux légers.**

Pour chacun des métaux ci-dessus, nous traiterons successivement :

- a) Leur origine;
- b) Leur métallurgie;
- c) Leurs propriétés;
- d) Leur utilisation.

LE CUIVRE (Cu)

Mot dérivé de « cuprum » qui signifie : métal de l'île de Chypre.

A. ORIGINE.

Le cuivre se trouve dans la nature, soit à l'état natif, soit sous forme de minérais.

A l'état natif, il est parfois mélangé à du sable et à des oxydes, il apparaît également en pépites, dont les lieux d'extraction sont la Bolivie pour le Corocoro et les environs du lac Supérieur (U.S.A.) pour le Lake Coopper.

A l'état de minéral, il prend la forme soit d'oxydes, dont les plus connus sont la Cuprite et l'Azurite que l'on trouve en Oural, en Californie ou en Amérique du Sud; soit de pyrites (chalcophrite) que l'on rencontre en Espagne (Rio Tinto), en Angleterre (Cornwall) et en France (Chessy et Sain-Bel près de Lyon).

B. MÉTALLURGIE.

Pour obtenir le cuivre en partant du minéral le plus commun (pyrite), plusieurs opérations métallurgiques sont nécessaires :

1° Grillage des pyrites au water-jackets pour faire disparaître le soufre et obtenir une matte contenant de 40 à 45 % de Cu.

2° Oxydation du fer au convertisseur à cuivre pour obtenir du cuivre noir encore impur.

3° Affinage au four à réverbère pour éliminer les dernières impuretés.

4° Raffinage électrolytique dans un bain de sulfate de cuivre entre anode de cuivre impur et cathode de cuivre pur. Le résultat de ce dernier traitement est un cuivre d'une grande pureté, 99,99 %, utilisé dans l'industrie électrique.

C. PROPRIÉTÉS.

Le cuivre est un métal d'une belle couleur rose rougeâtre. Densité : 8,9. Point de fusion : 1083°. De faible dureté, il est malléable et ductile. Il se forge à chaud, mais ne se soude pas à lui-même. Par martelage à froid, il s'écrouit et acquiert de la dureté. C'est un des meilleurs conducteurs de la chaleur et de l'électricité. A l'air humide, il se recouvre d'une couche d'oxyde (vert-de-gris) qui protège le reste du métal de l'oxydation.

Sa résistance à la rupture : $R = 22 \text{ kg par mm}^2$.

D. UTILISATION.

C'est, après l'acier, le métal le plus utilisé dans l'industrie.

1° Fabrication des fils, câbles, lames, contacts, pièces détachées, etc., utilisés en électricité, téléphonie, télégraphie et T.S.F.

2° Confection, en petite et grosse chaudronnerie, de tubes, d'entretoises de foyers de locomotives, d'alambics, d'ustensiles de cuisine, etc.

3° Couverture de certains édifices publics.

4° Alliages. Le cuivre s'allie facilement en toutes proportions avec les principaux métaux fusibles, en augmentant leur ténacité :

Le laiton ou cuivre jaune : cuivre (Cu) + zinc (Zn).

Le bronze : cuivre (Cu) + étain (Sn).

Le maillechort : cuivre (Cu) + zinc (Zn) + nickel (Ni).

5° Le cuivre est utilisé également pour le recouvrement des métaux oxydables sous forme de dépôt électrolytique ou cuivrage.

LE ZINC (Zn)

A. ORIGINE.

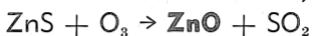
Le zinc n'existe pas à l'état natif, mais à l'état de minéral. Les plus importants sont la blende ou sulfure de zinc, appelée également fausse galène ; puis la calamine ou carbonate de zinc. Les lieux

d'extraction de ces minéraux sont : la Belgique (mine de la Vieille-Montagne), l'Angleterre, l'Allemagne, la Sibérie, la France (Ardèche, Ariège, Drôme, Tarn).

B. MÉTALLURGIE.

Trois opérations sont nécessaires pour isoler le métal :

1° **Grillage** de la blende pour aboutir à un oxyde dans un four à tablettes :



Sulfure de zinc + Oxygène → **Oxyde de zinc** + Gaz sulfureux

2° **Réduction** de l'oxyde de zinc en présence de l'**anthracite** dans des fours particuliers chauffés au gaz de gazogène et constitués par un grand nombre de cornues en terre réfractaire (70 à 300 par four). Le zinc est alors libéré dans la cornue sous forme de vapeur et condensé dans une allonge spéciale :



Oxyde de zinc + Charbon → **Zinc** + Oxyde de carbone

3° **L'affinage** du zinc encore impur peut être opéré suivant deux méthodes distinctes : d'une part, par **liquation** ou séparation par ordre de densité du plomb et du zinc fondus et, d'autre part, par **électrolyse** dans une solution de sulfate de zinc entre anode de plomb et cathode d'aluminium sur laquelle se dépose le zinc pur.

C. PROPRIÉTÉS.

Le zinc est un métal gris bleuâtre. Sa **densité** varie de **6,9** à **7,2**, suivant qu'il a été fondu ou martelé ; son **point de fusion** est de **420°**. Très cassant à froid, il devient malléable entre 100 et 150° pour redevenir cassant à plus haute température. Au rouge vif (500°), il brûle avec une flamme verte en produisant des vapeurs d'oxyde de zinc. A l'air humide, le zinc se recouvre d'une couche d'oxyde servant d'élément protecteur pour le reste du métal.

Sa résistance à la rupture **R** varie de **7** à **13 kg par mm²**.

D. UTILISATION.

L'inoxydabilité du zinc face aux agents atmosphériques le fait rechercher dans de multiples emplois :

1° **Equipement des toitures** (plaques, gouttières, tuyaux de descente des eaux, etc.).

2° **Recouvrement des métaux oxydables** (galvanisation, shéardisation).

3^o Fabrication des peintures (blanc de zinc).

4^o Zincographie ou photogravure sur zinc (clichés au trait et similis).

5^o Alliages. Il s'allie facilement avec tous les métaux fusibles, mais fait mauvais ménage avec le plomb et le bismuth.

Le laiton : zinc (Zn) + cuivre (Cu).

Le maillechort : zinc (Zn) + cuivre (Cu) + nickel (Ni).

Le bronze d'orfèvrerie : zinc (Zn) + cuivre (Cu) + étain (Sn), ce dernier alliage est utilisé pour la fabrication des statuettes bon marché.

LE PLOMB (Pb)

A. ORIGINE.

Le plomb se rencontre très rarement à l'état natif ; il apparaît plus souvent sous forme de carbonate de plomb ou plomb blanc, dont l'appellation métallurgique est cérusite, et de galène ou sulfure de plomb qui est le minerai le plus commun. Les lieux d'extraction sont les suivants : Espagne, Allemagne, Tchécoslovaquie et France (Ille-et-Vilaine, Lozère, Aveyron).

B. MÉTALLURGIE.

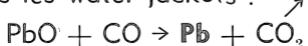
Trois opérations importantes seront nécessaires pour obtenir le plomb :

1^o Grillage de la galène au convertisseur pour l'obtention de l'oxyde de plomb :



Sulfure de plomb + Oxygène → Oxyde de plomb + Gaz sulfureux

2^o Réduction de l'oxyde de plomb en présence de l'oxyde de carbone du coke dans les water-jackets :



Oxyde de plomb + Oxyde de carbone → Plomb + Gaz carbonique

3^o Affinage. Il a pour but de séparer le plomb de métaux étrangers (fer, cuivre, argent). Quand le plomb ne contient pas de métaux précieux, un simple passage au four à réverbère suffit à éliminer les impuretés ; dans les cas contraire, on procède par électrolyse.

C. PROPRIÉTÉS.

Le plomb est un métal gris bleuâtre. Densité : 11,3. Point de fusion : 327°. Il est malléable, peu ductile et d'une très faible ténacité : $R = 3\text{kg/mm}^2$. Il ne s'écrouit pas et est inattaquable par la plupart des acides.

D. UTILISATION.

1° Fabrication des **accumulateurs** et des plaques de construction des chambres à préparer l'acide sulfurique.

2° Fabrication des **tuyaux de plomb** pour conduites d'eau et de gaz.

3° **Couvertures** de certaines cathédrales (Reims et Beauvais) ; composition des **vitraux**.

4° Armatures de câbles électriques ; **fusibles** pour distribution du courant.

5° **Protection contre les rayons X** (radioscopie, radiographie).

6° Fabrication du **minium** ou oxyde de plomb grillé.

7° **Alliages**. Le plomb s'allie facilement avec l'étain et l'antimoine, mais difficilement avec le cuivre et zinc.

Caractères d'imprimerie : plomb (Pb) + antimoine (Sb).

Chevrotine ou plombs de chasse : plomb (Pb) + arsenic (Ar).

Soudures : plomb (Pb) + étain (Sn).

Fusibles : plomb (Pb) + étain (Sn) + bismuth (Bi).

L'ÉTAIN (Sn)

(du latin « stannum »)

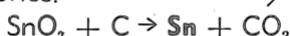
A. ORIGINE.

Il n'existe qu'un seul minéral d'étain, c'est la **cassitérite** ou **oxyde d'étain** (SnO_2). Ce minéral est presque toujours mélangé à des impuretés (fer, cuivre, plomb, etc.). La teneur en étain du minéral varie de 4 à 78 %. Ses lieux d'extraction sont le Tonkin, la Bolivie, l'Angleterre (Cornouaille) et la France (Creuse, Haute-Vienne).

B. MÉTALLURGIE.

Celle-ci comprend deux phases distinctes :

1° **Réduction** de la cassitérite, soit dans des **fours à manche** au contact du **charbon de bois**, soit dans des **fours à réverbère** en présence de la **houille**. L'opération doit être conduite à température élevée (1400°) pour éviter une perte importante de métal qui disparaîtrait dans les scories.



Bioxyde d'étain + Charbon \rightarrow Etain + Gaz carbonique ↑

2^o L'affinage est généralement réalisé par électrolyse ou par refusion à basse température. La refusion à basse température est opérée suivant deux procédés : d'une part, par liquidation : les impuretés fondant à haute température se déposent sous l'étain fondu; d'autre part, par perchage, consistant à faire déposer les oxydes nuisibles sur des branches de bois vert.

C. PROPRIÉTÉS.

L'étain est un métal blanc dont les reflets sont très éclatants quand il est pur. Sa densité est de 7,3 et son point de fusion 232°. Il est mou, ductile et très malléable, puisqu'on peut le réduire en feuilles de 1/1000 de mm d'épaisseur. Sa ténacité est faible : $R = 8 \text{ kg/mm}^2$. C'est à sa structure cristalline que l'on attribue le bruit spécial qu'il émet quand on le ploie (cri de l'étain) ; c'est également un indice de pureté. A la température ordinaire, l'étain ne s'oxyde ni à l'air sec, ni à l'air humide.

D. UTILISATION.

1^o Protection par enveloppage des denrées alimentaires, mettant ainsi à profit sa facilité de transformation en feuilles minces.

2^o Protection des métaux oxydables par étamage. Industrie du fer blanc (fer étamé).

3^o Fabrication de certains jouets.

4^o Alliages. L'étain s'allie très bien en toutes proportions au cuivre, au plomb, au zinc, à l'antimoine et au bismuth.

Le bronze : étain (Sn) + cuivre (Cu).

Les soudures : étain (Sn) + plomb (Pb).

Les fusibles : étain (Sn) + plomb (Pb) + bismuth (Bi).

L'antifriction : étain (Sn) + antimoine (Sb) + cuivre (Cu).

La fausse argenterie : étain (Sn) + antimoine (Sb) + cuivre (Cu).

L'ANTIMOINE (Sb)

(du latin « stibium »)

A. ORIGINE.

Le minerai d'antimoine le plus connu est la stibine, qui est un sulfure d'antimoine. Ses lieux d'extraction sont la Chine, le Mexique, la France et l'Algérie. Il provient également du raffinage de certains métaux (zinc, plomb, nickel, cuivre), dans les minerais desquels il constitue une impureté importante. On le retire finalement des fumées de fours à plomb.

B. MÉTALLURGIE.

1^o **Grillage** de la stibine dans des creusets, au four à réverbère ou au cubilote pour la transformer en oxyde. Cette transformation s'opère par volatilisation et condensation dans des chambres spéciales.

2^o **Réduction** de l'oxyde d'antimoine au contact du **charbon de bois** dans le four à réverbère pour l'obtention du métal.

C. PROPRIÉTÉS.

L'antimoine est un métal blanc brillant à éclat d'argent. Sa densité est de 6,8 et son point de fusion 630°. Il est cassant et entièrement privé de ductibilité et de malléabilité ; il se pulvérise au choc. Sa ténacité est faible : $R = 7,5 \text{ kg/mm}^2$, mais allié à d'autres métaux, il leur communique sa dureté.

D. UTILISATION.

L'antimoine n'est pas utilisé pur, en raison de ses mauvaises caractéristiques mécaniques ; par contre, certains de ses alliages sont très recherchés. La verrerie utilise l'oxyde d'antimoine pour colorer en jaune les verres plombeux. Un alliage de cadmium, de bismuth et d'antimoine en présence du bismuth fournit un puissant couple thermoélectrique.

Alliages

Caractères d'imprimerie : antimoine (Sb) + plomb (Pb).

Antifriction pour coussinets :

étain (Sn) + antimoine (Sb) + cuivre (Cu).

Métal anglais pour couverts et statuettes bon marché :

antimoine (Sb) + zinc (Zn) + étain (Sn).

LE NICKEL (Ni)

A. ORIGINE.

Le nickel ne s'est rencontré à l'état métallique que dans les météorites. Ses minéraux les plus connus sont la garnierite et la nouméite ; ce sont des silicates de magnésie et des oxydes de nickel agglomérés. La garnierite est vert pâle et la nouméite vert foncé. Ces minéraux ne contiennent que 2 à 8 % de nickel. Les principaux pays producteurs sont la Nouvelle-Calédonie, le Canada et la Suède.

B. MÉTALLURGIE.

1^o Transformation en **oxydes** de la garnierite et de la nouméite par une série d'opérations assez complexes.

2^o Réduction de l'oxyde de nickel dans des cornues, en présence du charbon de bois à une température inférieure à son point de fusion.

3^o Affinage de la matte par électrolyse.

C. PROPRIÉTÉS.

C'est un métal de couleur blanche susceptible d'un très beau poli. Sa densité est de 8,8 et son point de fusion 1452°. Le nickel est très malléable, très tenace et très ductile : $R = 50 \text{ kg/mm}^2$; A % = 40. Il est inoxydable à l'air humide et difficilement attaqué par les acides, sauf l'acide azotique. Au rouge blanc, il se soude à lui-même, à l'acier et au fer ; il peut également se braser.

D. UTILISATION.

Le nickel est peu employé pur, sauf pour les **traitements anodiques** (nickelage) où il recouvre les principaux métaux d'une couche inoxydable.

Alliages. Ils sont nombreux et variés :

Alliages monétaires : Ni 25 % + Cu 75 %.

Ferro-nickel : Ni 10 à 25 % + Fe 90 à 75 %.

Aciers au nickel : Ni 3 % pour blindage de navires. R = 125 à 160 kg/mm².

Maillechort : Ni + Cu + Zn. Instruments de précision, compas, etc.

Bronze spécial : Ni + Cu + Al. Constructions navales.

Métal Invar : Acier + Ni. Chronométrie (coefficient de dilatation nul).

Platinite : Acier + Ni. Fil de connexion électrique (coefficent de dilatation du verre).

Nickromes : Ni + Cr. Appareils de protection chimique, radiateurs.

Constantan : Ni + Cu. Résistances électriques, rhéostats.

LE MANGANESE (Mn)

A. ORIGINE.

Le manganèse fut découvert en 1774 par le chimiste suédois Scheele dans la **pyrolusite** ou bioxyde de manganèse. Les principaux minérais utilisés actuellement pour son obtention sont des

minerais oxydés (pyrolusite) ou des minerais silicates (rhodonite). Leurs lieux d'extraction sont : l'U.R.S.S. (Nikopol), l'Inde, le Brésil et le Chili.

B. MÉTALLURGIE.

On réduit l'oxyde de manganèse par l'aluminium en poudre. Cette opération, semblable à l'aluminothermie, consiste à amorcer la réaction à l'aide d'une cartouche d'allumage après mélange intime des deux éléments. Cette cartouche est enflammée par un ruban de magnésium. Le manganèse isolé se réunit au fond du creuset où il est recouvert d'alumine fondu.

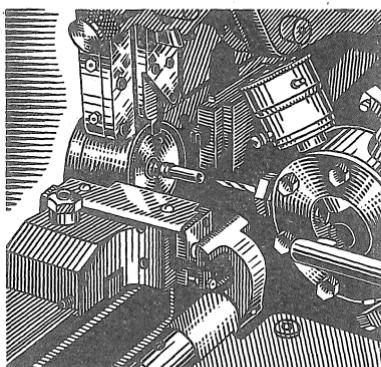
C. PROPRIÉTÉS.

De couleur gris acier, de texture grenue rappelant celle du fer, il a comme densité 7,39 à 22°. Point de fusion : 1212°. Très dur et très cassant, il s'altère rapidement à l'air humide en donnant un hydrate très poreux. C'est un excellent désoxydant pour la métallurgie.

D. UTILISATION.

Dans la métallurgie du fer et de ses composés, il réduit les impuretés en assainissant les bains métalliques (convertisseurs Bessemer et Thomas). Dans ce cas, son addition est faite sous forme de spiegelisen (faible teneur en Mn). Le ferro-manganèse (forte teneur en Mn) est utilisé en élément d'addition pour l'obtention des aciers spéciaux et des fontes spéciales.

En verrerie, il est utilisé sous le nom de savon des verriers pour décolorer et éclaircir le verre brut. A dose élevée, il colore le verre en violet.



LES ALLIAGES

DÉFINITION

Un **alliage** est un corps composé résultant de la combinaison par fusion de deux ou plusieurs métaux. Les alliages renfermant du mercure s'appellent **amalgame**s.

Exemples : Le **maillechort** est un alliage de :

Cuivre (Cu) + zinc (Zn) + nickel (Ni)

Le métal servant à étamer les glaces est un **amalgame** de :

Etain (Sn) + mercure (Hg)

PROPRIÉTÉS

La **densité** d'un alliage n'est pas la moyenne de la densité des métaux le constituant.

Le **point de fusion** d'un alliage n'est pas non plus proportionnel aux points de fusion des constituants.

Exemple : L'alliage Darcet qui fond aux environs de 94° est composé de :

50 % de bismuth (Bi) fusion à 271°

30 % de plomb (Pb) fusion à 327°

20 % d'étain (Sn) fusion à 232°

En outre, la **dureté** de l'alliage est également modifiée favorablement :

Exemple : Le bronze ordinaire (Cu + Sn) est plus tenace que chacun des constituants.

Les besoins de l'industrie imposent constamment la création d'alliages nouveaux, présentant, dans beaucoup de cas, des caractéristiques mécaniques supérieures à celles des métaux simples.

Ces alliages non ferreux sont de trois sortes :

1^o Les **alliages à base de cuivre** (Cu).

2^o Les **alliages à base d'étain** (Sn), de **plomb** (Pb) et de **zinc** (Zn).

3^o Les alliages légers, qui seront étudiés dans le chapitre des métaux légers.

1^o ALLIAGES A BASE DE CUIVRE (Cu)

Ils comprennent : les bronzes, les laitons et les maillechorts.

A. LES BRONZES

Leur composition générale est la suivante :

Bronze = cuivre (Cu) + étain (Sn)

Pour les bronzes ordinaires, la teneur en étain n'excède jamais 33 %.

Propriétés. — Ce sont des alliages d'autant plus durs que la teneur en étain est plus importante, non ductiles et non malléables, se moulant bien et s'unissant facilement. Leur oxydabilité est faible (platine du bronze) et ils sont susceptibles d'un beau poli.

Leur densité s'étage de 7,3 à 8,85 et leur point de fusion de 900° à 950°. Bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité, ils possèdent d'autre part d'excellentes qualités de frottement.

Utilisation. Pièces mécaniques délicates à mouler (robinetterie); pistons; graisseurs; dispositifs de freinage, etc. Pièces de frottements : coussinets, noix de chariots de machines-outils, glissières, etc. Pièces soumises à l'oxydation : hélices de bateaux, organes de distribution utilisés dans l'industrie chimique, etc.

Bronzes spéciaux

Ce sont des bronzes ordinaires auxquels on ajoute, pour en améliorer les caractéristiques mécaniques, d'autres corps comme éléments d'addition.

L'addition de phosphore jusqu'à 0,6 % procure le bronze phosphoreux, plus dur et plus résistant que le bronze ordinaire; il présente des qualités exceptionnelles de frottement. Il est utilisé pour les coussinets d'arbres tournant à grande vitesse : coussinets de boîtes d'essieux de locomotives, coussinets de turbines, etc.

L'addition de manganèse Mn = 6,5 % fournit le bronze manganisé avec amélioration de R et de A %. Confection des entretoises et des tirants de foyers de chaudières à vapeur.

L'addition de plomb, 8 à 18 %, procure une plus grande plasticité et une bonne résistance aux acides. Les bronzes au plomb

sont utilisés pour la fabrication des coussinets de wagons, des roues et pignons coniques et également dans l'industrie chimique.

L'addition d'**aluminium**, Al = 10 %, procure le **bronze Durville** et améliore sérieusement la résistance à la rupture qui atteint 80 kg/mm². Cet alliage se forge et se traite thermiquement (trempe à 700°; revenu à 300°). Il est **antimagnétique** comme tous les bronzes.

B. LES LAITONS

Les **laitons**, appelés improprement « **cuires jaunes** », sont des alliages dont la composition générale est la suivante :



Suivant leur emploi, d'autres éléments d'addition peuvent y être incorporés.

Propriétés. — Ce sont des alliages très ductiles et très malléables, bons conducteurs de la chaleur et de l'électricité. Leurs caractéristiques mécaniques sont supérieures à celles du cuivre. Ils sont plus fusibles, plus faciles à travailler et plus résistants aux agents atmosphériques.

Leur densité s'étage de **8** à **8,6** et leur point de fusion de **950°** à **1025°**.

La ténacité des laitons augmente lorsque la teneur en zinc croît jusqu'à 44 % pour diminuer ensuite ; aussi les seuls **laitons industriels** sont ceux à teneur en Zn inférieure à **44 %**.

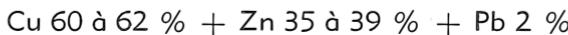
Couleur des laitons. — Suivant leur composition, la couleur des laitons varie du rouge au blanc. Ceux qui ont moins de 10 % de Zn sont **rouges**, ensuite ils deviennent **or** et **jaune verdâtre**. Avec 40 % de Zn, leur teinte est encore dorée, puis s'accentue vers le **rouge** avec 44 % de Zn. Au-dessus de cette dernière teneur, ils sont **blancs**.

Utilisation. — Très employé en planches, en barres, en tubes, etc., c'est le métal par excellence de l'**instrument de précision**. Son inoxydabilité, son très bel aspect extérieur après polissage et vernissage, sa facilité d'usinage (pliage, étirage, estampage, emboutissage, etc.) le font justement choisir pour la plupart des organes composant les appareils de la profession. Son utilisation est également courante en **électricité** : appareillage basse tension; en **mécanique générale** : industrie du décolletage, visserie et boulonnnerie; en **horlogerie**, en **bimbeloterie** et en **bijouterie fantaisie**.

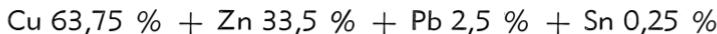
Composition et utilisation particulière des laitons

Il existe trois grandes classes de laitons :

1^o Les **laitons laminés en barres** pour utilisation générale :



2^o Les **laitons de décolletage** :



3^o Les **laitons en planches ou en bandes** :

Premier titre : Cu 63 % + Zn 37 %, pour emboutissage et repoussage ;

Deuxième titre : Cu 60 % + Zn 40 %, pour optique, articles de voyage, serrurerie et ameublement.

Titre Horlogerie : Cu 60 % + Zn 40 % + traces de plomb, pour découpage d'engrenages et perçage.

Titre mixte : Cu 62 % + Zn 38 %, pour estampage, boucle-rie, agrafes, maroquinerie.

Titre artillerie : Cu 67 % + Zn 33 %, pour emboutissage et repoussage profond, douilles pour obus.

Laiton à cartouches : Cu 72 % + Zn 28 %, pour emboutis-sage très profond.

Tombac : Cu 80 % + Zn 20 %, pour boutons d'uniformes.

Similor : Cu 83 % + Zn 17 %, pour articles de toilette, de parfumerie et de bureau.

Demi-rouge : Cu 87 à 90 % + Zn 10 à 13 %, pour bijouterie fantaisie.

Laitons spéciaux

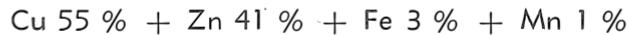
1^o Les **laitons à haute résistance** sont des nouveaux alliages très malléables à chaud et plus résistants que les bronzes :

$$R = 50 \text{ kg/mm}^2. A \% = 25$$

Ils sont constitués par les deux corps initiaux, avec addition, en proportions variables, de Pb, Ni, Cr, Mg.

2^o Les **laitons au manganèse**. Le manganèse augmente R et E. Ils sont employés en **pièces moulées** (hélices) ; en **pièces forgées** (tiges de pistons et de tiroirs) ; en **barres étirées** (boulons, rivets à haute résistance).

3° Les laitons au fer (**métal delta**) possèdent une grande résistance aux agents chimiques et sont utilisés pour les hélices de navires et les turbines :



4° Les laitons pour **brasure**, dont la composition varie suivant les métaux à assembler :

Pour acier et acier : Cu 70 % + Zn 30 % (900°).

Pour acier et cuivre : Cu 55 % + Zn 30 % + Sn 15 % (875°).

Pour cuivre et cuivre : Cu 50% + Zn 40% + Fe 10% (850°).

Traitement thermique des laitons

Pour neutraliser les tensions internes provoquées soit par le pliage, soit par le laminage, soit par l'emboutissage, il est nécessaire de pratiquer, autant de fois qu'il est utile et suivant le nombre d'opérations exigées pour l'exécution de la pièce, des **recuits successifs**. Ces recuits redonnent au métal ses caractéristiques initiales détruites par l'**écrouissage**.

On s'aperçoit que la limite d'écrouissage est atteinte lorsque le métal acquiert une grande élasticité et que des **gerces** apparaissent à sa surface.

L'opération de **recuit** consiste à chauffer le laiton jusqu'au rouge sombre, à le laisser refroidir lentement jusqu'à 100° et terminer en le plongeant brusquement dans l'eau froide.

C. LES MAILLECHORTS

Le maillechort doit son nom aux deux ouvriers lyonnais qui le fabriquèrent les premiers, en 1819 : Maillot et Chorrier.

Les différentes nuances de maillechort sont composées de la façon suivante :

Cuivre (Cu) 54 à 65 % + zinc (Zn) 15 à 23 % + nickel (Ni) 13 à 21 %.

Composition générale : Cu 60 % + Zn 20 % + Ni 20 %.

Densité : de 8,3 à 9,2.

Point de fusion suivant la teneur en Ni : 950° à 1021°.

Propriétés. — Ce sont des alliages de teinte blanc argent due à la présence du nickel. Ils sont **inoxydables**, malléables et ductiles et possèdent, d'autre part, avec une addition de 5 % de fer, une grande résistance électrique.

Utilisation. — Ces alliages consomment environ 15 % de la production mondiale du nickel. Leur emploi est surtout basé sur leur **inaltérabilité**, leur **bel aspect** après polissage et leur **résistance électrique**.

Voici les différentes variétés utilisées dans l'industrie :

Densité

Maillechorts courants de matriçage et d'estampe.	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cu 61 \% - Zn 20 \% - Ni 19 \%} \\ \quad \quad \quad + \text{Mn et Fe} \end{array} \right.$	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Instruments de mesure. Téléphone. 8,3} \\ \text{Machines à écrire.} \end{array} \right.$
Forgeage à chaud et filage à la presse.	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cu 42 \% - Zn 40 \% - Ni 15 \%} \\ \quad \quad \quad + \text{Mn et Fe} \end{array} \right.$	Ressorts de contact. 8,4
Décolletage	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cu 65 \% - Zn 17 \% - Ni 18 \%} \\ \quad \quad \quad \text{Pb 1,5 \% + Mn} \end{array} \right.$	Visserie de précision. 8,6
Maillechorts coulés	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cu 65 \% - Zn 6 \% - Ni 20 \%} \\ \quad \quad \quad \text{Pb 5 \% - Sn 4 \% - Mn 0,5 \%} \\ \quad \quad \quad + \text{Fe} \end{array} \right.$	Pièces de précision. 8,7
Mesures et laboratoire	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cu 54 \% - Zn 21 \% - Ni 13 \%} \\ \quad \quad \quad \text{Pb 10 \% - Mn + Fe} \end{array} \right.$	Soupapes et tuyauteries. 8,6
Quincaillerie	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cu 65 \% - Zn 16 \% - Ni 17 \%} \\ \quad \quad \quad \text{Pb 1,5 \% - Sn 0,5 \% - Fe 0,5 \%} \end{array} \right.$	Pièces blanches. 8,7
Maillechorts spéciaux :		
Alpacca	Cu 54 \% - Zn 26 \% - Ni 17 %	Ressorts de téléphone. 8,6
Ruolz et Thio	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cu 58 \% - Zn 21 \% - Ni 14 \%} \\ \quad \quad \quad \text{Pb 8 \%} \end{array} \right.$	Pièces rigides inoxydables. 8,5
Christalba	Cu 59 \% - Zn 23 \% - Ni 16 %	8,6
Métal Christofle	Cu 60 \% - Zn 23 \% - Ni 15 %	Orfèvrerie. 8,6
Nickeline	Cu 60 \% - Zn 15 \% - Ni 22 %	Résistances. 9
Argantan	$\left\{ \begin{array}{l} \text{Cu 65 \% - Ni 20 \% - Ag. 6 \%} \\ \quad \quad \quad + \text{divers} \end{array} \right.$	Appareils de mesure. 9,2

2° ALLIAGES A BASE D'ÉTAIN, DE PLOMB ET DE ZINC

Ce sont des alliages appelés improprement : **alliages blancs, antifriction ou régules**. Ils sont obtenus en prenant comme base non plus le cuivre, mais l'étain, le plomb et le zinc. Ces alliages ont un aspect blanc ou gris clair tout comme leur cassure.

Ils sont plastiques, inoxydables et résistent parfaitement au frottement. Leur usinage à l'outil est d'une grande facilité.

A. ALLIAGES D'ÉTAIN (Sn)

Antifriction ou régule, utilisé pour les garnitures intérieures de coussinets, de patins de glissières, de bielles, etc :

Etain (Sn) 88 % + antimoine (Sb) 8 % + cuivre (Cu) 4 %

Métal anglais, pour orfèvrerie bon marché :

Etain (Sn) 90 % + antimoine (Sb) 10 %

B. ALLIAGES DE PLOMB (Pb)

Caractères d'imprimerie :

Plomb (Pb) 60 % + antimoine (Sb) 25 % + étain (Sn) 15 %

Soudure des plombiers :

Plomb (Pb) 67 % + étain (Sn) 33 %

Métal rouge. C'est un **cupro-plomb** appliqué par centrifugation sur des coussinets de moteurs à explosion :

Cuivre (Cu) 70 % + Plomb (Pb) 30 %

C. ALLIAGES DE ZINC (Zn)

Antifriction anglais :

Zinc (Zn) 82 % + antimoine (Sb) 8 % + cuivre (Cu) 10 %

Alliages pour coussinets à frottement doux et de prix moins élevé que les alliages d'étain :

Zinc (Zn) 80 % + étain (Sn) 16 % + cuivre (Cu) 4 %

Zamak 3 et Zamak 5. Ce sont des alliages de zinc à haute teneur utilisés particulièrement pour la fabrication de **pièces de fonderie de l'industrie automobile** (carburateurs, pompes à essence, etc.) et pour la réalisation de certaines **matrices d'outils à découper et à emboutir**.

Zamak 3

Z - A4G

Al : 3,9 à 4,3 %

Cu : 0,1 %

Mg : 0,03 à 0,06 %

Zn : le reste

Densité : 6,6

Zamak 5

Z - A4U1G

Al : 3,9 à 4,3 %

Cu : 0,75 à 1,25 %

Mg : 0,03 à 0,06 %

Zn : le reste

Densité : 6,7

LES MÉTAUX LÉGERS

GÉNÉRALITÉS

Les métaux légers industriels sont dénommés ainsi parce qu'ils allient à d'acceptables caractéristiques mécaniques une **faible densité** les faisant rechercher dans de multiples domaines de l'industrie moderne.

L'**aluminium** et le **magnésium** utilisés purs n'auraient pas de débouchés très étendus, mais incorporés en proportions convenables à d'autres éléments, ils donnent naissance à des **alliages remarquables**, remplaçant l'acier dans la fabrication d'un grand nombre d'organes mécaniques. Les **métaux légers**, entrant toujours en une forte proportion dans les alliages, leur confèrent une inoxydabilité absolue jointe à un **poids trois fois moindre**.

L'ALUMINIUM (AI)

A) ORIGINE

L'aluminium a été découvert, en **1827**, par **Woehler**, mais, par suite de moyens rudimentaires d'obtention, le produit obtenu était impur et présentait un aspect granuleux. Le chimiste allemand était parti d'argile appelée à cette époque « alumine » et dénommée depuis **bauxite**, du nom du village provençal des Baux qui est le lieu des premières extractions.

Vers **1854**, le savant français **Sainte-Claire Deville** reprit l'étude de l'isolement de l'aluminium, dans le but d'obtenir un métal plus pur et plus apte à l'utilisation. Modifiant la méthode de Woehler, il obtint un résultat encourageant par addition de **cryolithe** (sel double d'aluminium et de sodium) découvert au Groenland. Le métal obtenu était alors débarrassé des impuretés qui l'avaient précédemment rendu inutilisable.

Sainte-Claire Deville ne s'estima pas encore satisfait, car la matière première employée et les traitements chimiques indispensables à l'obtention du métal rendaient son prix très élevé. Il démontra que l'**électrolyse de l'alumine** (oxyde d'aluminium) dissoute dans la **cryolithe** fondu libérait de l'aluminium pur. Malheureuse-

ment, à cette époque, l'énergie électrique était rare et coûteuse. Ce ne fut qu'en 1886 que le Français **Paul Héroult** et l'Américain **Charles Martin Hall** mirent au point, simultanément et indépendamment l'un de l'autre, le type de four électrique utilisé actuellement pour la fabrication de l'aluminium (fig. 46) (1).

En 1885, la production mondiale de l'aluminium était de **13 tonnes**, elle dépasse actuellement **4 millions de tonnes**; exprimée en volume, elle se place au second rang, immédiatement après l'acier.

B) MÉTALLURGIE

La production de l'aluminium se fait actuellement en deux étapes : fabrication de l'alumine à partir de la bauxite et fabrication de l'aluminium à partir de l'alumine.

a) Fabrication de l'alumine à partir de la bauxite.

La **bauxite** est un oxyde d'aluminium impur (oxydes de fer et de titane).

On distingue quatre espèces de bauxites :

La bauxite blanche (pierres précieuses synthétiques : saphir, rubis, etc.) ;

La bauxite grise (corindon, émeri artificiel) ;

La bauxite siliceuse (revêtements réfractaires, sables de fonderie) ;

La **bauxite rouge**, seule utilisée pour l'obtention de l'Al, contient moins de 5 % de silice. C'est une **argile** très abondante en France (Provence). Les principaux gisements étrangers sont en Hongrie, en Dalmatie, aux Indes, en Guinée, etc.

Le procédé couramment employé pour l'isolement de l'alumine consiste à traiter la bauxite en présence de la **soude caustique** et à faire suivre l'opération par une **calcination**. Il faut **deux tonnes de bauxite** pour obtenir **une tonne d'alumine**.

b) Fabrication de l'aluminium à partir de l'alumine.

Le principe consiste à **réduire**, par le courant électrique, un mélange fondu d'**alumine** et de **cryolithe**; la chaleur nécessaire à la fusion étant fournie par le courant lui-même.

(1) Paul Héroult et Charles Martin Hall sont nés la même année, en 1863, et sont morts également tous deux en 1914. Leur vie fut donc marquée par une curieuse coïncidence !

L'opération a lieu à une température variant entre 920 et 1000°, dans des « fours » recouverts intérieurement de charbon aggloméré formant cathode (—); l'anode (+) étant constituée par plusieurs électrodes en carbone pur (voir figure 46). L'aluminium se dépose sans interruption sur le fond de la cuve (cathode). La recharge du four en alumine a lieu plusieurs fois par jour et à intervalles plus espacés en cryolithe. L'intensité du courant varie de 10.000 à 100.000 ampères sous 5 à 7 volts.

Pour produire finalement **1 tonne d'aluminium**, il faut **18.000 kW/h d'électricité**; **2 tonnes d'alumine** ayant déjà nécessité l'emploi de **1.710 kg de charbon**, **4.750 kg de bauxite**, **150 kg de soude** et **266 kg de fuel**.

FOUR A ALUMINIUM

(Procédé Héroult)

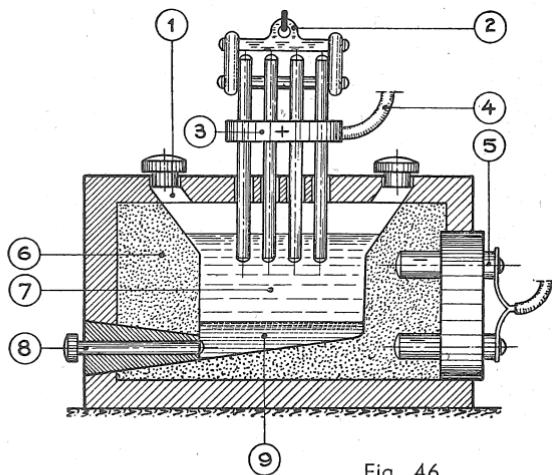


Fig. 46

1. Orifice de chargement.
2. Suspension de l'anode.
3. Anode mobile.
4. Courant continu (arrivée).
5. Cathode.
6. Charbon aggloméré.
7. Bain fondu d'alumine et de cryolithe.
8. Orifice de coulée.
9. Aluminium fondu.

Celui-ci est coulé soit en **lingots** de section trapézoïdale (900 g, 4 kg, 15 kg), soit en **planches** (jusqu'à 1.000 kg), soit en **billettes** de section ronde ou carrée.

A part quelques rares impuretés (fer et silicium), maximum 2 %, on produit l'Al suivant trois titres différents :

1° Al de 98 à 99 % ;

2° Al de 99 à 99,5 % ;

3° Al à 99,99 %, obtenu par voie **électrolytique**, possédant des propriétés remarquables de **malléabilité**, de haute **conductibilité électrique** et d'**inoxidabilité**.

Symbolisation de l'aluminium

Pour l'aluminium non allié, il a été prévu six qualités, désignées par les symboles suivants :

A 99 : Aluminium à 99,99 %,	A 7 : Aluminium à 99,7 %,
A 95 : Aluminium à 99,95 %,	A 5 : Aluminium à 99,5 %,
A 8 : Aluminium à 99,8 %,	A 4 : Aluminium à 99 %.

La corrosion de l'aluminium est d'autant plus faible que le métal est plus pur.

C) PROPRIÉTÉS

L'aluminium est, après le magnésium, le métal le plus léger qui puisse être utilisé industriellement. Sa densité est le tiers de celle du cuivre et de l'acier. Son point de fusion, relativement bas, rend facile son moulage en coquille. Seuls l'argent, le cuivre et l'or ont une conductibilité thermique supérieure. Enfin, sa haute conductibilité électrique permet, dans certains domaines, de le substituer au cuivre (transport d'énergie électrique, construction de matériel électrique).

Caractéristiques physiques

Densité à 20° : 2,7	Point de fusion : 658°
Densité à 700° : 2,38	Point d'ébullition : 1800°

Caractéristiques mécaniques (Al laminé ou écroui)

Résistance à la rupture : $R = 16 \text{ à } 20 \text{ kg/mm}^2$

Limite élastique : $E = 14 \text{ à } 18 \text{ kg/mm}^2$.

Allongement : $A \% = 3 \text{ à } 5$.

Dureté Brinell : $HB = 30 \text{ à } 40$.

Propriétés chimiques

Au contact d'une solution saline, l'aluminium subit une corrosion, sous forme de piqûres, d'autant plus importante que le métal est moins pur, aussi dans les industries chimiques et alimentaires emploie-t-on de préférence les titres à 99,5 % et même 99,99 %.

La soude et la potasse sont les gros ennemis de l'aluminium.

L'Al, comme presque tous les métaux, donne naissance, au contact d'un autre métal et en présence d'humidité, à un couple électrolytique variant avec la nature du métal. Ce couple, à intensité très faible, provoque la corrosion de l'aluminium. Citons, par ordre d'aptitude décroissante à la corrosion, les métaux dont le

contact doit être évité avec l'Al : platine, or, acier inoxydable, argent, cuivre, laiton, nickel, étain, plomb. Le fer et les aciers donnent un couple négligeable. Les métaux ne créant pas de couple électrolytique sont : le cadmium, le zinc et le magnésium.

REMARQUE. — La corrosion par couple électrolytique peut être évitée par interposition d'une couche d'un **vernis isolant**.

Utilisation

Les caractéristiques mécaniques de l'Al mettent en évidence une faible résistance à la rupture, mais des allongements importants à l'état recuit. Cette **ductilité** et cette **malléabilité** procurent de sérieux avantages en **tréfilage** et en **emboutissage**; l'aluminium peut donc être façonné sous les formes les plus variées : tôles, papier, étirés, poudres, fils, tubes, emboutis profonds, etc.

D'autre part, sa bonne résistance à la corrosion et son excellente tenue face aux produits alimentaires le fait rechercher dans les **industries chimiques** et dans la fabrication des **ustensiles de cuisine**.

Pour conclure, son **inoxydabilité** et son bel aspect après polissage lui procurent des débouchés en hygiène alimentaire, en décoration, en carrosserie et en architecture.

ALLIAGES D'ALUMINIUM

Les alliages d'aluminium sont des **alliages légers** dont la densité est comprise entre **2,6** et **2,8**. Leurs avantages sont dus, pour une partie, à leur **faible densité**, conséquence d'une forte teneur en Al (50 % minimum). Ils contiennent, en outre, un certain nombre d'éléments d'addition qui leur confèrent des caractéristiques mécaniques vraiment intéressantes.

L'aluminium s'allie avec facilité à un grand nombre de métaux, ce qui explique l'abondance de ses alliages et promet un avenir brillant à cette métallurgie naissante.

Les alliages que nous allons étudier sont dus à la Société « L'Aluminium français », à qui nous devons la documentation relative aux métaux légers.

Symbolisation des alliages d'aluminium

La symbolisation des alliages d'aluminium a été établie suivant les règles générales indiquées dans la norme française NF A 02-001 « Désignation chimique conventionnelle des métaux et alliages » (page 114).

Elle comporte des éléments littéraux et numériques faisant apparaître la composition chimique du métal de base et des éléments d'addition. Le métal de base des alliages légers est l'aluminium qui s'y trouve dans une proportion toujours supérieure à 50 %.

Les éléments d'addition sont des métaux auxiliaires que l'on ajoute volontairement au métal de base pour en modifier les propriétés.

Tous les autres éléments figurant dans la composition d'un alliage sont appelés impuretés.

Chaque alliage est désigné par un symbole composé d'un certain nombre de lettres et de chiffres

L'élément principal et les éléments d'addition sont représentés par les lettres suivantes qui sont des symboles chimiques abrégés.

Aluminium	A	Manganèse	M
Antimoine	R	Nickel	N
Chrome	C	Plomb	Pb
Cobalt	K	Silicium	S
Cuivre	U	Titane	T
Etain	E	Tungstène	W
Fer	Fe	Vanadium	V
Magnésium	G	Zinc	Z

La composition chimique est désignée de deux groupes de lettres et chiffres. Le premier groupe comporte la lettre du métal de base ; le second, séparé du premier par un trait d'union, comporte des lettres représentant un certain nombre d'éléments d'addition et, éventuellement, de chiffres caractérisant leur teneur (chaque chiffre suivant immédiatement l'élément d'addition auquel il se rapporte).

Pour distinguer les alliages de première fusion de ceux de deuxième fusion, on fait précédé pour ces derniers la lettre représentant le métal de base par le chiffre 2.

Exemples : A-G5, alliage de première fusion comportant environ 5 % de magnésium.

A-U4G, alliage de première fusion de la famille des duralums, comportant environ 4 % de cuivre et une faible quantité de magnésium.

2A-U4G, alliage de seconde fusion comportant environ 4 % de cuivre et un peu de magnésium.

Nous grouperons en un nombre restreint les **alliages-types** des deux grandes classes suivantes :

1^o Alliages de fonderie ;

2^o Alliages de laminage.

1^o ALLIAGES DE FONDERIE

a) ALLIAGES SANS TRAITEMENT THERMIQUE

ALLIAGE AU CUIVRE : A-U8

Cu = 8 % (moulé en coquille).

R = 16 à 20 kg/mm²

E = 10 à 12

A % = 2 à 3

HB = 70 à 80

Appelé également **alliage américain**, facile à couler, il est employé dans la confection des carters de toutes sortes.

Le **silicium** donne avec l'Al des alliages fort intéressants par leur fluidité au moment de la coulée. Le plus important de ceux-ci est :

ALPAX : A-S13

Si = 13 % (moulé en coquille).

R = 20 à 22 kg/mm²

E = 8 à 9

A % = 3 à 6

HB = 60 à 65

Ses caractéristiques de fonderie sont telles qu'elles permettent l'obtention de pièces compliquées minces et sans criques (portières de wagons). En automobile, ses usages sont nombreux : pistons de moteurs à explosion, culasses de moteurs, blocs-cylindres, carters de boîtes de vitesses, etc.

ALLIAGES A-G3 ET A-G6 (1)

Mg = 3 à 6 % ; **Mn** = 0,5 %.

Ce sont des alliages possédant une remarquable résistance à la **corrosion** ; en outre, ils sont susceptibles d'un très beau poli. Moulés en coquille, ils donnent les caractéristiques mécaniques suivantes :

R = 22 à 26 kg/mm²

E = 12 à 14

A % = 5 à 10

HB = 65 à 75

(1) Ces alliages apparaissent également dans la catégorie des alliages de laminage et de forge (Duralinox).

b) ALLIAGES AVEC TRAITEMENTS THERMIQUES (1)

ALLIAGE A-U5GT

Cu = 4,5 % ; **Ti** = 0,4 % ; **Mg** = 0,25 %.

Cet alliage, appelé autrefois APM ou AP33, comporte un traitement de trempe suivi de revenu lui conférant une grande résistance à la rupture, une limite élastique élevée et une grande dureté.

R = 35 à 42 kg/mm²

E = 22 à 25

A % = 10 à 18

HB = 60 à 65

Ses caractéristiques mécaniques le font rechercher pour toutes pièces de fatigue dont les finesse de fonderie peuvent être inférieures à l'Alpax.

ALLIAGE A-U4N

Cu = 4 % ; **Ni** = 2 % ; **Mg** = 1,5 %.

Cet alliage, appelé autrefois alliage Y, doit à la présence du nickel une excellente tenue aux températures élevées. Moulé en coquille, il donne les caractéristiques suivantes :

R = 24 à 30 kg/mm²

E = 20 à 23

A % = 0,5 à 1,5

HB = 95 à 105

Il est utilisé dans la fabrication des pistons de moteurs à combustion interne, des culasses et, d'une manière générale, pour tous les organes destinés à fonctionner à haute température.

ALLIAGE A-S12UN

Si = 12,8 % ; **Cu** = 1 % ; **Ni** = 1 % ; **Mg** = 1,2 %

C'est le plus dur parmi les alliages légers, dont l'appellation ancienne était Centrasil.

R = 19 à 21 kg/mm²

E = 16 à 18

A % = 0,5 à 1

HB = 120 à 130

Son choix est tout indiqué pour la fabrication des pistons de moteurs Diesel, à cause de sa dureté et de son faible coefficient de dilatation.

2° ALLIAGES DE LAMINAGE ET DE FORGE

DURALUMIN

L'alliage léger le plus utilisé actuellement et possédant les meilleures caractéristiques mécaniques est le duralumin.

(1) Les traitements thermiques des métaux légers seront étudiés dans le paragraphe « Duralumin ».

Origine. — C'est un alliage d'Al découvert en 1909 à l'occasion de recherches exécutées pour le remplacement du laiton. Il est dû à l'Allemand Wilm et aux usines de Düren. La Société d'Electrochimie Française s'étant rendu compte des débouchés ouverts à ce métal, quatre fois plus résistant que l'aluminium pur, poussa activement les procédés de fabrication. Les licences furent octroyées en 1912 à la Société du Duralumin, qui est seule habilitée pour le commerce du duralumin en France et aux colonies.

Composition. — Le duralumin est un alliage léger à haute résistance, dont les caractéristiques mécaniques sont celles de l'acier doux, avec une densité trois fois plus faible. Son appellation normalisée est la suivante :

A-U4G

Al 95 % + Cu 4 % + Mg 0,5 % + Mn 0,5 %

Propriétés. — Le duralumin est susceptible d'être façonné à chaud, au marteau-pilon, à la presse, au laminoir, etc.

Pour lui conférer ses propriétés, deux conditions sont nécessaires; il faut qu'il soit :

a) **Corroyé**, c'est-à-dire façonné à chaud par laminage ou forgeage;

b) **Trempe** après chauffe à 500°.

Le duralumin « **recuit** » est l'alliage corroyé, mais non trempé.

Le duralumin « **normal** » est désigné ainsi après avoir été corroyé et trempé.

Le duralumin « **dur** » est l'alliage travaillé à froid après trempe. Sa résistance mécanique et sa limite élastique sont alors augmentées au détriment de l'allongement.

Caractéristiques mécaniques

Caractéristiques	Recuit	Normal	Dur
Résistance à la rupture	R 18 à 23 kg	40 à 44 kg	45 à 55 kg
Limite élastique	E 10 à 15 kg	26 à 30 kg	36 à 50 kg
Allongement	A % 22 à 16	24 à 16	10 à 3
Dureté Brinell	HB 55 à 60	100 à 110	120 à 150
Point de fusion	650°	650°	650°
Densité	2,8	2,8	2,8

Le duralumin est livré à l'état « **Reduit** » et « **Normal** » sous forme de tôles, bandes, barres, profilés, fils, tubes, pièces forgées. La qualité « **Dur** » ne se fait qu'en tôles, bandes et tubes.

Traitements thermiques

Les propriétés du duralumin et des alliages à traitements thermiques sont fortement influencées par ces derniers.

Trempe. — On chauffe le métal entre 480° et 500° pendant 15 à 20 minutes, puis on le refroidit **brusquement** par immersion dans de l'eau de 0° à 50°. Aussitôt après ce traitement, le duralumin est **mou**; il durcit progressivement un certain temps après cette opération. On met à profit sa malléabilité passagère pour le chauffer ou l'emboutir dans les trois ou quatre heures qui suivent la trempe (travail sur trempe fraîche).

A 520° le duralumin est brûlé et inutilisable.

Maturation. — C'est l'influence du temps sur le duralumin; celle-ci est **favorable** au métal puisque, après trempe, elle le durcit progressivement. Le métal atteint ses caractéristiques maxima au bout de **quatre jours à 15°**.

Reduit. — On porte le métal à une température pouvant varier de **375 à 425°** pendant 3 ou 4 heures, puis on le laisse refroidir **lentement**. Le métal ainsi recuit reste dans cet état tant qu'il n'a pas subi d'autres traitements thermiques ou mécaniques. Après travail sur métal recuit, il est nécessaire de le tremper pour lui redonner ses caractéristiques normales.

Travail à chaud. — Le forgeage, l'estampage, l'emboutissage du duralumin s'opèrent entre **375 et 425°**; après façonnage, on procède à la trempe. Pour certains chaudiornages, on peut limiter le chauffage à **200°**, le **duralumin trempé** conserve alors ses caractéristiques sans avoir recours à une nouvelle trempe.

DURALUMIN F.R. (à forte résistance) : A-U4G1

Cu 4 % + Mn 1,2 % + Mg 1,3 % + Si 0,6 %.

C'est un alliage à traitements thermiques étudié récemment pour l'**aviation** et dont les appellations sont les suivantes : **Fortal E, Durcilmium fort, Avial 15.**

Ses caractéristiques mécaniques à l'état « **dur** » sont les suivantes :

R = 50 à 58 kg/mm²

E = 45 à 53

A % = 10 à 13

HB = 135 à 145

La **trempe** a lieu entre 490° et 500°, après un chauffage de 20 minutes à cette température; elle est opérée dans de l'eau portée aux environs de 40°.

Le **recuit** nécessite une température de 380° à 400°.

Le **duralumin F.R.** est livré sous forme de profilés et de bandes utilisés dans la construction des poutrelles d'avions.

VÉDAL

Le Védal est constitué par une **âme en duralumin** recouverte de part et d'autre d'une **couche d'aluminium pur**; ce revêtement métallique, appliqué par laminage, est ennemi de la corrosion et est préférable à la protection par peintures, vernis ou oxydes. La couche d'aluminium pur représente 5 % de l'épaisseur totale du métal. Le Védal possède les mêmes caractéristiques mécaniques que le duralumin, mais se travaille plus facilement, grâce à la couche d'Al malléable.

Son emploi est tout indiqué pour les **constructions maritimes** ou **aéro-navales**, grâce à sa faible densité et à sa bonne tenue face aux agents de corrosion. Certains types d'avions et d'hydravions sont actuellement construits presque exclusivement en Védal.

DURALINOX

C'est un alliage d'**aluminium** et de **magnésium**, dont les appellations sont **Scleral** et **Alumag**. Ses caractéristiques mécaniques intéressantes ne sont pas dues à un traitement thermique, d'où une grande facilité de travail.

Le duralinox est livré suivant trois nuances :

A-G3 : 3 % de Mg ; **A-G5** : 5 % de Mg ; **A-G7** : 7 % de Mg.

Les nuances A-G5 et A-G7 sont utilisées pour la fabrication de pièces chaudronnées dont les dimensions rendent la trempe impossible après finition.

La nuance A-G3 permet des emboutis profonds susceptibles d'un très beau poli : panneaux lumineux, enseignes, comptoirs, sièges, etc.

ALMASILIUM : A-SG

L'almasilium est un alliage d'**aluminium**, de **magnésium** et de **silicium** sans cuivre :

$$\text{Al} = 97,8 \% + \text{Si} = 1,5 \% + \text{Mg} = 0,7 \%$$

Il est plus malléable que le duralumin; ses caractéristiques mécaniques sont les suivantes à l'état « normal » :

$R = 26 \text{ à } 28 \text{ kg/mm}^2$

$A \% = 20$

$E = 14 \text{ à } 18 \text{ kg}$

$HB = 66$

L'almasilium a comme appellations auxiliaires : **Impérium**, **Inoxalium**, **Silalium** et **Vival**.

Cet alliage prend la **trempe à 490°, 500° et 530°** et donne trois nuances de dureté croissante. Le **recuit** a lieu à **380°**.

D'un travail facile, il peut se substituer au **laiton** pour l'exécution de toutes pièces découpées, cambrées, embouties ou repoussées. Sa bonne tenue face à la **corrosion** le fait employer dans les industries chimiques, parallèlement à l'aluminium pur, mais avec des caractéristiques mécaniques bien supérieures. Il est également utilisé sous forme de panneaux, tubes et profilés dans l'industrie du **meuble** et de la **décoration**.

LE MAGNÉSIUM (Mg)

A. ORIGINE.

L'industrie du magnésium a précédé celle de l'aluminium. C'est, en effet, en 1808 que l'Anglais **Humphrey** en obtint un amalgame par voie électrolytique. En 1857, les recherches de **Sainte-Claire Deville** permirent d'obtenir un métal pur en partant du chlorure de magnésium.

La méthode industrielle moderne d'obtention du magnésium fut définitivement mise au point par deux savants allemands, en 1885, qui l'isolèrent de son principal minéral, la **carnalite**.

De 1915 à 1922, deux usines françaises se partagèrent la production nationale, en Isère et en Savoie. En 1930, ce fut la « Société Générale du Magnésium » qui acquit les droits de production et de vente.

B. MÉTALLURGIE.

Le magnésium n'existe pas à l'état natif, il est extrait de la **dolomie** ou de la **carnalite** (chlorure double de magnésium et de potassium). Ces minéraux sont fondus vers 750° et décomposés par électrolyse. Le magnésium, plus léger, **surnage** et est recueilli dans des poches, tandis que le chlore se dépose sur l'électrode **positive**. Après **affinage**, le métal titre 99,5 % de pureté.

C. PROPRIÉTÉS.

C'est un métal brillant comme l'argent, peu malléable et peu ductile à froid. Il ne s'oxyde pas à l'air sec, mais, à l'air humide, il se ternit en se recouvrant d'une couche protectrice d'oxyde.

Sa densité est de 1,74; son point de fusion, 650° et il bout à 1120°. Entre 350° et 450°, il devient très malléable. Le magnésium a une affinité pour l'oxygène qui dépasse celle des autres métaux, aussi est-ce un agent désoxydant énergique (1 kg de Mg suffit pour désoxyder 3 tonnes de Cu).

Porté à son point de fusion, il s'enflamme en produisant une lumière blanche éblouissante et cela d'autant mieux qu'il est plus divisé, cette combustion s'accompagne d'un dégagement de chaleur (3000°). A l'inverse de l'aluminium, la soude et la potasse sont sans action sur le magnésium. Après forgeage, ses caractéristiques mécaniques sont les suivantes :

$$R = 25 \text{ kg/mm}^2 \quad A \% = 10$$

Utilisation. — A l'état pur, il ne sert guère que comme réducteur en métallurgie; la photographie et la pyrotechnie en font une consommation assez importante. Mais le véritable débouché du magnésium est son emploi sous forme d'alliages auxquels il communique sa grande légèreté.

ALLIAGES DE MAGNÉSIUM

Les alliages de magnésium comportent au moins 90 % de métal pur. Celui-ci est allié à l'aluminium, au zinc et au manganèse.

L'**aluminium** améliore la plupart des caractéristiques mécaniques et la coulabilité des alliages.

Le **zinc** augmente la malléabilité et la ductilité.

Le **manganèse** favorise dans de notables proportions la résistance aux agents de corrosion.

Les principaux alliages de magnésium sont le **Metal Elektron** (Allemagne) et le **Down metal** (Etats-Unis), dont la composition moyenne est la suivante : **Mg** 92,5 % ; **Al** 0,9 % ; **Sn** 5 % ; **Zn** 0,6 % ; **Fe** 0,5 % ; **Si** 0,5 %.

Pratiquement, par rapport au duralumin, les alliages de Mg assurent, à sécurité égale, un gain de poids de 20 à 25 % et, par rapport à l'Alpax, un gain de 25 à 30 %.

2. LA STELLITE LES CARBURES MÉTALLIQUES LA CÉRAMIQUE ET LE DIAMANT

DÉFINITION

La stellite, les carbures métalliques, la céramique et le diamant sont des alliages utilisés pour les outils de coupe et possédant des propriétés spéciales de résistance bien supérieures aux meilleurs aciers à coupe rapide ; de plus, ils ne sont pas sensibles à l'influence des traitements thermiques.

1° LA STELLITE

C'est un alliage de **chrome**, de **cobalt** et de **tungstène** à haute teneur. La stellite conserve sa dureté malgré une élévation de température importante, élévation bien supérieure à celle où l'acier à coupe rapide perd tout pouvoir de coupe.

Composition chimique d'après analyse

Fer	4,6 %	Silicium ...	0,2 %	Chrome	32 %
Carbone ...	1,6 %	Tungstène .	10,6 %	Cobalt	51 %

Propriétés mécaniques. — Son usinage ne peut s'effectuer qu'à la meule en partant d'un produit brut de coulée.

Il est impossible de la tremper ou de lui faire subir l'opération de recuit. Sa **dureté Brinell** est de **670 unités**.

Son point de fusion est de **1280°**.

Son coefficient de dilatation étant voisin de celui du fer, elle permet, à l'aide du chalumeau oxy-acétylénique, le **stellitage** de certains outils travaillant fortement à l'usure : matrices, poinçons, etc.

L'utilisation de la stellite prolonge jusqu'à 30 fois la durée des parties soumises à l'usure, par rapport à l'acier.

Les outils de coupe en stellite ont l'inconvénient de s'effriter sur les angles plus rapidement que les outils en acier à coupe rapide, aussi lui préfère-t-on les **carbures métalliques**.

Par contre, sa haute teneur en chrome et en cobalt le rend **insensible aux agents ordinaires de corrosion** (sièges de soupapes).

Une des stellites les plus appréciées prend l'appellation d'**alacrite**. Sa composition est la suivante : C : 2 % ; Co : 47 % ; Cr 29 % ; W : 16 % ; Si : 0,2 % ; Mn : 0,6 % ; Fe : 5,2 %.

Un autre alliage, cobalt, chrome, tungstène à haute teneur, appelé **crobalt**, est fabriqué aux Etats-Unis et préparé au four électrique à 1650°. Le **crobalt** conserve une grande dureté jusqu'à l'approche de sa température de fusion.

Le rendement de cet alliage est compris entre celui des meilleurs aciers à coupe rapide et celui des carbures métalliques.

Remarque importante. — Quand une pièce stellitée s'échauffe en période d'affûtage, ne jamais la refroidir en la plongeant brusquement dans l'eau.

2^e LES CARBURES MÉTALLIQUES

Origine. — L'origine des **carbures métalliques** est américaine.

En effet, de 1917 à 1920, trois brevets ont été déposés à Washington pour la fabrication d'alliages d'une extrême dureté tels que : carbure de tungstène, carbure de cobalt, etc.

En 1925, la firme allemande **Krupp-Widia** (1) prit également un brevet analogue. Mais il existe actuellement plusieurs usines en France qui fabriquent des carbures métalliques, en particulier le Carbone Lorraine « **Carboram** », les établissements Marathon « **Titanic** » et les établissements Aubert et Duval.

Caractéristiques mécaniques. — Les carbures métalliques constituent la plus grande invention qui ait été faite dans le domaine du travail des métaux depuis la découverte de l'acier rapide par **Taylor** et **White**.

La densité des carbures de tungstène et de cobalt est de **14,6**, celle des carbures de titane, tungstène et cobalt de **11,2**, soit près du double des aciers ordinaires.

La dureté du carbure de tungstène se rapproche sensiblement de celle du diamant, 9,7 pour 10. Le chiffre de **dureté Brinell HB** est de **2.000** environ.

Fabrication des différents carbures

On mélange d'abord dans un broyeur le **carbure de tungstène pulvérisé** et le cobalt en poudre dans la proportion de 5 à 15 % de métal. Au cours du broyage, chaque particule de carbure se

1) De « Wie diamant » (comme diamant).

charge de liant métallique. Ce mélange est alors comprimé à la presse hydraulique à une pression de **4.000 kg/cm²**.

La préparation se poursuit par un traitement thermique à **850°** en atmosphère d'hydrogène, assurant ainsi une meilleure cohésion moléculaire.

Quand la pièce est en forme, elle doit être « **frittée** », opération correspondant à la vitrification du métal entre **1400° et 1500°**. A cette température le métal formant liant fond seul, laissant les carbures à leur état primitif.

Différents carbures métalliques. — **C**arbures de tungstène, de cobalt, de tantale, de titane, de bore. Les nuances ayant jusqu'à **14 % de cobalt** sont utilisées pour les fortes passes et les travaux d'ébauche. Les carbures de tungstène, plus durs et plus fragiles, n'ayant que **3 % de cobalt** sont employés pour l'usinage, à de grandes vitesses de coupe et par passes fines, des métaux non ferreux, les matières non métalliques, les fontes. Les **c alliés au carbure de tungstène servent aux travaux de tournage, de dressage et d'alésage de l'acier.**

On a pu réaliser industriellement le **carbure de bore** dans un état de pureté atteignant 99 %. Ce carbure est, après le diamant, le corps le plus dur connu actuellement. Il est préparé au four électrique par dissolution d'acide borique que l'on fait réagir sur du coke de pétrole très pur.

Affûtage des outils en carbures métalliques

Cette opération ne peut s'effectuer que sur des **meules** extrêmement dures au carbure de silicium (**carborundum**) ou sur des **meules diamantées** très fines, contenant de la poudre de diamant du Brésil. Ces meules doivent être **arroées abondamment**.

Mises rapportées en carbures métalliques

La fixation des pastilles en carbures métalliques sur les corps d'outils se réalise sans difficultés particulières par **brasage** au laiton ou au cuivre rouge; ce mode d'assemblage amortit mieux les chocs. Il est nécessaire de préparer les surfaces d'assise d'une façon correcte (planitude parfaite). Avant brasage, ne laisser subsister aucune trace d'oxyde ou d'impureté. Utiliser un bon déca-pant. Appuyer fortement sur la pastille au début du refroidissement.

Un essai de fraisage a été exécuté sur des pièces en fonte dure présentant des crasses. La fraise en acier à coupe rapide devait

être affûtée toutes les 60 pièces, alors que la fraise à mises rapportées en carbure métallique a pu finir une série de 7.000 pièces sans affûtage.

3^o LA CÉRAMIQUE

Généralités. — La céramique est employée actuellement comme élément de coupe sous forme de pastilles rapportées sur les becs d'outils. Les résultats obtenus, malgré un début d'utilisation très récent, permettent des débouchés extraordinaires, aussi bien en précision qu'en état de surface.

D'autre part, les **vitesses de coupe** permises par les **outils à céramique** sont bien supérieures à celles autorisées par les carbures métalliques.

Composition. — La céramique de coupe est de l'**alumine frittée** additionnée à de l'oxyde de chrome. Sa densité est de 3,8 (1).

Précautions d'emploi. — C'est un produit très fragile en raison de sa grande dureté, aussi, en période de travail, aucune vibration ni aucune résonance ne doivent être tolérées de la part du support d'outil.

Affûtage. — L'affûtage ne peut être effectué que sur une **meule diamantée**, et cela sans aucune vibration des organes de la machine.

Fixation de la mise rapportée. — La pastille de céramique sera immobilisée sur le corps d'outil, soit par **brasage**, soit, plus couramment, **mécaniquement**. Dans ce dernier cas, le démontage facile de la mise rapportée en permet le remplacement rapide, car son réaffûtage n'est pas économique.

4^o LE DIAMANT

Généralités. — Le diamant est utilisé sur les outils de coupe lorsque sa pureté n'est pas suffisante pour son emploi en bijouterie. C'est du **carbone pur** cristallisé. Sa taille n'est possible qu'avec sa propre poudre. L'unité particulière permettant de le peser est le **carat** (200 milligrammes). Sa **densité** est de 3,52. Son extraction a lieu dans les pays suivants : Afrique (Cap, Congo), Amérique du Sud (Brésil) et Australie (2).

(1) Des renseignements plus détaillés manquent à l'auteur en raison du silence entourant les procédés d'élaboration.

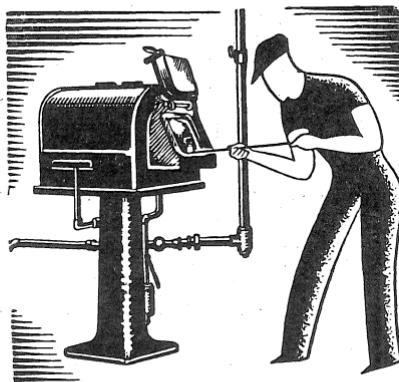
(2) Le diamant industriel valait, en 1956, 45.300 fr. le carat.

Taille et fixation du diamant. — Le diamant industriel servant à la coupe des métaux est taillé d'une façon toute particulière, en utilisant un support « dop » le présentant suivant différents angles sur un plateau en fonte, garni d'huile et de poudre de diamant, tournant à 2.300 tours/minute. Le diamant taillé est ensuite fixé à l'extrémité des corps d'outil par brasure à l'argent.

Coupe des métaux et matières diverses. — Le diamant n'est pas utilisé pour l'usinage des métaux ferreux, en raison de sa fragilité, mais seulement pour la **superfinition** des alliages d'aluminium et de magnésium ; de cuivre (laiton et bronze), de l'argent, de l'or et du platine. Le tournage des matières diverses : ébonite, fibre, matières plastiques, ivoire, verre et marbre est grandement facilité par son emploi où il est irremplaçable.

Durée de coupe. — Si un carbure métallique est affûté, pour un certain travail, quatre fois par jour, un outil au diamant ne nécessitera, pour le même usinage, qu'un affûtage tous les trois mois.

Précautions d'emploi. — Malgré les vitesses de coupe excessivement élevées permises par le diamant (**600 m/mn** pour les métaux non ferreux), aucune vibration ni aucune résonance ne seront tolérées en période de travail. Les machines-outils susceptibles de l'utiliser devront donc être parfaitement stables et rigides en alliant **grande vitesse de rotation** et **faible avance**.



3. CONTROLE DES NUANCES D'ACIER

GÉNÉRALITÉS

A l'atelier, l'ouvrier a parfois besoin de **connaître rapidement la nuance d'un acier**, soit qu'il veuille le travailler à une vitesse de coupe convenable, soit qu'il doive lui faire subir un traitement thermique approprié.

Nous supposons évidemment que l'échantillon d'acier en sa possession n'a extérieurement aucune teinte caractéristique permettant de le classer.

Trois moyens sont à sa disposition pour en faire la distinction : **essai de trempe; examen de la cassure; usure à la meule d'émeri sèche.**

1^o Essai de trempe

Seuls les **aciés durs** prennent la trempe, plus ou moins correctement suivant leur constitution et leur homogénéité.

Il suffira donc de porter au rouge cerise (850° à 900°) quelques centimètres de longueur de la barre à examiner. Après un refroidissement brusque à l'eau froide, un choc brutal doit la rompre franchement, surtout si l'on avait pris soin auparavant d'amorcer un trait de scie sur sa périphérie.

Certains **aciés mi-durs** voient malgré tout leur dureté primitive augmenter avec l'opération de trempe, mais la cassure ne s'obtient pas aussi facilement et les bords en sont arrachés.

2^o Examen de la cassure

Il faut examiner la cassure autant que possible à la loupe afin d'en accentuer les détails. Cet examen devra porter sur la couleur des grains, leur grosseur, leur homogénéité ou leur hétérogénéité.

Acier doux. — Gros grains, enchevêtrés, peu brillants et très inégalement répartis.

Aacier dur, acier fondu. — Grains plus fins, brillants au sommet et très régulièrement disposés : la cassure est toujours blanche.

Aacier à coupe rapide. — Les grains sont extrêmement fins, régulièrement répartis sur une cassure gris terne.

3° Usure à la meule d'émeri sèche

Dans ce troisième cas, il faut tenir compte de la couleur, de l'aspect et de l'amplitude des étincelles produites.

Ce procédé de distinction des aciers est pratique et économique, car il ne nécessite pas de prélèvement dans les barres à essayer. De plus, un œil exercé arrive à une sûreté et à une grande rapidité de jugement.

Aacier très doux. — Etincelles rares, de couleur orange, également réparties sur une assez grande longueur.

Aacier doux. — Peu d'étincelles sur une trajectoire assez longue.

Aacier mi-dur. — Etincelles jaune clair en petit nombre, augmentant d'éclat avant de s'éteindre.

Aacier dur. — Etincelles nombreuses jaune pâle fusant en gerbe.

Aacier à coupe rapide. — Rares étincelles de trajectoire courte et de couleur rouge sombre. Leur éclatement a lieu en fusée à une courte distance de la meule.

Aacier au nickel. — Etincelles rondes assez rares de teinte rouge pâle formant fusée et grossissant à la fin de leur trajectoire.

Aacier au manganèse. — Etincelles rares, mais importantes, de couleur blanche et de trajectoire assez longue, elles éclatent en fusée, tout comme l'acier à coupe rapide.

NOTA. — Dans les établissements industriels utilisant une grande quantité et de grandes variétés d'aciers, il est absolument indispensable de repérer ceux-ci à l'aide de couleurs.

Les barres d'acier seront donc colorées sur toute leur longueur d'une ou plusieurs teintes différentes, facilitant ainsi leur distinction.

Cette précaution élémentaire permet d'éviter de graves erreurs.

4. DÉSIGNATION NORMALISÉE DES MÉTAUX ET ALLIAGES

Afin de préciser la façon de reconnaître et désigner les différentes nuances de métaux et alliages, l'Association Française de Normalisation a homologué les normes à adopter (1).

ACIERS

Trois nuances particulières ont été choisies.

a) Aciers non alliés

Dans cette première nuance, trois classes différentes sont précisées : **A**, **C** et **XC**.

Classe A. — Elle désigne les **aciés de construction d'usage courant**, sans garantie de réponse aux traitements thermiques.

Exemple de désignation : **A 48**.

A : Symbole de classe ;

48 : Résistance à la rupture. $R = 48 \text{ kg/mm}^2$.

Classe C. — Elle désigne les **aciés de construction susceptibles de répondre aux traitements thermiques**.

Exemple de désignation : **C 68**.

C : Symbole de classe ;

68 : Teneur % en carbone **multipliée par 100**. $C = 0,68 \%$.

Classe XC. — Cette classe désigne les **aciés au carbone de qualité supérieure**, dits **aciés fins**.

Exemple de désignation : **XC 50**.

XC : Symbole de classe ;

50 : Teneur % en carbone **multipliée par 100**. $C = 0,50 \%$.

Exemples d'utilisation

A 33 - 42 **Acier doux** : arbres de transmission, décolletage...

A 56 ou XC 32 **Acier mi-dur** : vilebrequins, pièces de forge...

A 65 ou XC 48 **Acier dur** : ressorts, poinçons, matrices, clavettes...

A 75 ou XC 80 **Acier extra dur** : corde à piano.

A 37 (doux) **A 56** (mi-dur) **Acier étiré**.

XC 75 **Acier fondu**.

Indice de pureté. — Suivant la teneur en impuretés des aciers, la norme NF A 02 001 impose des indices de pureté désignés par une lettre allant de **b** à **m** pour des teneurs de plus en plus faibles

(1) NF A 02-001.

en soufre et en phosphore et placée après le nombre indiquant la teneur en carbone.

Exemple de désignation : XC 18 f et XC 25 d.

La deuxième nuance, à 0,25 % de carbone, est moins pure que la première.

b) Aciers faiblement alliés

Les aciers alliés, plus spécialement réservés à la fabrication des outils, sont divisés en deux catégories, suivant qu'ils contiennent de **faibles ou fortes teneurs** en éléments d'addition. Ces derniers sont désignés par des **symboles simplifiés**.

A	Aluminium	N	Nickel
C	Chrome	Pb	Plomb
D	Molybdène	R	Antimoine
E	Etain	S	Silicium
Fe	Fer	T	Titane
G	Magnésium	U	Cuivre
K	Cobalt	V	Vanadium
M	Manganèse	W	Tungstène
Z	Zinc		

Nous remarquerons que dans la **désignation particulière** de ces aciers faiblement ou fortement alliés, les éléments d'addition les plus importants ont leur **teneur %** seulement **multipliée par 4**, alors que les autres éléments voient leur **teneur %** plus faible **multipliée par 10**.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Chrome} \\ \text{Cobalt} \\ \text{Manganèse} \\ \text{Nickel} \\ \text{Silicium} \end{array} \right\} \times 4 \quad \left. \begin{array}{l} \text{A - D - Fe - Pb} \\ \text{T - U - V - W} \end{array} \right\} \times 10$$

Les aciers faiblement alliés ne possèdent aucun élément d'addition dont la teneur est supérieure à 5 %.

Désignation. — La norme NF A 02 001 fixe comme suit la manière de les désigner :

1° **Nombre entier** indiquant la teneur % en carbone multipliée par 100 ;

2° **Lettre ou série de lettres** représentant les symboles des différents éléments d'addition en pourcentage décroissant ;

3° Nombres indiquant la teneur % des plus importants éléments d'addition rangés dans le même ordre que les symboles correspondants et multipliée par 4 ou par 10, suivant le cas.

Exemple de désignation : 30 CAD 6-12.

30 : Teneur % en carbone multipliée par 100. C = 0,30 %

C : Chrome

A : Aluminium

D : Molybdène



Teneur décroissante

6 : Teneur % du chrome \times 4 Teneur réelle = 1,5 %

12 : Teneur % d'aluminium \times 10 teneur réelle = 1,2 %.

c) **Aciers fortement alliés**

Ce sont des aciers dans lesquels au moins un élément d'addition a une teneur égale ou supérieure à 5 %. Ces aciers portent une désignation comparable à celle des aciers faiblement alliés, mais celle-ci est toujours précédée de la lettre Z. Quant aux teneurs % des éléments d'addition les plus importants, elles ne sont multipliées ni par 4 ni par 10, elles expriment directement leur valeur par un nombre de deux chiffres dont le premier peut être un zéro.

Exemple de désignation : Z 70 WKC 12-05.

Z : Symbole des aciers fortement alliés

70 : Teneur % en carbone multipliée par 100. C = 0,70 %

W : Tungstène

K : Cobalt

C : Chrome



Teneur décroissante

12 : Tungstène = 12 %

05 : Cobalt = 5 %

FONTES

Pour les **fontes**, qui sont des alliages au **fer**, le métal de base (Fe) n'est jamais indiqué.

La désignation des **fontes grises** fait appel à un double symbole, comme suit :

Exemple de désignation : Ft 18.

Ft : Symbole des fontes grises ;

18 : Valeur minima de R : 18 kg/mm².

Qualités courantes : Ft 14, Ft 18, Ft 22.

Qualités haute résistance : Ft 26, Ft 30 (moulage et usinage difficiles).

CUIVRE ET ALLIAGES DE CUIVRE

Cuivre non allié

Le cuivre non allié est désigné suivant trois qualités différentes correspondant à trois puretés décroissantes :

U 9 : Cu = 99,95 %

U 6 : Cu = 99,8 %

U 4 : 99,6 %

Certains indices de pureté peuvent être ajoutés sous forme de lettres minuscules :

d : absence totale d'oxygène, très soudable ; **c** : O = 0,03 %, soudable ; **b** : O = 0,15 %, non soudable.

Alliages de cuivre

Dans tous les alliages non ferreux, l'élément principal et les éléments auxiliaires sont désignés par des lettres représentant les symboles abrégés des métaux constituant l'alliage.

La désignation est représentée dans l'ordre suivant :

1° **Symbol du métal de base** pouvant être suivi d'un indice de pureté.

2° **Symboles désignant les éléments d'addition** séparés du symbole principal par un trait d'union et classés par ordre de teneur décroissante ; cette teneur suivant immédiatement le symbole auquel il se rapporte.

Exemples de désignation

Laiton

U-Z 35 Pb 2

U : Cuivre (Cu) = 63 %

Z 35 : Zinc (Zn) = 35 %

Pb 2 : Plomb (Pb) = 2 %

C'est un laiton laminé pour utilisation générale.

Bronze

U-E 10 Z 3

U : Cuivre (Cu) = 87 %

E 10 : Etain (Sn) = 10 %

Z 3 : Zinc (Zn) = 3 %

C'est un bronze de robinetterie.

Maillechort

U-Z 20 N 19

U : Cuivre (Cu) = 61 %

Z 20 : Zinc (Zn) = 20 %

N 19 : Nickel (Ni) = 19 %

C'est un maillechort utilisé pour les instruments de mesure.

**DÉSIGNATION NORMALISÉE DU MODE D'ÉLABORATION
OU DE L'ÉTAT DE LIVRAISON**

Les symboles désignant le **mode d'élaboration** et l'**état de livraison**, représentés respectivement par les lettres **Y** et **X** et par des chiffres allant de **0** à **9**, sont séparés de la désignation précédente par le mot **état**.

Désignation du mode d'élaboration

Y = Métal coulé		X = Métal corroyé (1)	
Y 0	Indication non précisée	X 0	Indication non précisée
Y 1	En lingot	X 1	Forgé
Y 2	Moulage au sable	X 2	Matricé, estampé, embouti
Y 3	Moulage en coquille	X 3	Filé à la presse
Y 4	Moulage sous pression	X 4	Laminé à chaud
Y 5	Moulage par concréfaction (2)	X 5	Laminé à froid
		X 6	Etiré à froid
		X 7	Tréfilé à froid
		X 8	Profilé à froid
Y 9	Suivant prescriptions	X 9	Suivant prescriptions

(1) On entend par **métal corroyé** un métal ayant subi un **traitement mécanique**, c'est-à-dire une **déformation plastique**.

(2) Concréfaction désigne la compression d'une poudre métallique suivie d'un **frittage**.

Désignation de l'état de livraison

Traitement thermique		Traitement mécanique	
0	Aucun traitement	0	Aucun traitement
1	Recuit	1	Ecroui 1/4 dur
2	Trempé	2	Ecroui 1/2 dur
3	Trempé et revenu	3	Ecroui 3/4 dur
4	Trempé et mûri (maturation)	4	Ecroui 4/4 dur
5	Stabilisé	5	Ecroui ressort
6		6	Dressé ou plané
7		7	
8		8	Ecroûté
9	Suivant prescriptions	9	Suivant prescriptions

Exemple de désignation

U-Z 33 Etat X 5 0 2

U : Cuivre (Cu) 67 %.

Z : Zinc (Zn) 33 %.

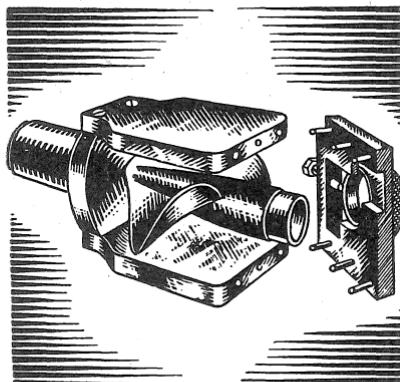
La désignation correspond
au laiton.

X : Métal corroyé.

5 : Laminé à froid.

0 : Ecroui 1/2 dur.

0 : Sans traitement thermique.



5. LES ESSAIS DE MÉTAUX (1)

DÉFINITION

Les **essais de métaux** sont des expériences mécaniques ayant pour but de renseigner les bureaux d'études et de fabrication sur la résistance que peuvent opposer certaines pièces à des **efforts particuliers**. Ces expériences portent soit sur des **éprouvettes**, soit sur les **pièces** elles-mêmes.

Les essais de métaux sont indispensables pour déterminer les **caractéristiques mécaniques** poussées qu'exigent les réalisations modernes. Ils prennent de multiples formes; les plus courantes sont les suivantes :

- a) **Essais de traction;**
- b) **Essais de compression;**
- c) **Essais de dureté;**
- d) **Essais au choc.**

a) ESSAIS DE TRACTION

Les **essais de traction** déterminent les six caractéristiques suivantes :

- 1^o La **charge-limite d'élasticité** : **E** kg par mm² ;
- 2^o La **charge de rupture** : **R** kg par mm² ;
- 3^o Le **coefficient d'allongement** : **A** % ;
- 4^o Le **coefficient de striction** : **Σ** % (sigma) ;
- 5^o Le **module d'élasticité** : **M** ;
- 6^o La **charge pratique** : **R_p** kg par mm².

Éprouvette. — L'échantillon soumis à l'essai s'appelle **éprouvette**. C'est généralement un cylindre calibré, d'une section **S = 150 mm²**, et de diamètre **d = 13,85 mm**, sur lequel on a pratiqué deux repères **a** et **b** (voir fig. 47) distants de **L = 100 mm**. On peut, lorsqu'on ne dispose pas d'une quantité de métal suffisante, utiliser des éprouvettes de dimensions réduites. Dans ce cas, la longueur entre repères est liée à la section par la relation :

$$L = \sqrt{66,67 \times S}$$

1^o **Charge-limite d'élasticité** : **E** kg par mm². — Une traction faible allonge l'éprouvette, cet allongement disparaît totalement si l'effort de traction est supprimé.

(1) Le décret du 3 mai 1961 exige l'application de **nouvelles unités de poids, de force, de travail, de puissance et de pression**. Celles-ci sont traitées à la fin de l'ouvrage en attendant leur application définitive.

Soit $Q' \text{kg}$, l'effort-limite au delà duquel l'éprouvette ne reprend pas sa longueur primitive. La charge-limite d'élasticité ou simplement la limite élastique est donnée par la formule suivante :

$$E = \frac{Q' \text{kg}}{\text{Nombre de mm}^2 \text{ de la section initiale}}$$

ÉPROUVETTES DE TRACTION

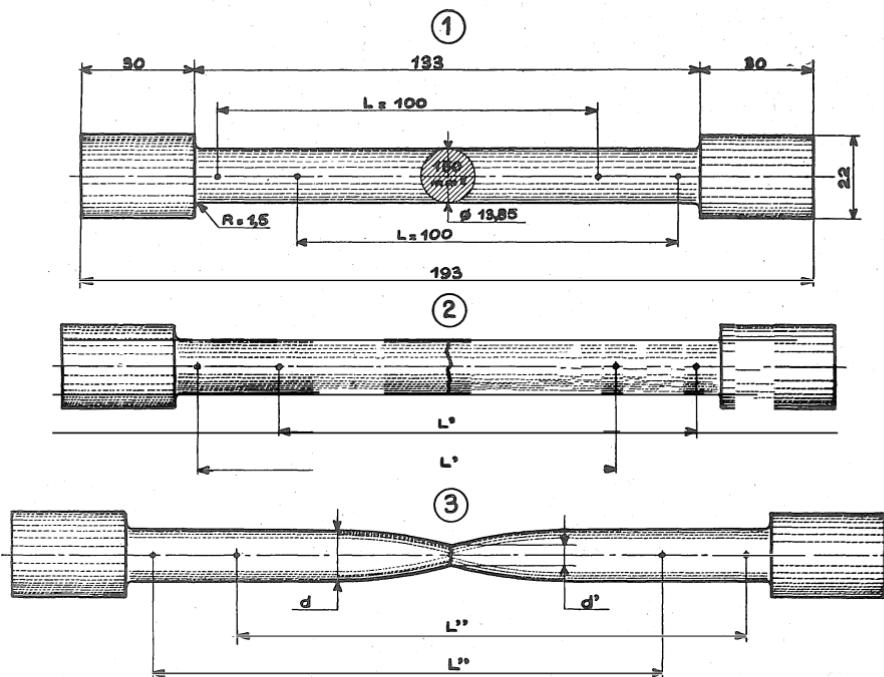


Fig. 47

1. Dimensions d'une éprouvette initiale.
2. Eprouvette rompue en acier trempé non revenu.
3. Éprouvette rompue en acier au nickel trempé et revenu.

2^o Charge de rupture : $R \text{ kg par mm}^2$. — Si l'effort de traction augmente progressivement, l'éprouvette finit par se rompre après s'être allongée et généralement étranglée. Si $Q \text{ kg}$ est l'effort qui a déterminé la rupture, nous aurons :

$$R = \frac{Q \text{ kg}}{\text{Nombre de mm}^2 \text{ de la section initiale}}$$

3^o Coefficient d'allongement : $A \%$. — Quand les deux tronçons de l'éprouvette rompue sont amenés en contact, la distance entre repères est : $L' \text{ mm} > L \text{ mm}$

L'allongement au moment de la rupture se trouve être :

$$L' \text{ mm} - L \text{ mm}$$

Nous déduirons de ce qui précède que l'allongement que subirait dans les mêmes conditions une éprouvette de longueur 100 mm serait :

$$A \% = \frac{L' \text{ mm} - L \text{ mm}}{L \text{ mm}} \times 100$$

4° **Coefficient de striction : Σ % (sigma).** — Avant rupture, l'éprouvette s'est généralement étranglée; la section rompue est mesurée seulement par $S' \text{ mm}^2$, S' étant plus petit que S . Le pourcentage d'étranglement sera donc de : $S \text{ mm}^2 - S' \text{ mm}^2$ et pour 100 mm^2 de la section initiale; ce qui nous donne :

$$\Sigma \% = \frac{S \text{ mm}^2 - S' \text{ mm}^2}{S \text{ mm}^2} \times 100$$

MACHINE AMSLER D'ESSAIS DE TRACTION VERTICAUX

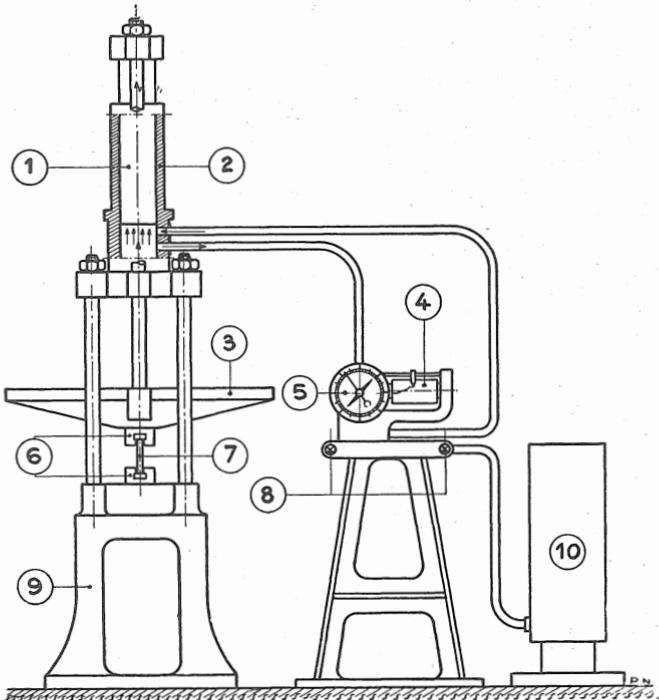


Fig. 48

1. Piston mobile.
2. Pot de presse hydraulique.
3. Plateau mobile.
4. Tambour de contrôle graphique.
5. Manomètre.
6. Mâchoires amovibles.
7. Eprouvette de traction.
8. Robinets d'admission de réglage et d'arrêt.
9. Bâti de la machine.
10. Pompe hydraulique.

5^o **Module d'élasticité : M.** — On l'utilise souvent dans les calculs de résistance des matériaux sous la lettre **E**. Il est défini par la formule suivante :

$$M = \frac{Q'}{A}$$

Q' = Effort-limite d'élasticité.

A = Allongement pendant la période élastique.

Les aciers ont généralement un module d'élasticité compris entre 18.000 et 22.000 sur lequel les traitements thermiques ont peu d'influence.

6^o **Charge pratique : Rp kg par mm².** — En construction mécanique, la plupart des pièces sont soumises à des efforts de **traction** ou de **compression**. L'effort supporté par mm² doit être inférieur à la **charge-limite d'élasticité**. On assigne à cet effort une unité dite : **charge pratique Rp kg par mm²**. Sa valeur est de 1/3 de la **limite classique** ou de 1/5 à 1/6 de la **charge de rupture** pour des constructions stables où des pièces non soumises à des chocs violents (1). Les nombres 5 et 6 par lesquels il faut diviser la charge de rupture pour obtenir la charge pratique, sont appelés « **Coefficients de sécurité** ».

Comparaison de la charge de rupture à la traction

et de la charge pratique en kg par mm²

MATIÈRE	CHARGE EN KG PAR MM ²	
	de rupture	pratique
Acier dur.....	65 à 90	12
Acier mi-dur.....	55 à 65	9
Acier doux.....	45 à 50	7
Cuivre forgé.....	18 à 25	3 à 4
Laiton	15 à 40	2,5 à 6,5
Bronze	15 à 30	2,5 à 5
Aluminium forgé.....	12 à 25	2 à 4,5
Fonte douce.....	10 à 15	1,5 à 2
Chêne, frêne, hêtre.....	12	1,2

(1) En construction mécanique, pour des pièces soumises à des **chocs** ou à des **trépidations**, Rp doit être voisin de 1/8 à 1/10 de la **charge de rupture**.

b) ESSAIS DE COMPRESSION

Généralités

Une pièce travaille à la **compression** lorsque les efforts qu'elle supporte tendent à diminuer ses dimensions dans le sens d'application de la force qui s'exerce sur elle.

Les exemples pratiques nous sont fournis en construction métallique par les colonnes de soutien d'édifices ou de ponts, et en mécanique par les vis de presses à découper et à emboutir. Lorsque la charge ou la pression est trop importante, le métal se **refoule** lentement et finit par s'**écraser**.

On appelle **charge de rupture par compression** le nombre de kg par mm² nécessaires pour **rompre** l'éprouvette ou la pièce par **écrasement**.

En comparant les essais de traction aux essais de compression on a remarqué que pour tous les métaux la résistance à la rupture par traction était sensiblement égale à la résistance à la rupture par compression, exception faite pour les fontes; leur résistance à la rupture par traction est la moitié de leur résistance à la rupture par compression.

Éprouvette. — Les éprouvettes choisies doivent être cylindriques avec une longueur relativement restreinte par rapport au diamètre. Si ce rapport était trop grand, la rupture aurait lieu non plus par compression mais par flexion. Cette tendance d'une pièce à s'incurver sous un effort de compression s'appelle **flambement**. Les éprouvettes de compression seront donc **courtes**.

Machines d'essais. — Les machines d'essais de compression sont soit des machines d'essais de traction munies de dispositifs spéciaux, soit des machines construites spécialement pour le type d'organes à essayer (ressorts d'automobiles, parties ou cubes en béton).

Soit **Qkg** l'effort nécessaire à la rupture par compression d'une éprouvette de **Smm²** de section. La résistance à la rupture par compression sera :

$$R_c = \frac{Qkg}{Smm^2}$$

La **charge pratique à la compression** exprimée en **kg par mm²** aura une valeur bien inférieure pour garantir une sécurité totale.

**Comparaison de la charge de rupture à la compression
et de la charge pratique en kg par mm²**

MATIÈRE	CHARGE EN KG PAR MM ²	
	de rupture	pratique
Fonte grise	75	7
Tôles d'acier doux	35	6
Barres d'acier doux	35	6
Aacier fondu recuit	100	30
Cuivre laminé	41	2
Chêne	6,6	0,66
Granit	6	0,6
Brique	1	0,1

c) ESSAIS DE DURETÉ

L'idée d'apprecier la dureté des corps est fort ancienne; avant même les métallurgistes, les minéralogistes ont cherché à classer les matériaux d'après leur dureté en vue de déterminer leurs meilleures conditions d'utilisation.

Dès 1722, Réaumur tenta d'établir une **échelle de dureté** pour les métaux; cette échelle était basée sur la propriété qu'ont les corps durs de rayer les corps plus tendres. Il utilisa à cet effet le verre, le cristal et l'agate. En métallurgie on utilise, actuellement, quatre procédés distincts :

- 1^o Le **procédé Martens** avec utilisation du **scléromètre** ;
- 2^o Le **scléroscope de Shore** ;
- 3^o Les **pénétrateurs à bille** ;
- 4^o Les **pénétrateurs à diamant**.

1^o PROCÉDÉ MARTENS-SCLÉROMÈTRE

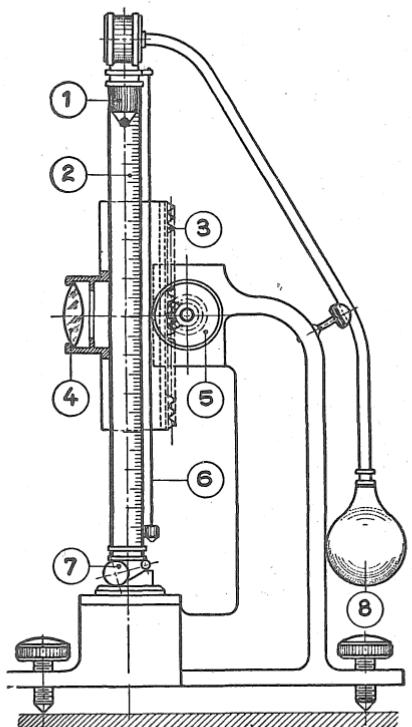
Sur cet appareil, le métal à essayer est **rayé** par une **pointe de diamant** sous une pression nettement définie. La lecture a lieu en mesurant la largeur de la rayure. Cette mesure est excessivement délicate car les dimensions à évaluer sont très petites et ne peuvent être contrôlées avec précision qu'au **microscope**. Les chiffres du

Plomb fondu	98	Platine laminé	24
Etain fondu	54	Fer recuit	23
Aluminium fondu	52	Aacier mi-dur trempé	11
Argent fondu	39	Aacier dur trempé	9

tableau ci-joint indiquent en **microns** la largeur de la rayure sous 40 grammes de pression.

2^e SCLÉROSCOPE DE SHORE

Il donne pour mesure de la dureté la hauteur de rebondissement d'un petit **marteau** qui tombe d'une hauteur déterminée sur le métal à essayer. Il se compose d'une **enclume** d'acier trempé montée sur un **trépied** portant un mécanisme produisant la chute de la masse percutante. Cette masse glisse à l'intérieur d'un **tube de verre** gradué en **140 parties égales**. Une **poire d'aspiration** et une **poire de déclenchement** permettent la remontée et le départ du marteau.



SCLÉROSCOPE DE SHORE

1. Marteau porte-diamant.
2. Echelle graduée en 140 parties égales.
3. Crémallière.
4. Loupe de lecture.
5. Volant de commande du porte-loupe.
6. Fil à plomb.
7. Pièce à essayer.
8. Poire d'aspiration.

Fig. 49

L'essai Shore convient en général pour tous les genres de pièces et pour toutes les catégories de métaux, depuis le **plomb** jusqu'à l'**acier à coupe rapide traité**.

L'essai par rebondissement exige un **état de surface comparable** à celui d'une **rectification fine**. Le marteau ne pesant que **30 grammes**, il doit percuter une surface lisse afin que la hauteur de rebondissement ne soit pas influencée par une certaine rugosité.

L'échelle est graduée en **140 parties égales**, le zéro correspondant à la **surface de la pièce** et le **cent** est le point de rebondisse-

ment atteint par le diamant lorsqu'il percute l'acier au carbone trempé.

3^e PÉNÉTRATEURS A BILLE

Parmi les très nombreuses méthodes de billage, nous avons choisi l'étude de la plus importante d'entre elles : la **méthode Brinell**.

Procédé Brinell

Le procédé **Brinell**, datant de 1900, est de beaucoup le plus employé des procédés de billage, il porte le nom de son inventeur, l'ingénieur suédois Brinell (1849-1926).

Le principe en est simple, il consiste à mesurer la dureté d'un métal en essayant d'y faire pénétrer une **bille de Ø 10 mm** en acier très dur sous l'action d'une **pression constante de 3.000 kg**. Ce diamètre de bille et cette pression sont les plus couramment employés ; toutefois, d'autres appareils utilisent une bille de **Ø 5 mm** sous **750 kg** de pression. Nous étudierons ici l'empreinte obtenue avec une bille de **Ø 10 mm** (fig. 50).

Principe. — Une même bille, enfonceée sous une charge constante pénétrera d'autant plus facilement dans le métal que celui-ci sera plus tendre ; elle y déterminera une empreinte sphérique dont la surface sera d'autant plus grande que l'enfoncement aura été plus important.

Si l'on divise la pression **P** (3.000 kg) produisant l'empreinte par la surface **S** de celle-ci exprimée en **mm²**, on obtiendra un

ESSAIS A LA BILLE

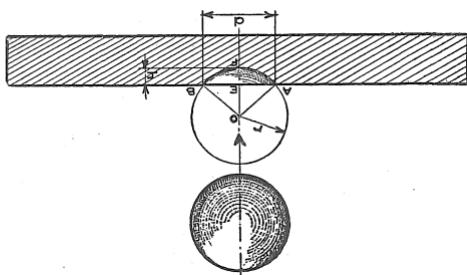


Fig. 50

nombre représentant des **kg par mm²** ou **unités Brinell**, nombre représenté par les deux lettres majuscules **HB**.

$$HB = \frac{P}{S} \text{ ou } HB = \frac{3.000 \text{ kg}}{S \text{ mm}^2}$$

Géométriquement la surface S de la calotte sphérique a pour valeur :

$$S = 2\pi rh$$

Cette dernière valeur est difficile à mesurer avec précision mais son diamètre peut être déterminé très exactement au moyen de la règle Le Chatelier (fig. 51) ou d'un microscope gradué.

D'autre part, nous pouvons calculer h en fonction de d , diamètre de l'empreinte.

$$h = r - \sqrt{r^2 - \frac{d^2}{4}}$$

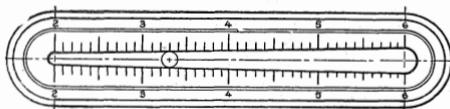
Supposons un diamètre de calotte sphérique de 4 mm, en remplaçant les lettres par leur valeur, nous aurons :

$$h = 5 - \sqrt{5^2 - \frac{4^2}{4}} = 0,4174$$

$$S = 2\pi rh = 2 \times 3,1416 \times 5 \times 0,4174 = 13,113 \text{ mm}^2$$

3.000 kg

$$HB = \frac{3.000 \text{ kg}}{13,113 \text{ mm}^2} = 229 \text{ unités Brinell}$$



RÈGLE LE CHATELIER

Fig. 51

Correspondance entre le nombre de Brinell et la résistance à la rupture

La même valeur du **Nombre de Brinell** peut être obtenue également avec des billes de diamètres différents mais avec des charges inférieures :

Bille de Ø 10 mm sous 3.000 kg.

Bille de Ø 5 mm sous 750 kg.

Bille de Ø 2,5 mm sous 187,5 kg.

Bille de Ø 1,25 mm sous 46,875 kg.

Les essais de métaux ont permis d'établir une relation entre le nombre **HB** et la résistance à la rupture **R**.

$$R = HB \times C$$

La valeur **R** étant assez onéreuse à déterminer (prix de revient de la machine d'essais de traction) on a intérêt à lui substituer, chaque fois que cela est possible, un **simple essai à la bille**.

C est une valeur constante pour une même catégorie de métaux ou d'alliages.

**TABLEAU DE CORRESPONDANCE ENTRE LES DIVERS SYSTÈMES
DE MESURE DE DURETÉ ET LA RÉSISTANCE A LA RUPTURE
OBTENUE PAR ESSAI DE TRACTION**

R = kg/mm ²						R = kg/mm ²			
0,362 (1) acier au carbone	0,343 (1) acier au nickel- chrome	Vickers Nombre	Brinell Nombre	Rockwell C diamant 150 kg Nombre	Shore Scleroscope Nombre	0,362 (1) acier au carbone	0,343 (1) acier au nickel- chrome	Vickers Nombre	Brinell Nombre
									Rockwell C diamant 150 kg Nombre
45	42,5	125	125			115,2	108,8	320	320
46,8	44,2	130	130			118	111,5	330	328
48,6	45,9	135	135			120,9	114,2	340	336
50,4	47,6	140	140			124,2	117,3	350	345
52,2	49,3	145	145			127	120	360	353
54	51	150	150			129,6	122,4	370	360
55,8	52,7	155	155			132,8	125,5	380	369
57,6	54,4	160	160	1	24	135,7	128,2	390	377
59,4	56,1	165	165	3	25	139,6	130,9	400	385
61,2	57,8	170	170	5	25	141,8	134	410	394
63	59,5	175	175	6,5	26	144,7	136,7	420	402
64,8	61,2	180	180	8	27	147,6	139,4	430	410
66,6	62,9	185	185	9,5	28	150,5	141,1	440	418
68,4	64,6	190	190	11	28	153,4	144,8	450	426
70,2	66,3	195	195	11,8	28	156,2	147,6	460	434
72	68	200	200	12,6	29	159,1	150,3	470	442
73,8	69,7	205	205	13,4	29	162,7	153,7	480	452
75,6	71,4	210	210	14,2	29	166,3	157,1	490	462
77,4	73,1	215	215	15	30	168,8	159,5	500	469
79,2	74,8	220	220	16	30	174,6	164,9	520	485
81	76,5	225	225	17	31	180,4	170,3	540	501
82,8	78,2	230	230	18	31	186,1	175,8	560	517
84,6	79,9	235	235	19	32	191,9	181,2	580	533
86,4	81,6	240	240	20	32	196,6	185,6	600	546
88,2	83,3	245	245	21	33	202,7	191,4	620	563
90	85	250	250	22	34	208,4	196,9	640	579
91,8	86,7	255	255	22,8	35	214,6	202,6	660	596
93,6	88,4	260	260	23,6	35	220,7	208,4	680	613
95,4	90,1	265	265	24,4	36	226,1	213,5	700	628
97,2	91,8	270	270	25,2	37	231,8	219	720	644
99	93,5	275	275	26	37	236,9	223,7	740	658
100,8	95,2	280	280	26,8	37	242,6	229,2	760	674
102,6	96,9	285	285	27,6	38	248,4	234,6	780	690
104,4	98,6	290	290	28,3	38			800	706
106,2	100,3	295	295	29	39			820	720
108	102	300	300	29,7	40			850	740
111,6	105,4	310	310	31,1	42			900	778

(1) Coefficient par lequel il faut multiplier le nombre Brinell pour obtenir la résistance à la rupture en kg par millimètre carré.

Voici quelques valeurs de C pour les métaux ferreux ; sa première valeur s'applique aux essais perpendiculaires au sens de laminage; la seconde, aux essais parallèles au sens de laminage (1).

Nature des aciers	Valeur de HB	Valeur de C	
		⊥	//
Aacier 35 à 45 kg ...	HB < 120	0,360	0,345
Aacier 45 à 55 kg ...	120 < HB < 160	0,355	0,342
Aacier 55 à 65 kg ...	160 < HB < 180	0,353	0,337
Aacier 65 à 75 kg ...	HB > 180	0,349	0,321

D'après les recherches de M. Guillet, le coefficient C applicable au **cuivre** et au **laiton**, serait d'environ 0,500.

Pour l'alliage d'aluminium A. Z 5G l'auteur a déterminé 0,385.

Machines à biller.

Plusieurs types de machines ont été construits pour déterminer le nombre de dureté Brinell. Nous étudierons d'abord celui dû à **M. Guillery**. Dans cet appareil, la pression constante de 3.000 kg est obtenue à l'aide de ressorts.

Un **matelas élastique** taré à l'avance et constitué par des rondelles « Belleville » superposées, détermine cette pression constante. Nous voyons sur la figure 52 que le mouvement de descente de la vis est relié par friction au **plateau d'entraînement moleté**, situé à la partie supérieure de l'appareil. Sur celui-ci un **index** se déplace devant un **secteur gradué fixe** et permet, par lecture directe, d'évaluer approximativement la **résistance à la rupture R** de l'éprouvette soumise à l'essai.

Au début de l'expérience, avoir soin, au moment d'appuyer la bille sur la pièce, de placer l'index en regard du O de la graduation, ce O est un **maximum** car l'échelle est graduée de gauche à droite. On continue l'opération en abaissant le levier plusieurs fois consécutives, tout en accompagnant la vis avec le volant. L'essai est jugé terminé lorsque l'index n'a plus tendance à se déplacer sur l'échelle R. On déduit alors **HB** par calcul.

Pour la vérification précise du diamètre de l'empreinte, on a recours aux **appareils de mesure des circonférences**. Ces appareils,

(1) Pour les aciers au **nickel chrome**, C sera diminué de 4 à 6 % environ.

APPAREIL A BILLER DE GUILLERY

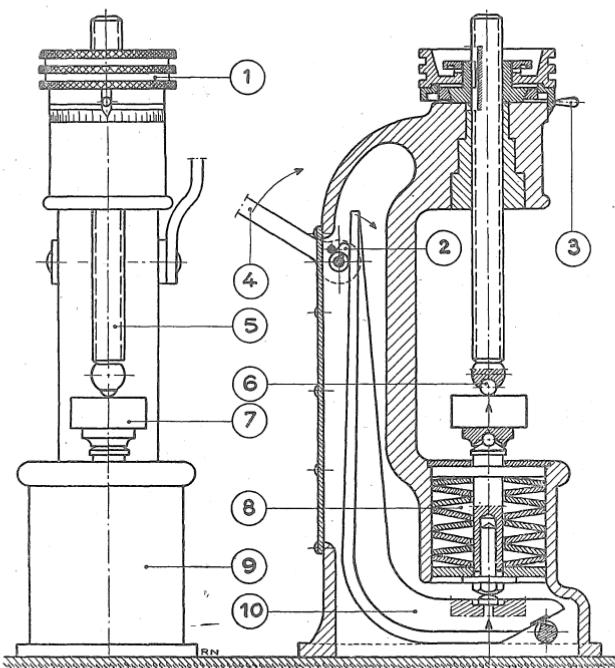


Fig. 52

- | | |
|--|--|
| 1. Volant de manœuvre de la descente de vis. | 6. Bille en acier très dur. |
| 2. Came de pivotement. | 7. Pièce soumise à l'essai. |
| 3. Index de repérage. | 8. Matelas de rondelle « Belleville » taré à 3.000 kg. |
| 4. Levier extérieur de manœuvre. | 9. Socle de la machine d'essai. |
| 5. Vis porte-bille. | 10. Levier intérieur de pivotement. |

au nombre de trois, sont d'un usage courant dans les essais de dureté, mais avec des degrés de précision différents.

1^o La **réglette de M. Le Chatelier**, en verre ou en métal, comportant deux traits obliques dont l'un est gradué. La valeur du diamètre de l'empreinte se lit au centre de la règle en **1/10 de mm**;

2^o Le **microscope gradué**, portant intérieurement une graduation en **1/10 de mm**, en faisant tangenter un dès deux bords de l'empreinte avec la division **O** de l'échelle, la lecture de **d** a lieu sur l'autre bord à la division correspondante; ce deuxième procédé a l'avantage de donner une lecture **plus exacte et aussi plus facile à déterminer**;

3^o Le **microscope à déplacement micrométrique**, constitué comme le précédent, mais dont le déplacement de l'échelle gra-

duée est assuré par **vis micrométrique** avec tambour divisé en **1/100 de mm.**

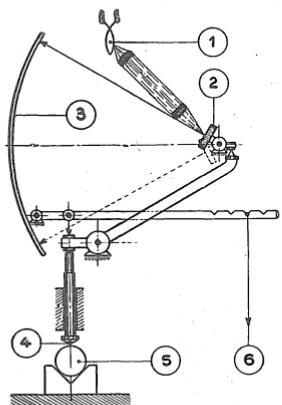
4^e PÉNÉTRATEURS A DIAMANT

Les essais Brinell sont très limités dans leurs utilisations pratiques par suite des exigences de contrôle de pièces ayant subi des traitements thermiques ou thermochimiques et qui entraîneraient la déformation de la bille. C'est donc au **pénétrateur à diamant** que sera demandée la précision des essais. Ceux-ci, différents dans leur forme suivant les machines employées, s'exécutent suivant deux méthodes distinctes : la méthode **Rockwell** et la méthode **Vickers**.

Méthode Rockwell

Son principe est basé, non sur la lecture d'un diamètre d'empreinte **d**, mais sur la profondeur de pénétration, soit d'un **cône de diamant à 120°**, soit de **billes** de **1/16 de pouce** (**1,587 mm**) ou de **1/8 de pouce** (**3,175 mm**).

PRINCIPE DU SPOT LUMINEUX



1. Source lumineuse.
2. Miroir pivotant.
3. Echelle graduée transparente.
4. Cône de diamant à 120°.
5. Pièce à essayer.
6. Charge d'essai.

Fig. 53

La dureté Rockwell est fournie par des graduations représentant, pour chacune d'entre elles, **0,002 mm** de pénétration pour les billes et **0,01 mm** pour le cône de diamant.

Cette profondeur d'empreinte est mesurée à l'aide d'un **comparateur** dont l'échelle des divisions est inversée, car plus le métal est dur et moins grande est la pénétration. L'inversion des graduations fournit donc un nombre Rockwell d'autant plus grand que le métal est plus dur.

MICRO-DUROMÈTRE POUR ESSAIS ROCKWELL ET BRINELL

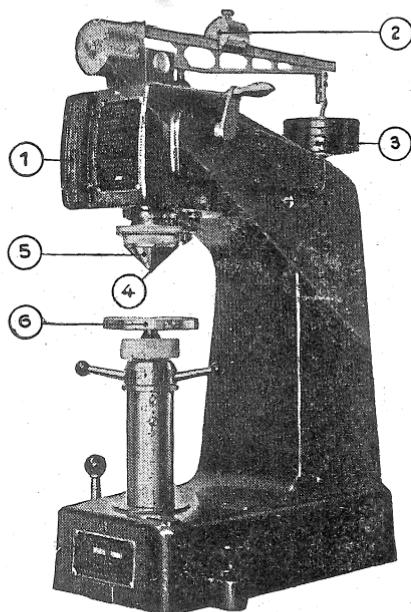


Fig. 54

1. Echelle graduée en microns.
2. Contrepoids réglable.
3. Charge réglable.
4. Bille ou diamant.
5. Pénétrateur.
6. Enclume.

MÉTHODE ROCKWELL

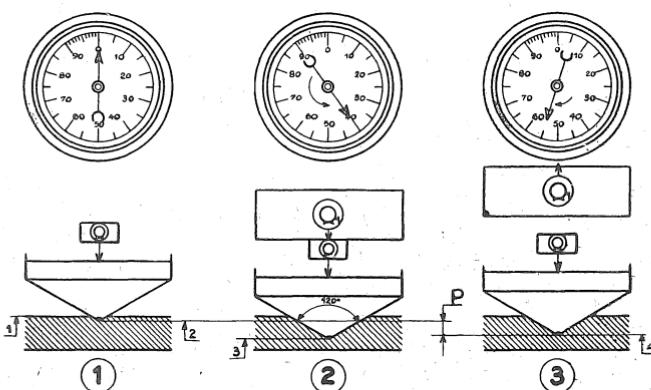


Fig. 55

1. Application de la charge initiale.
2. Application de la charge additionnelle.
3. Retrait de la charge additionnelle.
P. Profondeur indiquant la dureté Rockwell.
Q. Charge préliminaire.
Q1. Surcharge.

1-2-3-4. Etapes du pénétrateur.

Les éléments pénétrants, qui sont de trois sortes, se font toujours en deux temps, à l'aide de deux charges différentes, dont la première, plus faible, permet de briser la couche superficielle parfois hétérogène.

Les charges préliminaires sont toujours de 10 kg pour le diamant comme pour les billes ; quant à la surcharge, elle est de 140 kg pour le diamant et 90 kg pour les billes.

Les appellations normalisées des Essais Rockwell sont les suivantes :

Essai Rockwell C (HRc). Pointe de diamant à 120°.

Charges : 10 kg + 140 kg = 150 kg. Lecture pratique de 20 à 70.

Essai Rockwell B (HRb). Bille de 1/16" (1,587 mm).

Charges : 10 kg + 90 kg = 100 kg. Lecture de 0 à 100.

Essai Rockwell E (HRe). Bille de 1/8" (3,175 mm).

Charges : 10 kg + 90 kg = 100 kg. Lecture de 0 à 100.

Mode opératoire

1^o Contact du pénétrateur avec la pièce.

2^o Application de la charge de 10 kg pour rompre la couche superficielle et mise à zéro du comparateur.

3^o Application de la surcharge de 90 ou 140 kg suivant le pénétrateur et attendre de trois à six secondes l'immobilisation de l'aiguille.

4^o Retrait de la surcharge, l'aiguille revenant en arrière par suite de l'élasticité du métal essayé indiquera définitivement le nombre de dureté Rockwell.

La figure 54 représente le micro-duromètre construit par la Société d'Ajustage et de Mécanique de Précision. Dans cet appareil, la lecture du Nombre Rockwell correspondant à la flèche d'empreinte est obtenue par amplification optique à l'aide d'un spot lumineux.

Méthode Vickers

L'essai est réalisé à l'aide d'un pénétrateur dont l'extrémité est un **diamant pyramidal** à base carrée de **136°** d'angle au sommet.

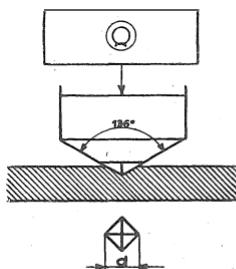


Fig. 56

MÉTHODE VICKERS

- Q. Charge appliquée sur le pénétrateur.
- d. Diagonale de l'empreinte à base carrée.

Ce pénétrateur subit généralement une charge de **30 kg** pendant **15 secondes**.

Le symbole de l'essai Vickers est **HV** suivi de l'indication de la charge **HV 30** pour 30 kg de charge.

Le **nombre de dureté Vickers** est le quotient de la charge par l'aire **S** de la surface latérale de l'empreinte. Cette surface est obtenue à l'aide de la mesure de la diagonale du carré obtenue au **microscope** avec une appréciation de 1/1000 de mm.

$$\text{Formules d'utilisation : } S = \frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}} = \frac{d^2}{1,8544}$$

(**d** = diagonale d'empreinte)

$$\text{HV 30} = \frac{P(30 \text{ kg})}{S}$$

TABLEAU DE CORRESPONDANCE APPROXIMATIVE DES ÉCHELLES
DE DURETÉ AVEC LA RÉSISTANCE À LA RUPTURE

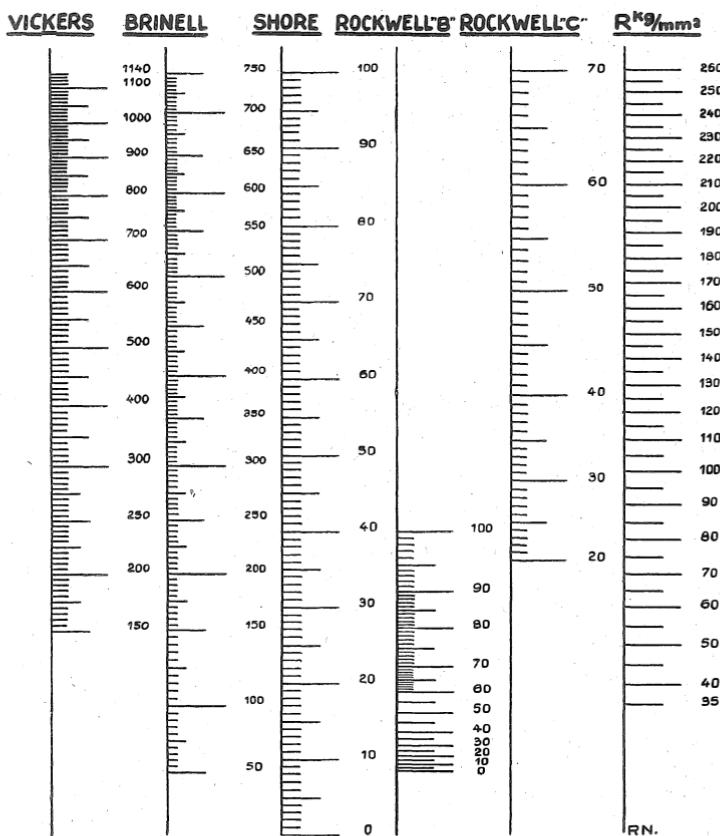


Fig. 57

Précautions à prendre pour les essais de dureté

- 1° Se méfier de la surface décarburée ou écrouie d'un métal, ne pas hésiter à limer ou meuler le point où se fera l'essai ;
- 2° Laisser la charge s'exercer pendant près de 15 secondes afin d'obtenir des lectures exactes ;
- 3° Ne jamais faire deux empreintes trop rapprochées, laisser un diamètre de bille entre elles.

CHOIX DES ESSAIS DE DURETÉ

Essai Brinell. Le plus souvent effectué sur des pièces n'ayant subi aucun traitement thermique ni aucun usinage.

$$R \leq 100 \text{ kg/mm}^2$$

Essai Rockwell, pratiqué sur pièces traitées soit à cœur, soit superficiellement ou pièces minces < 1 mm.

Essai Vickers, indiqué pour mesurer la dureté des couches cémentées et nitrurées ou celle des métaux en feuilles, l'empreinte étant plus petite que l'empreinte Rockwell.

Essai Shore, intéressant pour le contrôle final en grande série de petites pièces ou pour la vérification de grosses pièces finement usinées qui ne peuvent être amenées sous les appareils habituels.

d) ESSAIS AU CHOC

Une pièce de dimensions déterminées se **rompt au choc** d'autant plus facilement que sa résistance est moins grande.

La résistance au choc ou **résilience** ϱ (ro) est l'**énergie absorbée** par la rupture d'une éprouvette de dimensions données et rapportée au cm^2 de la **section rompue**.

Les principaux appareils utilisés pour les essais au choc sont les suivants :

- 1^o Le **mouton de Frémont** ;
- 2^o Le **mouton-pendulaire de Charpy** ;
- 3^o Le **mouton dynamométrique de R. Guillery**.

1^o Mouton de Frémont

Sur le mouton de Frémont (fig. 58) l'essai a lieu avec une masse **P** de 15 kg tombant de 4 mètres de hauteur. Lorsque l'éprouvette est rompue, le mouton continue sa course en comprimant les **ressorts** et en leur faisant absorber l'**énergie résiduelle**. Celle-ci est lue directement sur une **échelle graduée**.

Nous utilisons alors les relations suivantes :

Energie initiale Wi : 60 kgm.

Energie résiduelle Wr kgm (absorption par les ressorts).

Energie de rupture WR = 60 kgm — Wr kgm.

La ténacité au choc ou **résilience** sera :

$$60 \text{ kgm} — Wr \text{ kgm}$$

$$\rho = \frac{60 \text{ kgm} — Wr \text{ kgm}}{\text{Nombre de cm}^2 \text{ de la section rompue}}$$

En général cette section est de **0,5 cm²**.

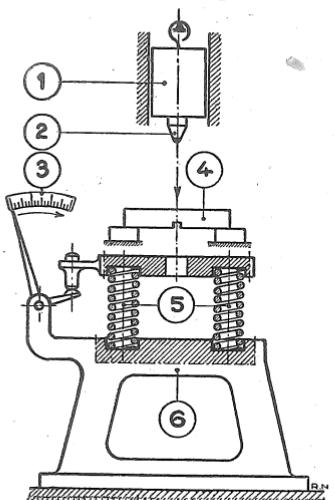


Fig. 58

MOUTON DE FRÉMONT

1. Mouton de 15 kg tombant de 4 mètres.
2. Couteau de rupture.
3. Echelle graduée mesurant l'énergie résiduelle.
4. Barreau Frémont.
5. Ressorts absorbant l'énergie résiduelle.
6. Bâti de la machine d'essai.

2^e Mouton-pendulaire de Charpy

Il existe deux modèles de **mouton de Charpy** :

- a) Le grand modèle développant **200 kgm** et dont la vitesse de choc est de **7,80 m par seconde** ;
- b) Le petit modèle, plus communément employé, développe **30 kgm** avec vitesse de choc de **5,28 m par seconde**.

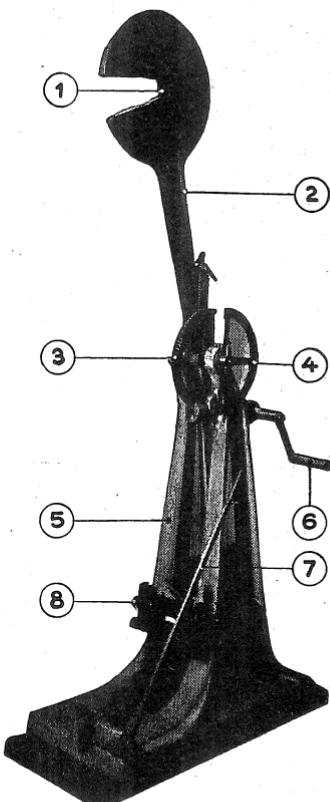


Fig. 59

MOUTON PENDULAIRE DE CHARPY

1. Couteau de rupture.
2. Masse pendulaire.
3. Secteur taillé de remontée du pendule.
4. Cadran indicateur de l'angle de pivotement.
5. Bâti.
6. Manivelle de remontée.
7. Frein.
8. Dispositif de fixation des éprouvettes.

Dans les moutons de Frémont et de Charpy, l'énergie initiale W_i est le produit du poids du mouton en kg par la hauteur de chute en mètres.

3° Mouton dynamométrique de R. Guillery

Cet appareil se fabrique en deux types différents :

	1 ^{er} type	2 ^e type
Puissance maximum au choc	60 kgm	275 kgm
Vitesse de rotation du volant	302 t/min	245 t/min
Vitesse linéaire du couteau	8,860 m/sec	8,860 m/sec
Hauteur de chute de	4 mètres	4 mètres

MOUTON DYNAMOMÉTRIQUE DE R. GUILLERY

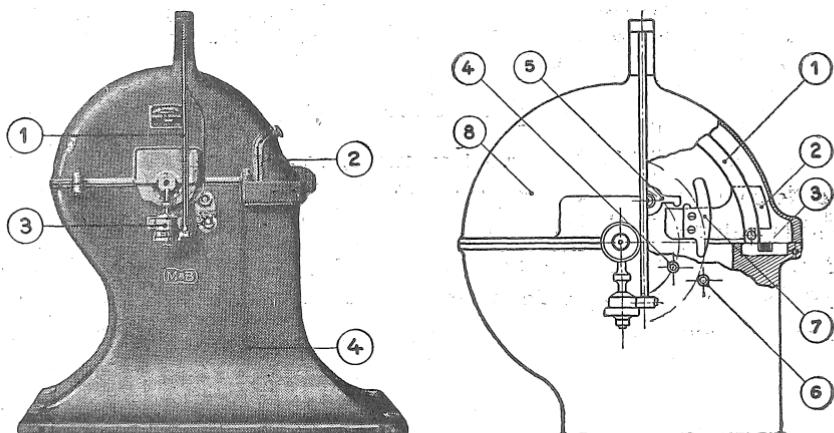


Fig. 60

1. Tube de contrôle.
2. Porte de regard avec dispositif de sécurité.
3. Pompe centrifuge.
4. Bâti à grande rigidité.
1. Volant d'entraînement.
2. Couteau.
3. Eprouvette d'essai de résilience.
4. Poussoir de déclenchement.
5. Came de déclenchement.
6. Poussoir d'enclenchement.
7. Came de déclenchement.
8. Carter de protection.

L'énergie initiale W_i est représentée ici par la puissance vive d'un volant en rotation muni d'un couteau escamotable et est indiquée par la hauteur à laquelle s'élève dans un tube, l'eau refoulée par une pompe centrifuge reliée à l'axe du mouton.

Éprouvettes

Voici, à titre documentaire, les quatre types d'éprouvettes les plus utilisés pour les essais au choc :

ÉPROUVENTES

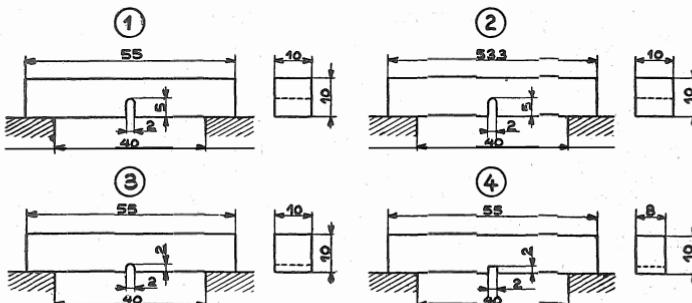


Fig. 61

1. Barreau unifié.

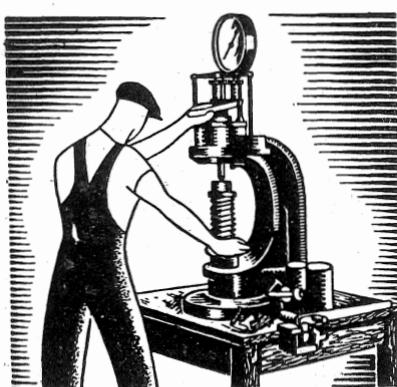
3. Barreau Mesnager.

2. Barreau « Petit Charpy ».

4. Barreau Frémont.

Energie résiduelle

L'énergie résiduelle W_r est mesurée, dans l'appareil de **Frémont**, par la compression de deux **ressorts tarés**. Dans l'appareil de **Charpy**, par la **valeur de l'angle** dont le pendule dépasse la verticale après la rupture. Finalement, dans le mouton dynamométrique de **R. Guillery**, par la **différence de niveau d'eau** dans le tube de la pompe après le choc.



6. LES MATIÈRES DIVERSES

GÉNÉRALITÉS

On entend par « matières diverses » des produits auxiliaires utilisés en mécanique générale, dont le rôle, sans être primordial, n'en est pas moins indispensable au bon fonctionnement des organes dans la fabrication desquels ils sont employés.

Les qualités recherchées dans ces éléments prennent surtout les formes suivantes : **élasticité, étanchéité, légèreté, isolement électrique ou thermique, cachet** après polissage, etc.

Les matières diverses les plus utilisées en ajustage et en petite mécanique sont les suivantes : les **bois**, le **caoutchouc**, le **cuir**, l'**ébonite**, la **fibre vulcanisée**, la **bakélite**, le **mica**, l'**amiante** et les **matières plastiques**. Un produit **adhésif** remarquable par ses propriétés, l'**araldite**, a également fait l'objet d'une petite étude.

LES BOIS

Définition. — Le bois est une matière fibreuse, partie essentielle et constitutive d'un être vivant que l'on nomme **arbre**. Celui-ci est formé de couches successives, édifiées chacune au cours d'une année, les couches les plus anciennes étant les plus rapprochées du centre.

Structure. — En examinant la section transversale d'un arbre, de la périphérie au centre, on trouve successivement : l'**écorce**, le **bois** et la **moelle**.

L'**écorce** est l'élément protecteur contre les intempéries, les chocs et les blessures.

Le **bois** comprend deux parties distinctes : l'**aubier**, ou bois en voie de formation, et le **cœur** ou bois parfait.

La **moelle** est la partie centrale de l'arbre, en vieillissant elle se dessèche et se pulvérise.

Classification et utilisation des bois

Les bois peuvent être rangés en cinq grandes classes : les **bois blancs**, les **bois durs**, les **bois fins**, les **bois résineux**, les **bois exotiques**.

a) **Bois blancs.** Les bois blancs sont de teinte assez claire et de structure relativement douce. Leur dureté moyenne et leur faible densité les font employer en menuiserie commune, en charronnage et en modelage mécanique. Ce sont : l'**aulne**, le **platane**, l'**érable**, le **marronnier**, le **sycamore** pour les bois blancs demi-durs, et le **peuplier**, le **tremble**, le **bouleau**, le **tilleul** pour les bois blancs tendres.

b) **Bois durs.** Ce sont des bois de construction dont les qualités maîtresses sont la résistance, l'élasticité et la durée. Nous y rencontrons comme essences : le **chêne**, le **frêne**, l'**orme**, le **hêtre**, le **noyer**, le **châtaignier**, le **charme** et l'**acacia**.

c) **Bois fins.** De dureté supérieure, de structure homogène et de grain très fin, ce sont des bois qui résistent parfaitement au frottement et à l'usure. Les principaux sont : le **buis**, le **cormier**, l'**alisier**, le **poirier**, le **pommier**, le **cerisier**, le **merisier** et le **cornouiller**.

d) **Bois résineux.** Ils présentent de hautes qualités de résistance et de durée, une grande facilité de travail et une certaine rectitude sur de grandes longueurs. Les espèces les plus employées sont : le **sapin**, l'**épicéa**, le **pitchpin**, le **pin** et le **mélèze**. Par une entaille dans le tronc de ces arbres, on extrait la **résine**, servant à fabriquer l'essence de térébenthine.

e) **Bois exotiques.** Dans cette catégorie, nous classerons tous les bois coloniaux provenant des contrées chaudes du globe. On les désigne à tort sous le nom de **bois des îles**. Ils sont remarquables à des degrés différents par la finesse de leur grain, leur ténacité, leur veinage et leurs couleurs variées. Leur prix élevé les fait employer en lames minces pour le placage en ébénisterie. Les plus utilisés sont : l'**acajou**, l'**ébène**, le **palissandre**, le **gaïac**, le **teck**, le **bois de rose** et l'**amarante** ou **bois de violette**.

Conservation des bois

Lorsque l'arbre a été abattu et débité, il conserve encore une certaine quantité de **sève** qu'il est nécessaire de faire disparaître ainsi que son humidité naturelle. On a le choix entre plusieurs traitements pour assurer une bonne conservation du bois.

a) **Le séchage naturel** (empilage, emmagasinage) à l'air, mais à l'abri de la pluie et du soleil ;

b) **Le séchage artificiel**, procédé rapide et économique, c'est d'une part, l'**étuvage** à la vapeur d'eau et, d'autre part, le **fumage** sous l'action de fumées de copeaux et de sciures humides.

La méthode la plus ancienne de séchage et certainement l'une des meilleures est le **flottage** en eau courante suivi d'une évaporation de l'eau à l'air libre ;

c) L'**imprégnation** ou **injection** de goudron, de créosote ou de sulfate de cuivre sur les chantiers de débitage (traverses de chemin de fer, poteaux pour téléphone, électricité, usines).

Débit des bois

Suivant leur utilisation, les bois peuvent être débités par **sciage, tranchage ou déroulage**.

Sciage. — Celui-ci est pratiqué à l'aide de scies circulaires, alternatives ou à ruban. Les grumes peuvent être débitées de différentes façons qui prennent les appellations suivantes :

Débit en plots procurant des planches et plateaux non équarris ;

Débit sur dosse procurant des planches alignées d'égal épaisseur ;

Débit varié ou de Paris, peu employé, pour bois alignés d'épaisseur irrégulière ;

Débit sur quartiers ou sur mailles pour bois de choix ou de largeur faible.

Les sciages portent des noms variés suivant les régions :

Les **plateaux** sont des sciages longs et épais > 50 mm d'épaisseur.

Les **madriers** sont des plateaux alignés.

Les **planches** ont toutes largeurs et de 25 à 40 mm d'épaisseur.

Les **voliges** ou **feuillets** sont d'épaisseur inférieure à 25 mm.

Les **frises** ou **frisettes** sont des voliges de faible largeur < 0,12 m.

Tranchage et déroulage

Afin d'éviter, pour les bois de prix, les grosses pertes dues à de nombreux traits de scie, on pratique actuellement le tranchage ou le déroulage. Ces procédés modernes permettent d'obtenir des feuillets minces allant de **0,5 mm à 2 mm** ; ils sont basés sur la propriété que possèdent les bois de se laisser couper en travers lorsqu'ils ont été préalablement ramollis dans une étuve à vapeur.

a) **Tranchage.** — Les feuilles sont enlevées successivement par un couteau monté sur un chariot animé d'un mouvement alternatif.

b) **Déroulage.** — La bille mise entre pointes est animée d'un mouvement lent de rotation ; un couteau ayant la longueur de la grume se rapproche du centre de celle-ci en découpant un copeau qui n'est autre qu'une feuille de placage de grande longueur.

Placage. — En ébénisterie, pour obtenir des meubles d'aspect recherché à des prix abordables, on se contente, pour remplacer le bois massif, de coller des feuilles minces de bois rare sur un support en bois ordinaire préparé à l'avance, c'est le placage permettant, après polissage et vernissage, la comparaison avec les plus beaux meubles massifs. Ce collage a lieu à chaud et sous pression.

Contreplaqué. — Ce sont des panneaux minces obtenus par superposition de feuillets collés. Les fibres de deux feuillets consécutifs étant toujours perpendiculaires, chaque panneau possède un nombre impair de feuillets : 3, 5, 7, 9, etc., et un feuillet tendre est toujours placé entre deux feuillets durs. Le bois le plus utilisé dans ce genre de fabrication est l'**okoumé** (variété d'acajou), à cause des grandes dimensions de ses débits et de son absence de nœuds.

En raison de sa légèreté et de sa haute résistance, le contreplaqué est employé en aviation, pour la fabrication de meubles simples, en décoration, pour l'agencement des boutiques, des expositions et pour l'établissement des décors de théâtre, etc.

LE CAOUTCHOUC

Le caoutchouc est une gomme élastique résultant de la coagulation d'une sève laiteuse, le **latex**. Cette sève est produite par différents arbres des pays tropicaux; le plus commun d'entre eux est l'**hévéa**, croissant au Brésil, dans la province de Para.

Aux environs de 0°, le caoutchouc perd ses propriétés élastiques et devient cassant ; à 120°, il ramollit ; ces deux propriétés font que, industriellement, le caoutchouc pur serait inutilisable.

Une découverte importante, consistant à l'allier au soufre, a permis de lui procurer des propriétés remarquables; l'opération s'appelle **vulcanisation**. En effet, avec une plus grande élasticité, le **caoutchouc vulcanisé** reste semblable à lui-même entre — 20° et + 150° ; ce n'est que vers 250° qu'il fond et se décompose. Malheureusement, il s'altère en vieillissant et, au bout de plusieurs années, devient poisseux et « tourne au gras ». Les matières grasses en provoquent également l'altération.

Le caoutchouc est un produit irremplaçable au point de vue industriel. Ses utilisations sont multiples : pneumatiques pour cy-

cles, voitures, automobiles et tracteurs ; courroies ; tuyaux ; joints ; objets médicaux ; isolants électriques ; coussins ; tapis, etc.

Le caoutchouc synthétique s'appelle **buna**.

LES CUIRS

Les cuirs sont des **peaux traitées** de certains animaux sauvages ou domestiques (cheval, bœuf, vache, veau, mouton, porc, antilope, etc.), de certains cétacés (baleine, phoque), de reptiles (serpent, lézard, crocodile), auxquelles on a fait subir des préparations particulières : tannage et corroyage.

Le tannage consiste à transformer la peau, tissu fibreux organique, en un produit imputrescible et serré, le cuir. L'opération, qui peut durer de quelques mois à deux ans, a lieu dans des bains contenant du **tanin** (1). Mais, après ce premier traitement, le cuir n'offre pas encore toutes ses qualités de souplesse et d'élasticité ; le **corroyage**, qui consistera à défoncer, frapper, racler, rebrousser, étirer les peaux, lui procurera son aspect définitif.

Les **cuir artificiels**, de qualité bien supérieure à celle des cuirs naturels, sont obtenus par mélange de déchets de cuir, de feutre ou de drap avec un agglomérant (caoutchouc, acétate de cellulose). Le produit est finalement malaxé, compressé et cylindré.

Les cuirs sont utilisés dans de multiples industries, parmi lesquelles nous citerons les plus importantes : la **cordonnerie**, la **maroquinerie**, la **gainerie**, la **ganterie**, la **sellerie**, la **carrosserie**, la **fabrication des courroies**, la **reliure** et l'**ameublement**.

L'ÉBONITE

Quand la proportion de soufre dépasse 15 %, et ceci jusqu'à 50 %, la vulcanisation du caoutchouc change radicalement ses propriétés. Le produit devient noir, dur, légèrement élastique, mais cassant ; il est, en outre, susceptible d'un beau poli en utilisant l'huile ; la substance prend alors le nom d'**ébonite**.

Le travail de l'ébonite est facile, mais la forte proportion de soufre détériore les outils de coupe.

Son pouvoir **diélectrique**, c'est-à-dire ses hautes qualités d'isolation, la font rechercher pour la fabrication d'une grande partie de l'appareillage électrique : socles, supports, poignées d'interrupteurs, etc.

(1) Matière extraite de l'écorce de chêne, du bois de châtaignier.

LA FIBRE VULCANISÉE

Généralités et fabrication. La fibre vulcanisée vient s'ajouter à l'innombrable collection des **plastiques modernes** et remplace définitivement, avec des caractéristiques améliorées, la fibre ordinaire d'autrefois.

Ce matériau nouveau est issu de la **cellulose du coton** qui, par **hydrolyse** (1) de cette dernière, lui communique un important degré de durcissement. Cette hydrolyse est obtenue au moyen d'un **acide** (chlorure de zinc ou acide sulfurique) ; il ne s'agit donc pas d'une vulcanisation à base de soufre comme pour le caoutchouc, mais d'un durcissement moléculaire.

Le support de la fibre est constitué par une ou plusieurs épaisseurs de papier enrobées de plastique (stratification) (2) qui subissent les opérations suivantes : imprégnation, maturation, lavage, séchage, calandrage (3) et, finalement, coupé aux cotes exigées.

Propriétés. La fibre vulcanisée est une matière résistante semblable à de la corne, de **densité 1,3**, excellent isolant thermique et électrique, elle a une bonne résistance mécanique, de plus, on peut l'utiliser d'une façon continue jusqu'à 105° C ; elle est en outre insensible à l'action des huiles, graisses, essences, benzol, alcools solvants tels que l'acétone, etc.

Utilisation. Ses emplois sont multiples en raison de la variété de ses propriétés : Disques supports d'abrasifs. Ameublement : panneaux imprimés. Automobile : joints de toutes sortes, engrenages silencieux de compteurs. Equipement électrique divers. Valises, sacoches. Appareils électroménagers. Isolants pour appareillage électrique. Petite mécanique : engrenages, cames, cales, butées, rondelles, etc.

LA BAKÉLITE

La bakélite (4) est une **résine synthétique** obtenue par condensation du phénol et inventée par le chimiste belge le Dr **Backeland**. Elle est soluble dans l'alcool et l'acétone. Cette résine est utilisée pour **l'imprégnation** du papier, du carton ou de la toile qui, après empilage suivant des épaisseurs variables et compression à la presse hydraulique, fournissent le papier bakélisé, le carton baké-

(1) **Hydrolyse** : Dédoublement de matières organiques en molécules plus simples, soit à l'aide de l'eau, soit en présence d'un acide.

(2) **Stratification** : Association en couches successives.

(3) **Calandrage** : Action de lisser ou de polir entre des cylindres pouvant être portés à une certaine température.

(4) Nom scientifique de la bakélite : **formaldéhyde de phénol**.

lisé et la toile bakélisée. Ces différents produits possèdent un haut pouvoir isolant.

LE MICA

Le mica est un silicate multiple (aluminium, magnésium; potassium) ayant la particularité comme l'ardoise de se diviser en feuilles minces; il existe dans un grand nombre de roches (granit). Ses lieux d'extraction sont Madagascar et les Indes.

Grâce à sa transparence et à sa bonne tenue face à la chaleur, il est utilisé à la fabrication des **regards de foyers** d'appareils métallurgiques et de chauffage domestique.

Son pouvoir isolant au point de vue électrique le fait utiliser dans la construction des collecteurs de moteurs, des bougies de moteurs à explosion, des condensateurs de T.S.F. et des fers électriques.

La **micanite** est un aggloméré de paillettes de mica et de gomme-laque se moultant et se travaillant facilement. Elle est utilisée en appareillage électrique pour la fabrication de pièces isolantes devant supporter de très hauts voltages.

L'AMIANTE

Ce mot est dérivé du grec « amiantos » qui signifie : incorruptible. C'est un textile minéral (silicate de magnésie) qui est **incombustible**. Son origine est, d'une part, les Alpes (fibres courtes) et, d'autre part, le Canada (fibres longues). Nos ancêtres en faisaient du linge qu'ils passaient simplement au feu pour le nettoyer.

Dans l'industrie, il est utilisé sous forme de tresses, cordonnets ou fils pour la **garniture** des tiges de pistons de machines à vapeur; sous forme de carton pour **joints calorifuges**. En chimie, les filtres utilisés pour les liqueurs acides sont en amiante. Ce précieux produit est également utilisé pour la confection des **vêtements de protection** des pompiers et tancheurs. Les **mèches** de certains appareils de chauffage sont également en amiante.

LES MATIÈRES PLASTIQUES

Le nom de matière plastique a été donné à toute une gamme de **compositions moulables à chaud et sous pression** ayant des qualités de dureté et de souplesse comparables à celles de certaines substances naturelles telles que la corne et l'ivoire.

Avant l'apparition de la matière moulée, certains produits industriels comme l'**ébonite**, la **bakélite**, le **celluloïd**, etc., avaient déjà rendu de sérieux services en décoration et en électricité. La mise au point de **résines artificielles** à base de **formol**, de **phénol** ou de **crésol** (1), additionnées de poudres spéciales, fit naître la matière plastique. Il est à remarquer que ces produits particuliers destinés à conférer à la pièce des caractéristiques mécaniques, techniques, électriques ou décoratives nouvelles sont restés pour chaque utilisation « secret de fabrication ».

Il existe deux groupes de **plastiques** :

Les **thermoplastiques** et les **thermodurcissables**.

Une **matière thermoplastique** peut être ramollie sous l'influence de la chaleur et ramenée à l'état solide par refroidissement, c'est-à-dire refondue et moulée un nombre illimité de fois.

Exemple : le nylon. Densité : 1,14. Température critique : 204°.

Une **matière thermodurcissable** est celle qui, sous l'influence de la chaleur et de la pression se transforme en un produit **dur** et **infusible** qui ne pourra jamais être ramolli par un nouveau chauffage et qui ne peut être refondu et remoulé une seconde fois.

Exemple : la bakélite. Densité : 0,7 à 2 suivant support. Température critique : 100° à 177°.

Un **plastique** est un mélange constitué par une **résine de base** additionnée :

- a) De **plastifiants** destinés à donner au produit des qualités de souplesse et de non-fragilité ;
- b) De **charges** telles que textiles, poudres ou matériaux filandreux dont la présence augmente certaines qualités mécaniques.
- c) De **colorants** ayant pour rôle d'améliorer la présentation du produit.

L'établissement d'un objet en matière plastique exige tout d'abord l'exécution d'une **maquette** pour se rendre compte à l'avance de son aspect définitif. Une fois retouchée et terminée, cette maquette servira de modèle à l'**ouvrier fraiseur** pour la fabrication d'un **moule en acier**. Celui-ci se compose toujours de deux

(1) **Formol.** Solution aqueuse d'un acide gras découvert par Fischer en 1760 dans les fourmis.

Phénol. Solide incolore très caustique extrait du goudron de houille et utilisé comme antiseptique et comme composant de la matière moulée.

Crésol. Dérivé du phénol ; aussi antiseptique mais moins toxique et rentrant dans la fabrication de la bakélite.

parties essentielles, la **chemise** ou partie femelle, le **compresseur** ou partie mâle. Un polissage final procurera à la pièce une surface lisse et brillante.

Les opérations de **moulage sous pression** sont assez simples et ressemblent au **moulage en coquille** des alliages d'aluminium. Une circulation de vapeur amène le moule à température convenable ; le temps de pressage faisant suite à l'injection est calculé très exactement. Au moment du refroidissement, le retrait de la pièce facilite le démoulage. Pour de grandes surfaces exigeant un polissage poussé, on saupoudre l'intérieur du moule, avant la coulée, avec de fines particules de matière plastique.

Les **outillages modernes** permettent actuellement d'obtenir des pièces de dimensions respectables (dessus de table et de sièges). La rapidité de fabrication est vraiment extraordinaire dans certaines branches de l'industrie électrique (200 prises de courant à l'heure). La qualité isolante des matières plastiques est toujours éprouvée sous haute tension.

La matière plastique, dont l'emploi s'est développé ces dernières années d'une façon considérable dans toutes les branches de l'industrie, donne naissance chaque jour aux **pièces les plus diverses** et aux **coloris les plus originaux** : appareils photographiques, boîtiers de postes de T.S.F., carters de balances et d'aspirateurs, ustensiles de camping, accessoires de planche de bord d'automobiles, boîtiers de pendules, articles de bureau, stylographes, cendriers, ustensiles ménagers de toutes sortes, etc.

ARALDITE

Les avantages apportés par ce produit nouveau dans le domaine de l'assemblage de certaines pièces sont tellement importants qu'il est indispensable de le faire connaître aux mécaniciens.

L'**araldite** (1) est un produit **adhésif** ou plus exactement une **colle synthétique** à haute résistance constituée par deux éléments distincts : une **résine** et un **durcisseur**.

Suivant les nombreux types d'araldites, résine et durcisseur peuvent se présenter sous forme solide, liquide ou pâteuse.

En outre, deux catégories d'adhésifs sont commercialisées, l'une durcissant **à froid** à partir de 20° C (durée de durcissement : 24 à 48 h), l'autre durcissant **à chaud** au-dessus de 100° C (durée du

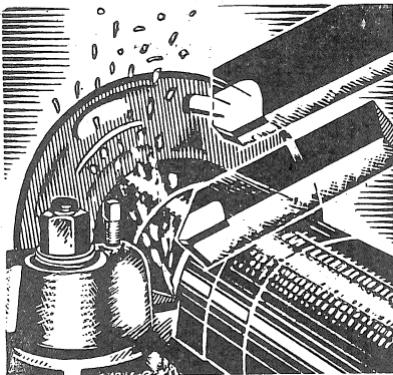
(1) Produit « **Saint-Gobain** » distribué par « **Prochal** », 18 bis, rue d'Anjou, Paris (8^e).

durcissement : 1 à 3 h). Ces dernières sont incontestablement les plus adhérentes.

L'araldite procure aux assemblages métalliques de toute nature un coefficient d'adhérence extraordinaire. La **résistance au cisaillement** varie de 2,5 à 4 kg/mm², ce qui la fait rechercher pour les applications suivantes :

- a) **Ablocage** de pièces mécaniques de formes impossibles à immobiliser par d'autres moyens sur une machine-outil.
- b) En **fonderie** pour la réalisation de modèles, de plaques modèles et de boîtes à noyaux.
- c) En **outillage**, pour la confection de gabarits, de montages, d'outils d'étirage et d'emboutissage.

Dans le cas d'assemblages susceptibles d'être détruits après usinage, les éléments constitutifs peuvent être séparés par immersion prolongée dans du trichlorethylène ou, mieux, dans un mélange formé de 89 parties de chlorure de méthylène et de 11 parties d'alcool méthylique.



7. LES HUILES

DÉFINITION

Les **huiles** sont des liquides gras et onctueux, généralement insolubles dans l'eau et utilisés en **mécanique** dans des domaines très variés.

Elles peuvent être classées de deux façons : suivant leur **origine** et suivant leur **utilisation**.

CLASSIFICATION DES HUILES SUIVANT LEUR ORIGINE

a) **Huiles minérales.**

Les **huiles minérales** sont presque exclusivement extraites du **pétrole brut** après séparation de ses principaux composants : essence, huile lampante, gazoil.

On peut également les obtenir en partant des **goudrons de houille** (huiles de chauffage), des schistes bitumeux (huile de paraffine).

Toutes ces huiles sont purifiées et rendues plus fluides par raffinage. C'est le cas de l'**huile de vaseline**, produit de traitement du pétrole.

b) **Huiles végétales.**

Celles-ci proviennent généralement de graines et de fruits, soit par **expression**, soit par **extraction** au moyen de dissolvants en partant du **colza**, du **lin**, du **ricin**. L'**huile de lin** est utilisée pour la fabrication du minium et des peintures.

c) **Huiles animales.**

Les huiles animales sont extraites de certains cétacés : baleines, cachalots, etc., ou de substances animales : pieds de bœufs, pieds de moutons, abatis, saindoux, suif, os, lard. On opère par **fusion des parties grasses** avec ou sans vapeur d'eau.

CLASSIFICATION DES HUILES SUIVANT LEUR UTILISATION

Cette deuxième classification des huiles aura certainement pour les mécaniciens une signification plus exacte :

- 1^o Huiles de graissage ;
- 2^o Huiles de coupe ;
- 3^o Huiles de trempe ;
- 4^o Huiles servant à la production des gaz ;
- 5^o Huiles de chauffage ;
- 6^o Huiles pour transformateurs.

1^o **Huiles de graissage.** — Les **lubrifiants** ont pour rôle principal de substituer au frottement considérable de deux pièces mécaniques **glissant** l'une sur l'autre le frottement beaucoup plus faible de la matière grasse introduite entre ses surfaces.

Qualités des huiles de graissage. — La **viscosité** qui leur permet d'adhérer aux surfaces à lubrifier. La **fluidité** qui en permet la circulation entre les pièces à graisser. La **neutralité** vis-à-vis des différents métaux, sans permettre leur oxydation. **L'inaltérabilité** aux hautes et basses températures.

Les bonnes huiles de graissage sont presque exclusivement minérales et doivent être absolument pures, sans possibilité d'attaquer le fer, le plomb, le cuivre, ni le caoutchouc.

UTILISATION. — On utilise généralement des **huiles fluides** pour des appareils tournant à **grande vitesse** et à faible pression (turbines) et des **huiles épaisses** pour des organes de machines **lourdement chargées** (cylindres à vapeur). Les moteurs d'avion sont graissés à l'**huile de ricin**, qui possède un double avantage : d'abord de conserver son pouvoir lubrifiant à haute température, et ensuite d'être insoluble dans l'essence.

Pour les **mécanismes délicats**, on utilise avec succès l'**huile de vaseline**; celle-ci peut être naturelle ou artificielle.

L'**huile de vaseline naturelle** est obtenue en partant du pétrole brut par raffinage; l'**huile de vaseline artificielle**, en mélangeant l'huile de paraffine à la **cérésine** (1) dans la proportion d'une partie de cérésine pour quatre parties d'huile de paraffine. L'huile de vaseline a également l'avantage d'être un très bon **antirouille**.

La **vaseline** est une graisse minérale tirée des résidus de la distillation du pétrole; elle fond entre 35° et 40°.

(1) **Cérésine**, substance analogue à la cire et résultant du traitement d'une cire fossile par l'acide sulfurique.

2^o Huiles de coupe (1). — Les huiles de coupe sont utilisées pour le travail mécanique des métaux. Elles facilitent, d'une part, le glissement de l'outil sur la surface de la pièce et, d'autre part, son refroidissement quand celle-ci est animée d'un mouvement de rotation rapide.

L'huile de colza serait le produit idéal, mais on ne l'utilise guère que pour le décolletage et le filetage de précision, vu son prix de revient élevé.

Dans des travaux courants d'usinage sur aciers et laitons, elle est remplacée par des huiles solubles dans l'eau contenant 20 à 25 % de savon ammoniacal et 2 à 10 % d'huile. Dans des cas particuliers, le lait a donné d'excellents résultats comme produit de coupe.

L'étirage des tubes est pratiqué à l'aide d'huile de goudron de houille.

3^o Huiles de trempe. — Ces huiles doivent avoir l'avantage de ralentir le refroidissement afin d'atténuer les effets de la trempe. On utilise de préférence les huiles de colza et, à la rigueur, les huiles de schiste comme produit de remplacement.

4^o Huiles servant à la production des gaz. — Ce sont des huiles minérales appelées gazoils qui ont la propriété de se gazéifier et de permettre le fonctionnement de moteurs à combustion interne (moteurs Diesel). Dans ces moteurs, la température de compression atteignant 600° provoque l'inflammation des vapeurs d'huile.

Le gazoil est une huile minérale privée d'essence, bouillant de 200° à 400° et qui reste fluide jusqu'à 0°.

5^o Huiles de chauffage. — Les pétroles bruts, les mazouts (résidus de la distillation du pétrole), les huiles de goudron de houille sont utilisés comme fluides de chauffage des générateurs à vapeur, des locomotives, des fours métallurgiques et des chaudières de transports marins. Ces produits sont injectés enflammés à l'intérieur des foyers. Actuellement, une grande partie des chaudières de chauffage central sont alimentées de cette façon.

6^o Huiles pour transformateurs. — Outre ses qualités caloriques et lubrifiantes, l'huile possède également un certain pouvoir isolant et une grande résistance aux décharges électriques. Toutes choses la faisant rechercher pour le remplissage des cuves de transformateurs, pour les boîtes de résistances et les interrupteurs de grandes dimensions.

(1) L'étude détaillée des huiles de coupe est réalisée dans le texte qui suit, intitulé « Les lubrifiants », page 154.

8. LES LUBRIFIANTS

GÉNÉRALITÉS

A l'heure actuelle les **vitesses de coupe élevées** nécessitées par la production en grande série ont fait apparaître un facteur qui, jusqu'à ces dernières années, sans avoir été délaissé, méritait cependant une étude plus approfondie de la part des techniciens ; c'est la **lubrification**.

Déjà abordé dans les pages précédentes (1), il nous a paru indispensable d'étendre le rôle particulier joué par les **corps gras** dans la **coupe des métaux**.

ROLE DU LIQUIDE D'ARROSAGE

Son rôle bienfaiteur apparaît **pendant et après** l'usinage.

POSITIONNEMENT DE LA BUSE D'ARROSAGE

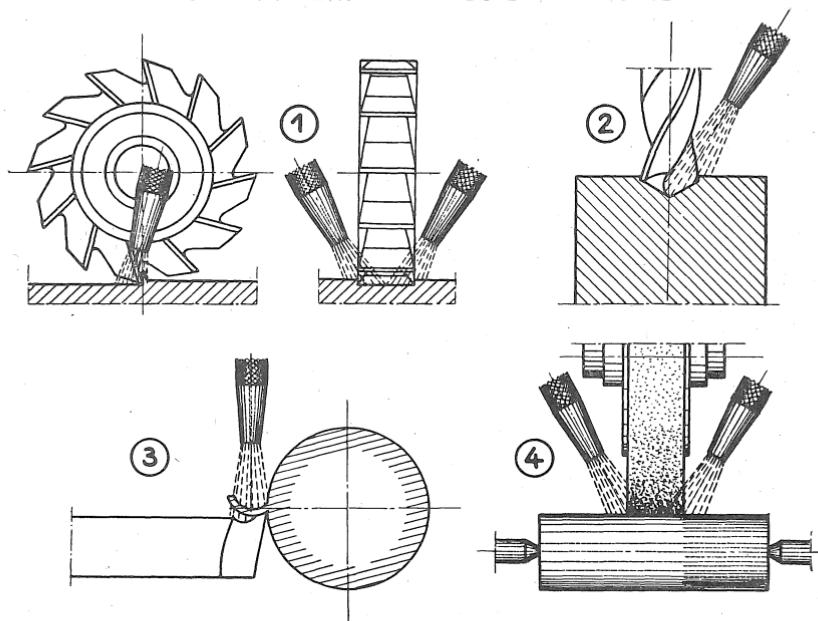


Fig. 62

1. En fraisage.
2. En perçage.
3. En tournage.
4. En rectification.

(1) **Les huiles**, page 151.

a) Pendant l'usinage.

La lubrification de la pièce diminue dans de larges proportions le frottement résultant du glissement des copeaux sur une des faces de l'outil (pente d'affûtage) en faisant disparaître la chaleur due à ce contact forcé. D'autre part, le débit intense de métal pouvant gêner l'usinage sera brutalement évacué par le flot de lubrifiant.

b) Après l'usinage.

Le liquide d'arrosage mouillant la pièce réalisera une protection ultérieure contre les agents atmosphériques.

CLASSEMENT DES LUBRIFIANTS

Considérant les quatre fonctions primordiales d'un fluide de coupe énoncées précédemment, à savoir : lubrification, réfrigération, évacuation des copeaux, protection, on est amené à classer les lubrifiants suivant deux classes importantes :

1° Les lubrifiants à base d'huile, composés d'huiles non solubles dans l'eau ;

2° Les lubrifiants à base d'eau, qui sont des émulsions d'huiles ou de graisses solubles dans l'eau.

Nota. — L'air comprimé peut être classé dans la catégorie des lubrifiants, mais ses applications bien particulières en matière d'usinage nous les feront étudier en fin de texte.

1° LUBRIFIANTS A BASE D'HUILE

Appelés huiles de coupe, ces lubrifiants prennent deux formes distinctes :

a) Huile de coupe ordinaire non active ;

b) Huile de coupe active, contenant des « ingrédients » adaptés aux diverses formes d'usinage.

Les huiles de coupe se décomposent en :

Huiles minérales (spindle),

Huiles végétales (colza),

Huiles animales (lard).

Propriétés d'une huile de coupe

Les huiles de coupe doivent avoir les qualités suivantes :

- a) Antisoudables ;
- b) Onctueuses ;
- c) Mouillantes ;
- d) Anticorrosives ;
- e) Antiseptiques.

On peut modifier les qualités d'une huile de coupe ordinaire et la rendre **active** en l'adaptant aux diverses opérations d'usinage par l'addition de « dopes » (1).

- a) **Antisoudabilité** obtenue par l'addition de « dopes » **anti-grippants** (phosphore, plomb, soufre, chlore) fournissant les « **huiles noires** » ;
- b) **Onctuosité** fournie plus spécialement par l'**huile de colza** ou l'huile minérale naturelle ; elle résulte de la formation d'un « **film d'huile** » résistant à la surface des corps lubrifiés ;
- c) **Pénétration du lubrifiant** permise par addition de « **mouillants** » qui éliminent les tensions superficielles ;
- d) **Anticorrosion** obtenue à l'aide de « dopes » spéciaux qui protègent les pièces des agents atmosphériques ;
- e) **Anti-infection.** Les qualités antiseptiques de certaines huiles évitent pour l'utilisateur de nombreuses maladies de la peau.

Dans le domaine pratique, il est permis d'affirmer que l'emploi des huiles de coupe sera plus particulièrement réservé aux **travaux durs** exigeant une forte pression de l'outil contre la pièce et dont le film d'huile interposé **facilitera le détachement du copeau**.

2^o LUBRIFIANTS A BASE D'EAU

Pour qu'un liquide remplisse parfaitement sa **fonction d'arrosage**, il doit posséder une **chaleur spécifique**, une **conductibilité calorique** et un degré de **vaporisation** élevés. L'**eau** est pratiquement le meilleur agent possédant ces qualités, mais malheureusement elle ne peut être employée pure en raison de l'**oxydation**

(1) Les « dopes » sont des ingrédients particuliers permettant de réaliser les qualités précédentes.

qu'elle occasionne (1). La solution est donc de neutraliser la corrosion par addition d'**huile ou de produits gras solubles**.

Avantages. — Les avantages procurés par les lubrifiants à base d'eau sont les suivants :

- a) Pouvoir réfrigérant accru (2 à 4 fois plus important que l'huile de coupe) ;
- b) Egouttage plus rapide ;
- c) Fluidité plus importante ;
- d) Prix de revient inférieur.

Propriétés des huiles solubles.

Tout comme pour les huiles de coupe, il est possible d'**améliorer les huiles solubles dans l'eau** par addition d'un certain pourcentage d'ingrédients spéciaux dit « **émulgants** » ; les résultats à obtenir sont identiques à ceux des lubrifiants à base d'huile : anti-soudabilité, onctuosité, etc.

Les deux qualités primordiales exigées d'une huile soluble sont les suivantes :

- a) **Stabilité de l'émulsion** dans le temps, aboutissant à une homogénéité suffisante sans « remontée » d'huile ;
- b) **Pouvoir antirouille** procurant un état de surface débarrassé de toute souillure par oxydation.

Nota. — Le pouvoir réfrigérant de l'émulsion peut être accru par une projection sous pression du liquide d'arrosage. (Evacuation plus rapide des copeaux).

Préparation du liquide d'arrosage

Suivant l'**effort de coupe ou d'abrasion** demandé, la **concentration** d'une huile soluble varie de **2 à 20 %**.

Exemple : Rectification, mélange à 2 % ;

Fraisage acier dur, mélange à 20 %.

L'eau utilisée ne doit pas être trop « **dure** » ni **calcaire**, dans ce cas il est recommandé de l'**adoucir** par addition de **carbonate de soude**.

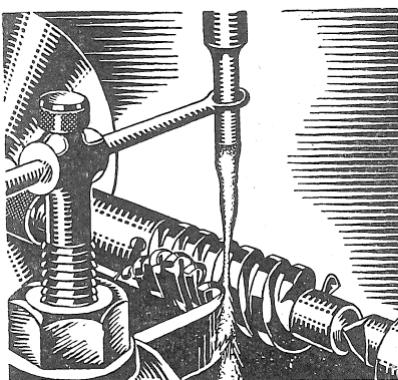
(1) Chaleur spécifique de l'**huile**, **0,5** ; chaleur spécifique de l'**eau**, voisine de **1**.

Nota. — L'huile doit toujours être ajoutée à l'eau, et non l'eau à l'huile, par addition lente en agitant le mélange. La quantité d'eau se trouvant dans le récipient doit être de **6 à 8 fois supérieure** à l'huile qui y sera ajoutée.

AIR COMPRIMÉ

L'air comprimé est surtout employé comme lubrifiant dans le cas particulier de **perçage de trous profonds** (armes à feu). En effet, la rapide évacuation des copeaux diminue sérieusement l'accroissement de température.

L'**action lubrifiante** est assurée par le passage de l'air comprimé au travers d'un **graisseur spécial** dans lequel une **huile onctueuse** tombe goutte à goutte. Le courant d'air la **pulvérise** et la véhicule vers la partie travaillante du foret. Nous avons dans ce dernier cas une **suspension d'huile dans l'air** dans les mêmes conditions que l'**huile soluble dans l'eau**.



9. LES JOINTS

DÉFINITION

Les **joints** sont des pièces de constitution et de formes particulières suivant leur utilisation, destinées à parfaire l'étanchéité de deux organes mécaniques en contact. C'est par **compression** et même par **écrasement** que le joint remplit parfaitement ce rôle.

CLASSIFICATION

Voici réunis les principaux joints utilisés en mécanique générale :

1° **Joints à bride et boulon pour eau froide** : cuir gras ; caoutchouc en feuille ; carton huilé, suiffé ou paraffiné.

2° **Joints pour eau chaude et vapeur** : caoutchouc entoilé, carton d'amiante huilé; klingérit (1).

3° **Joints pour l'échappement** (moteur à explosion) : carton d'amiante; klingérit.

4° **Joints pour culasse de moteurs** : joints métallo-plastiques ; papier d'amiante enduit de graisse Belleville (2), joints en plomb; klingérit.

5° **Joints pour plaques de foyer amovible** : tresses d'amiante entrecroisées enduites de céruse ou de minium (3); filasse de chanvre enduite de graisse Belleville.

6° **Joints pour l'essence et le pétrole** : fabriqués en plomb ou en carton plombaginé.

7° **Joints pour bougies d'allumage** : semblables à ceux des culasses de moteur.

8° **Joints pour tubes de porcelaine de brûleurs** : fil ou rondelette d'amiante.

9° **Joints pour vapeur sous pression** : filasse et pâte de minium.

10° **Joints pour tige de piston de machine à vapeur** : garniture en cuir bouilli ou embouti.

(1) **Klingérit** : amiante agglomérée par un mastic à base de céruse ou de minium.

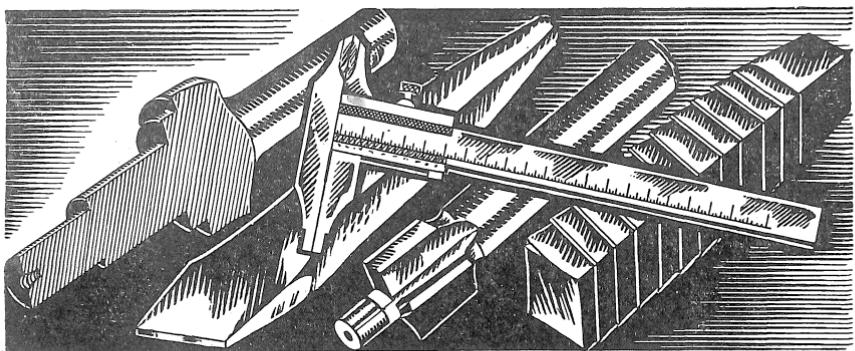
(2) **Graisse Belleville** : poudre de graphite agglomérée par une graisse.

(3) **Céruse et minium** : oxydes de plomb.

DEUXIÈME PARTIE

OUTILS

UTILISÉS PAR L'AJUSTEUR ET LE MÉCANICIEN EN PETITE MÉCANIQUE



1. LES ÉTAUX

DÉFINITION

L'**étau** est un instrument de travail permettant à l'ouvrier de maintenir énergiquement les pièces à façonner entre deux mâchoires pouvant se rapprocher à l'aide d'un dispositif **vis** et **écrou**.

CLASSIFICATION

1° L'**étau à pied ou à crapaudine** formé :

- des branches,
- du dispositif de serrage et d'ouverture.

a) **Branches** : La **branche fixe** comprend : le mors, le talon, l'œil, le collet, le corps, les joues d'articulation et le pied.

La **branche mobile** ne possède pas de pied, mais un tenon avec épaulement s'ajustant dans les joues d'articulation de la branche fixe. La hauteur des mors est de 15 à 30 mm.

b) Le **dispositif de serrage et d'ouverture** se compose, d'une part, d'une vis à filets carrés montée sur la branche mobile et, d'autre part, d'une boîte à filets carrés formant écrou, dans laquelle s'ajuste la vis. Un ressort permet au mors de revenir dans la position de desserrage.

Il est d'une grande utilité pour le **burinage** et le **bédanage**,

en raison de sa grande résistance aux chocs répétés, ou encore pour des travaux nécessitant un maintien très énergique.

Ce premier type présente un défaut assez grave : la fermeture de ses mors ne peut être parallèle, leur angle de serrage augmentant avec l'ouverture. On remédie à cet inconvénient en plaçant le système joues d'articulation et tenon le plus bas possible.

LES ÉTAUX

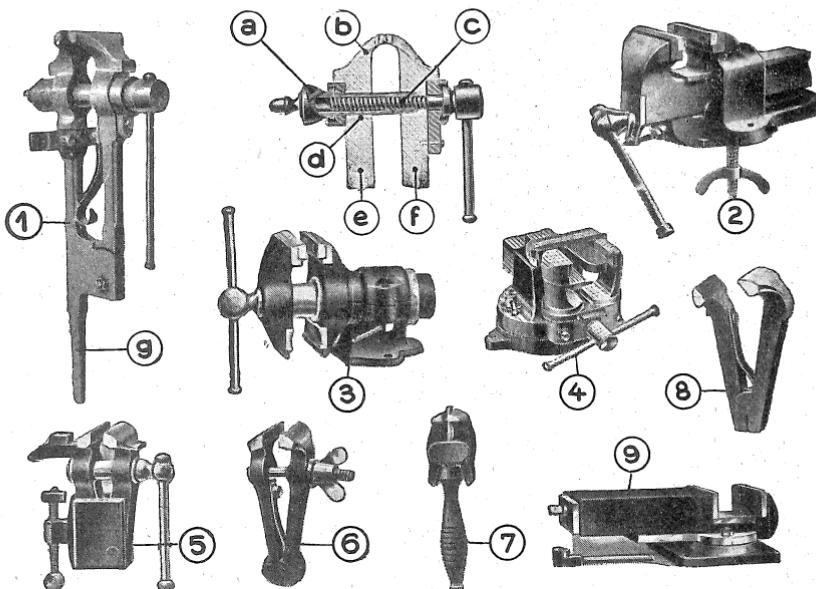


Fig. 63

1. Etau à pied ou à crapaudine. **a**: boîte à filets carrés. **b** : mors fixe. **c** : vis à filets carrés. **d** : œil. **e** : branche fixe. **f** : branche mobile. **g** : pied.
2. Etau parallèle à blocage instantané.
3. Etau à tête tournante.
4. Etau à mors rotatifs.
5. Etau à agrafe.
6. Etau à main.
7. Etau à goupilles.
8. Etau à chanfreiner.
9. Etau de machine.

2^o L'étau parallèle.

Contrairement au précédent, cet étau serre les pièces d'une façon parfaite. Quelle qu'en soit l'ouverture, le mors fixe et le mors mobile sont toujours parallèles. N'étant pas articulé, ce dernier se déplace horizontalement par l'intermédiaire d'un ajustement à glissière mâle et femelle.

Certains de ces étaux sont à **blocage instantané** (embrayage

ou débrayage de l'écrou) permettant, par l'intermédiaire d'une languette, le serrage ou l'ouverture rapide des mâchoires.

Ils peuvent également à **base tournante**.

3° **L'étau à tête tournante**, à mors ordinaires plats et mors spéciaux pour tubes et fers ronds, est destiné à maintenir les pièces à travailler sous tous les angles.

4° **L'étau à mors rotatifs**, résolvant toutes les difficultés de serrage des pièces de toutes formes. L'une des mâchoires est fixe tandis que l'autre est constituée par deux mors pivotants munis chacun de plusieurs faces de serrage.

5° **L'étau à agrafe ou étau à griffe**.

Ce sont des étaux soit articulés soit parallèles pouvant se fixer sur l'établi à l'aide d'une vis dont l'extrémité porte une griffe ou une agrafe. Ils sont très utilisés en petite mécanique et particulièrement en horlogerie.

ÉTAUX

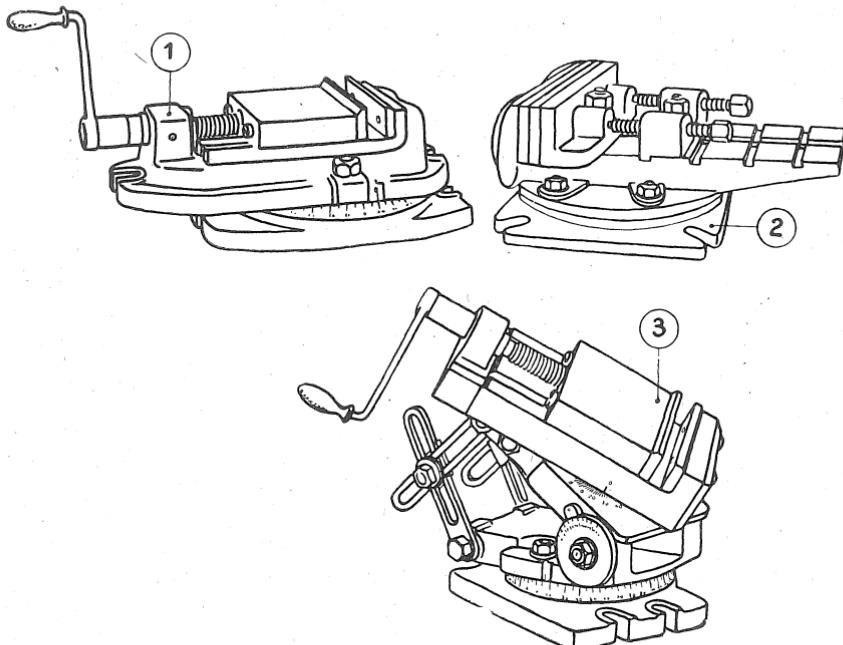


Fig. 64

1. Etau pivotant.
2. Etau à crémaillère pour machines-outils.
3. Etau universel pour outilleurs.

6° L'étau à main de petites dimensions servant à tenir des outils en évitant leur rotation. Mais avantageusement remplacé par le roule-goupille pour les outils à queue circulaire.

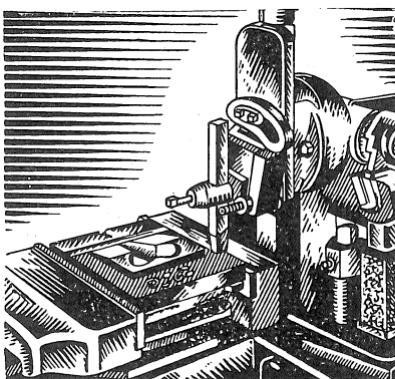
7° L'étau à goupilles formé d'une sorte de pince en acier dont les branches recourbées agissent comme un ressort.

8° L'étau à chanfreiner dont les mors taillés et trempés sont généralement inclinés à 45°, permettant ainsi l'exécution de pans coupés sans modifier le déplacement horizontal de la lime, ni la position habituelle de l'ajusteur.

9° Les étaux de machines : étaux à queue pour perceuses; étaux à mors amovibles; étaux à base fixe ou tournante; étaux à deux mors mobiles; étaux à crémaillère; étaux à mors mobile pivotant; étaux universels, etc., servent à la tenue rigide des pièces sur les machines-outils dans différentes positions, pour en faciliter l'usinage.

Ce sont des étaux de précision à mors rectifiés pour fraiseuses, rectifieuses, étaux-limeurs, etc.

Toujours parallèles, ils peuvent se fixer à l'aide de boulons dans les rainures en « T » ménagées dans la table de la machine.



2. LES OUTILS DE TRAÇAGE

GÉNÉRALITÉS

L'opération de traçage, qui fait toujours appel aux **conventions normalisées** du dessin industriel (dimensions, indications d'usinage, etc.) ; sera conduite d'une façon méticuleuse et précise. C'est en effet de ce tracé que dépendra la bonne marche de toutes les opérations d'usinage se succédant jusqu'à la finition. Pour cela, le traceur utilisera toute une gamme d'outils dont nous étudierons les plus courants.

CLASSIFICATION

Les outils de traçage peuvent être classés de la façon suivante :

- 1^o Les **marbres** ;
- 2^o Les **pointes à tracer** ;
- 3^o Les **pointeaux** ;
- 4^o Les **compas** ;
- 5^o Les **trusquins** ;
- 6^o Les **vés** ;
- 7^o Les **dés de traçage** ;
- 8^o Les **accessoires de traçage**.

1^o Les marbres

Les marbres, indispensables pour tous les travaux de traçage, sont généralement des **tables de fonte** de forme rectangulaire dont la partie supérieure a été soigneusement rabotée et dressée. C'est cette **surface de référence** qui recevra tout le matériel de traçage et qui ne devra opposer aucune résistance à son glissement.

Les marbres de grandes dimensions ne possèdent pas de pieds, mais reposent le plus souvent sur des blocs de maçonnerie ; ils peuvent être disposés les uns au bout des autres lorsqu'un traçage important l'exige ; leur calage étant assuré par des vérins réglables.

Les **marbres d'établi**, beaucoup plus petits que les précédents, peuvent être transportés à bras d'une place à l'autre.

Entretien. — Les marbres doivent être, de la part de l'ouvrier,

l'objet d'un soin tout particulier ; celui-ci devra s'astreindre aux règles suivantes :

- a) Ne jamais laisser subsister, sur la surface d'un marbre, des éléments étrangers susceptibles de détruire sa planéité (sable de fonderie, limaille, copeaux, etc.). Pour cela, un essuyage à sec sera effectué le plus souvent possible.
- b) De temps à autre, lorsque son plan de référence se ternit, il est utile de le frotter énergiquement avec de la fine poussière de fonte alliée à du pétrole.
- c) Le dessus d'un marbre étant une surface soigneusement rectifiée devra être respectée comme telle, aussi serait-il néfaste de l'utiliser comme tas ou de le marquer par la chute de corps angulaires.

2^o Les pointes à tracer

Les pointes à tracer sont les **crayons du traceur**. Pour certaines d'entre elles, une forme simple en permet l'exécution rapide. C'est généralement une tige d'acier fondu cylindrique, polygonale ou chantournée, dont les deux extrémités sont effilées, l'une d'elles est généralement recourbée suivant un angle de 90° à 100°. L'extrémité rectiligne sert au traçage normal ; quant à l'autre, elle est réservée au report de tracés dans des endroits inaccessibles à la pointe droite.

Les pointes à tracer servent à **graver** sur le métal des lignes suffisamment profondes pour guider l'ouvrier, en cours d'usinage. Elles font toujours appel à des outils auxiliaires pour diriger leur déplacement (règles, équerres, trusquins, etc.).

Les parties utiles des pointes à tracer sont trempées et revêues jaune foncé ; leur affûtage doit être conduit pour obtenir un **angle de pointe très aigu** afin de pouvoir approcher facilement du champ des règles de traçage.

La pointe à tracer ne doit pas être un **clou**, mais un outil correctement entretenu.

Fig. 65

- | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| 1. Marbre sur pieds. | 9. Compas à verge. | 16. Equerre pivotante. |
| 2. Marbre d'établi. | 10 et 11. Vés ordinaires. | 17. Règle divisée sur socle |
| 3 et 4. Pointes à tracer. | 12. Vé à vis. | ou « potence ». |
| 5 et 6. Pointeaux ordinaires. | 13. Trusquin « Starrett ». | 18. Rapporteur combiné |
| 7. Pointeau automatique. | 14. Trusquin à vernier réglable. | avec équerre d'angles et équerre à centrer. |
| 8. Compas de précision à ressort. | 15. Dé de traçage. | 19. Niveau à bulle d'air. |

OUTILS DE TRAÇAGE

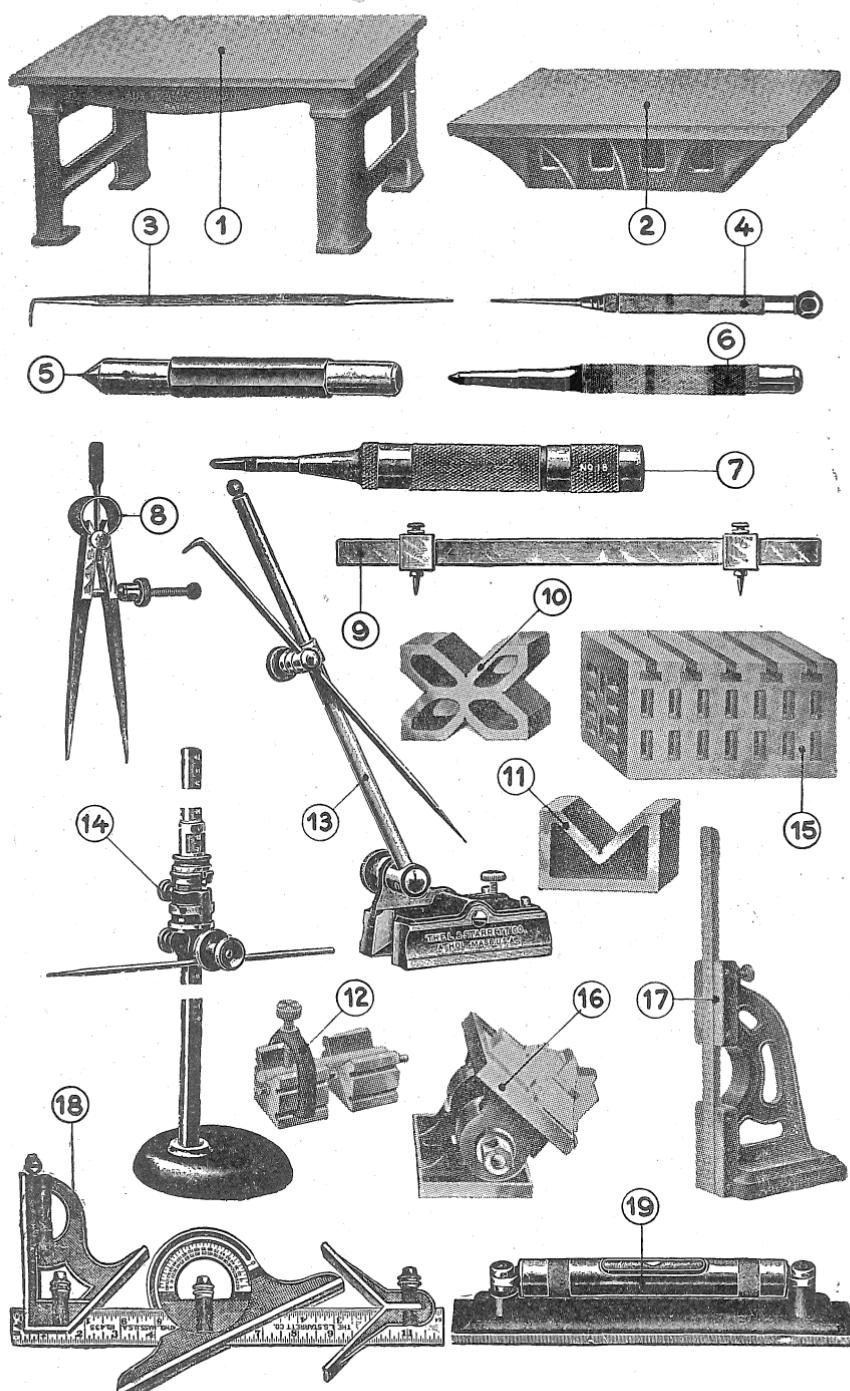


Fig. 65

3° Les pointeaux

Les pointeaux sont des outils généralement plus courts que les pointes à tracer et qui peuvent être utilisés, d'une part, au **repérage** des traits et des axes sur les surfaces tracées, et, d'autre part, à l'**amorce** du départ d'un trou pour l'exécution d'un perçage. Ils sont fabriqués dans de la barre d'acier fondu dont la partie centrale ou **corps** peut être moletée, celui-ci et la **tête** ne sont pas trempés ; quant à la pointe, elle devra subir une trempe suivie d'un revenu jaune foncé.

Dans le **pointeau pour repérage**, l'angle de pointe devra voisiner **60°**, alors que dans le **pointeau pour perçage**, cet angle sera légèrement inférieur à celui des forets, c'est-à-dire proche de **100°**. L'empreinte laissée par ce dernier pointeau devra toujours être plus importante que l'âme du premier foret utilisé.

Les **pointeaux automatiques** sont des outils perfectionnés possédant intérieurement un dispositif de frappe par ressort supprimant l'usage du marteau. La précision de ces pointages ne fait aucun doute, mais leur importance est toujours réduite, ce qui a pour effet d'en limiter l'utilisation à la petite mécanique.

4° Les compas

Les compas de traceur sont utilisés pour la gravure sur le métal de formes géométriques arrondies, de tracés d'angles, de divisions de droites, de report de cotes de longueurs, etc.

Ils sont constitués par deux branches d'égale longueur, articulées à une extrémité ; cette articulation doit être assez ferme afin d'éviter des dérégagements possibles. L'autre extrémité des branches, **pointue et effilée**, constitue la partie utile. Après trempe, revenu et affûtage, la jonction des pointes doit être parfaite, ce qui facilitera dans une large mesure le tracé de circonférences de faible diamètre.

Les différents types de compas à tracer sont les suivants :

Les **compas ordinaires à friction**, les **compas à arc simples** et à **vis de rappel**, les **compas de précision à ressort « Starrett »**. Les **compas à verge**, très utilisés en traçage, sont généralement formés d'une **règle divisée**, ronde ou rectangulaire, sur laquelle coulissent deux **poupées** porte-pointe qui peuvent être immobilisées à l'aide de boutons moletés. Ces compas d'un genre très particulier servent au traçage d'arcs de grandes dimensions et au report de cotes importantes.

5^o Les trusquins

Les trusquins sont certainement, parmi les outils de traçage, ceux dont le perfectionnement a été le plus poussé. Leur rôle est de tracer sur une pièce des **droites parallèles** à la surface de référence du marbre.

Ils sont composés essentiellement :

- a) D'une **semelle en fonte** évidée à la partie inférieure pour en diminuer l'adhérence ;
- b) D'une **réglette d'acier** dont la section peut être circulaire ou carrée et qui est immobilisée en position parfaitement perpendiculaire sur son socle ;
- c) D'une **douille** supportant le dispositif d'inclinaison ou de fixation de la pointe. Dans les trusquins de précision, c'est dans ce dernier organe que se trouve monté le mécanisme de lecture micrométrique.

Voici les différents types de trusquins pouvant équiper un atelier de traçage :

Les **trusquins ordinaires** non gradués.

Les **trusquins à vis de rappel** non gradués.

Les **trusquins à bascule**.

Les **trusquins universels américains** « Starrett » dont la pointe montée sur douille mobile peut être réglée dans tous les sens et à tous les angles voulus ; son blocage s'effectue par un écrou moleté fixant en même temps la douille et la pointe.

Les **trusquins gradués à vernier fixe ou réglable**.

Les **trusquins gradués à règle coulissante**.

Précautions à apporter au trusquinage

- a) **Serrer énergiquement** les différents organes immobilisant la pointe ;
- b) **Appuyer suffisamment sur la semelle** pour éviter le pivotement ;
- c) **Tirer pour chaque cote un seul trait** très visible et non pas une multitude de traits superposés.
- d) **Maintenir la pointe du trusquin en position horizontale**, au besoin surélever la pièce pour le traçage de traits inférieurs.

6° Les vés

Les vés sont des blocs de fonte de forme parallélépipédique parfaitement dressés ou rectifiés et possédant sur leurs champs une ou plusieurs encoches à 90°. Certains viennent de fonderie avec évidements pour en diminuer le poids. Le fond de leurs encoches est toujours rainuré pour en permettre le dégagement.

Principaux usages :

- Maintien de pieds de révolution susceptibles de rouler en période d'usinage ou de traçage ;
- Orientation de pieds pour tracés inclinés à 45° ;
- Calage de pièces pour en régler l'horizontalité dans les différents plans.

ACCESSOIRES DE TRAÇAGE

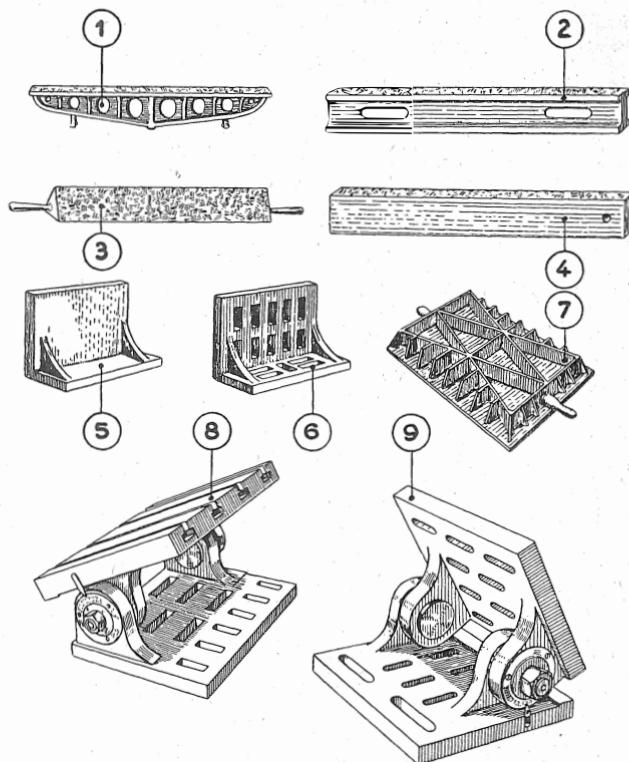


Fig. 66

- Règle de dressage en fonte.
- Règle profilée en acier.
- Règle prismatique en fonte.
- Règle de dressage ordinaire.
- Equerre de montage pleine.
- Equerre de montage évidée.
- Marbre type américain.
- et 9. Equerres articulées avec secteur gradué de 0 à 90°.

Les vés à vis possèdent un organe de blocage auxiliaire permettant l'immobilisation parfaite des pièces circulaires.

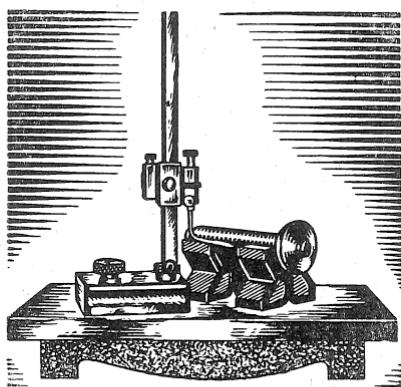
Les vés de traçage doivent être obligatoirement usinés et rectifiés **par paires** et comporter des numéros de référence.

7° Les dés de traçage

Ce sont des cubes en fonte généralement creux, rainurés ou ajourés et servant au bridage de pièces importantes devant être tracées « **en l'air** »; ils permettent, dans ce cas, leur orientation suivant des plans parfaitement perpendiculaires. Les tracés sont alors plus précis et moins onéreux que ceux pratiqués par calages multiples.

8° Les accessoires de traçage

Les accessoires de traçage prennent des formes aussi variées que les rôles qu'ils ont à remplir. De toute façon ils tendront à compléter, pour des travaux spéciaux, le matériel couramment employé. Nous nous contenterons d'énumérer ici les plus connus : les équerres simples ou à chapeau, les équerres à diamètres, les règles cornières, les règles divisées verticales sur socles, les équerres de montage simples ou articulées, les tables-supports universelles, les niveaux, les fils à plomb, les cales extensibles, les vérins de calage, les compas à centrer, les cimblots, etc.



3. LES LIMES

GÉNÉRALITÉS

La lime est incontestablement l'outil le plus employé par l'ajusteur. Malgré le développement des machines-outils, elle sera toujours indispensable pour parfaire les pièces et rendre possible leur ajustement dans les moyennes et petites séries.

Elle est constituée essentiellement par une lame ou tige d'acier longue et étroite, garnie d'aspérités ou stries prenant l'appellation de **taille** et qui sert à user, polir et ajuster les corps pouvant être ouvragés.

HISTORIQUE

L'origine de la lime remonte à la plus haute antiquité. On a, en effet, retrouvé, à la suite de fouilles, des morceaux de silex garnis de dents sur leurs arêtes et datant de l'**âge de pierre**. Ces limes primitives servaient déjà à scier ou user les corps durs. Il semble que la plus ancienne lime, en tant qu'outil, remonte à 3.000 ans avant Jésus-Christ ; d'origine égyptienne, elle fut découverte dans la pyramide de Chéops. On utilisait également des râpes de cuivre 1.200 ans avant l'ère chrétienne, c'est-à-dire à l'époque où furent fondus les premiers métaux.

L'industrie de la lime ne prit de l'ampleur qu'au XIII^e siècle où deux grandes villes se partagèrent sa fabrication : Paris et Nuremberg. Vers 1460 se fonda la corporation des **Taillandiers** ou tailleurs de limes qui, jusqu'à nos jours, par taille à main d'abord, par taille mécanique ensuite, ne cessèrent d'en perfectionner les moyens de production.

CONSTITUTION ET CLASSIFICATION

Les limes fabriquées avec de l'**acier fondu** ou **corroyé** sont constituées :

- a) Par une **partie taillée**, garnie de dents plus ou moins rapprochées.
- b) Par une **soie** ou queue de lime ayant la forme d'un rapporti carré s'engageant dans le **manche**. Elle doit toujours être recuite afin d'éviter des accidents dus à une rupture possible.

Les limes peuvent être classées soit par leur genre de **taille**, soit par leur **forme**, soit par leur **grain**, soit par leur **longueur**.

LES LIMES

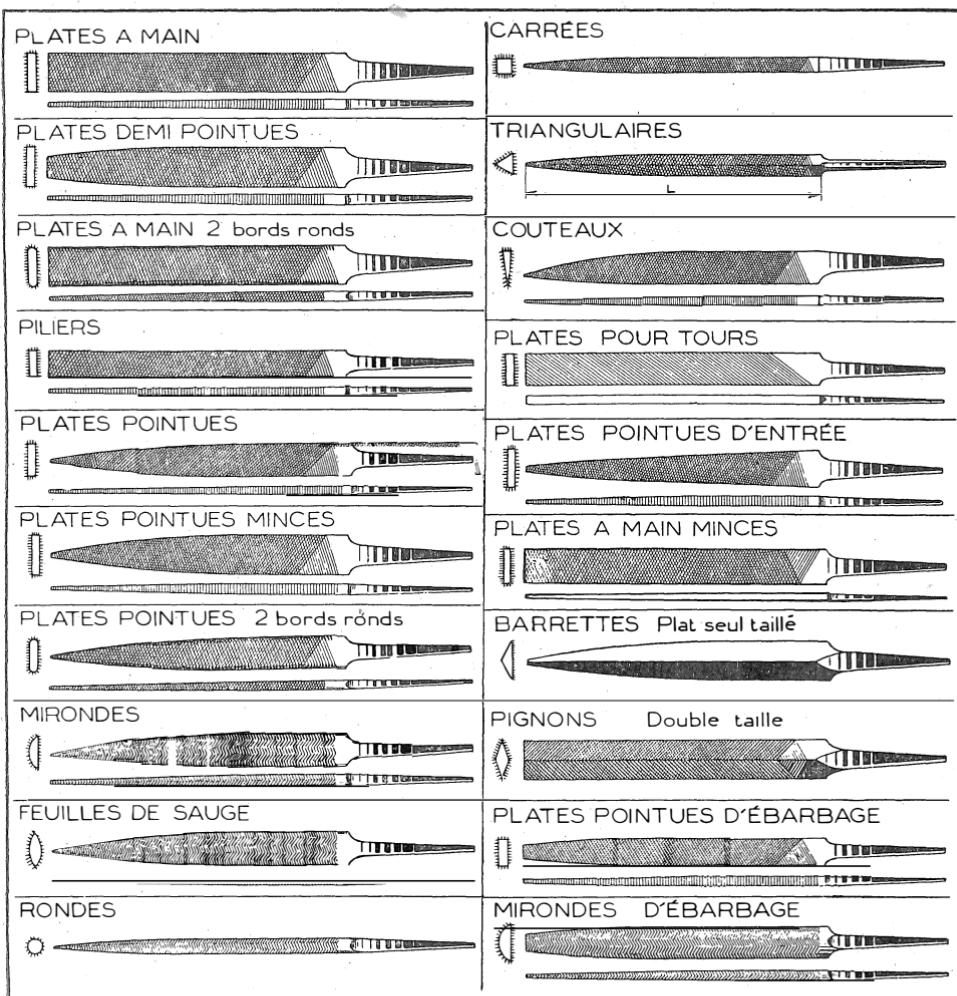


Fig. 67

1° Genre de taille

- Lime à **une taille**, une seule inclinaison à 70° : tiers-point doux et très doux pour affûtage des scies.
- Lime **écouenne à une taille** pour plomb, aluminium, zinc, régule. Taille inclinée à 60°.
- Lime à **deux tailles**, deux inclinaisons croisées à 45° et 110° pour acier, fer et, en général, pour tous les métaux relativement durs.

- d) Lime à **deux tailles**, deux inclinaisons croisées à 30° et 115° pour bronze et laiton.
- e) Lime à **strier, une taille** pour moletage.
- f) Lime **fraiseuse, taille courbe**.

Dans une lime à deux tailles, le premier angle est déterminé par le bord de son arête et la première taille, le deuxième est formé par les deux tailles croisées.

2° Formes diverses

- a) Limes **plates à main** ;
- b) Limes **piliers** ;
- c) Limes **tiers-point** (1) ;
- d) Limes **carrées** ;
- e) Limes **demi-rondes** ;
- f) Limes **queue-de-rat** ;
- g) Limes **dos d'âne** ou barrette ;
- h) Limes **feuilles de sauge** ;
- i) Limes **cylindriques**, etc.

3° Grain

Le **grain** de toutes ces limes peut être : **grosse taille, bâtarde, demi-doux, doux, extra-doux**.

4° Longueur

La **longueur** d'une lime s'exprime soit en **mm** soit en **pouces**, elle se mesure de l'extrémité de la lime à son épaulement.

TAILLE DES LIMES

La **taille** d'une lime est la distance comprise entre deux rangées de dents voisines.

Taillées autrefois à **la main**, les limes sont maintenant presque exclusivement taillées **mécaniquement**, l'outil de travail restant le **burin**.

(1) Il est une règle immuable chez les ajusteurs, c'est de **rigoureusement résERVER les limes tiers-point pour l'exécution des angles rentrants** après meulage préalable de l'une de leurs faces. Le **dressage des faces planes n'étant réalisé que par les limes plates seulement**.

Voici les différentes tailles utilisées par l'ajusteur :

Taille d'Allemagne des une

(une au paquet) 6 à 7 tailles par cm.

Taille d'Allemagne des deux

(deux au paquet) 7 à 8 tailles par cm.

Le paquet pesant généralement de 0 kg 800 à 1 kg.

Taille bâtarde

9 à 10 tailles par cm.

Taille demi-bâtarde

10 à 13 tailles par cm.

Taille demi-douce

13 à 16 tailles par cm.

Taille douce

16 à 20 tailles par cm.

Taille très douce ou extra-douce

20 à 25 tailles par cm.

ANGLES DE TAILLE DES LIMES

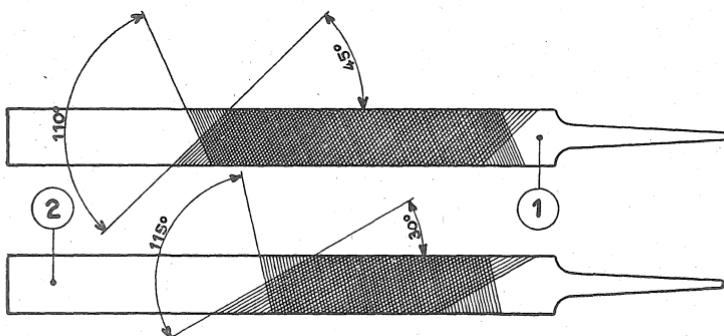


Fig. 68

1. Métaux durs (acier, fonte).
2. Métaux tendres (bronze, laiton).

Leur **retaillage** est possible après un traitement thermique approprié, mais cette opération exigeant la disparition de la première taille leur fait toujours perdre une partie de leur épaisseur.

Une lime ne peut subir au maximum que **trois retaillages**.

ANGLES DÉTERMINANT LA MORSURE D'UNE LIME

Les limes n'agissent pas sur la matière dans les mêmes conditions qu'un outil de coupe, cependant les angles qui en déterminent la morsure peuvent lui être comparés.

L'angle α , appelé **angle de dépouille**, est ici beaucoup plus grand que celui d'un outil de tranchage, il permet alors une péné-

tration plus facile des aspérités des dents dans la matière. Quant à l'angle **b**, dont la valeur voisine 5° , il favorise la formation de la limaille.

ANGLES DÉTERMINANT LA MORSURE D'UNE LIME

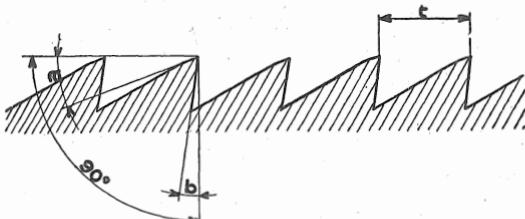


Fig. 69

- a : Angle de dépouille.
- b : Angle de formation de la limaille.
- t : Taille.

LIMES SPÉCIALES

Pour l'exécution de retouches ou pour la réalisation de travaux de précision, les ajusteurs, les mécaniciens de précision et les ouilleurs utilisent souvent des **limes spéciales** de petites dimensions qui prennent deux formes particulières :

- a) Les **limes de Genève** ;
- b) Les **limes aiguille**.

Limes de Genève

Elles ne diffèrent des limes ordinaires que par leurs dimensions et leur taille. Leur rôle est de parfaire les surfaces de pièces mécaniques à assembler en n'enlevant qu'une faible quantité de métal. Pour cette raison leur taille est toujours fine (douce, très douce, extra-douce). Le manche servant à les maintenir est également fonction de leur grosseur et, de ce fait, généralement de petit diamètre.

Limes aiguille

Les limes aiguille sont généralement utilisées par les mécaniciens de précision et les horlogers. Ici la soie pointue est remplacée par une **queue cylindrique** lisse permettant de les saisir, le manche est donc inutile. Leur taille est sensiblement la même que celle des limes de Genève, c'est-à-dire qu'elle varie du doux à l'extra-doux.

RECOMMANDATIONS CONCERNANT L'UTILISATION DES LIMES

Pour éviter de provoquer l'arrachage irrégulier de la surface dressée de la pièce, il convient d'étendre sur la taille des limes une légère couche d'huile ou de suif ou encore de les frotter avec du soufre ou un morceau de craie (fonte exceptée).

Les limes s'enkrassent facilement, la limaille de métal venant se sertir dans leur striage.

On peut l'enlever très facilement, soit avec une **carte** pour les grosses tailles, soit au moyen d'une **bande de laiton écroui** que l'on déplace dans les stries transversales d'une lime douce ou extra-douce.

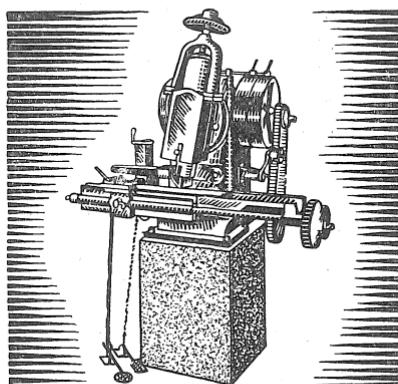
La vitesse de production des limes ne doit pas excéder 50 à 75 courses-travail par minute.

PRÉCAUTIONS A PRENDRE CONTRE LES ACCIDENTS

Le danger le plus à craindre en cours de limage est incontestablement le « **démanchage** » pouvant provoquer des accidents graves. Aussi c'est avec beaucoup de soin et d'attention qu'une lime doit être enfoncee dans son manche. Prévoir à cet effet quelques **stries transversales** sur la soie, ainsi qu'un **avant-trou** parfaitement centré dans le manche. Ne pas abuser de l'emmanchement à chaud, le réserver pour les limes de forte dimension.

Un léger coup frappé avec le manche sur l'établi pour chaque lime utilisée est une précaution facile à prendre.

Ne jamais utiliser de lime sans manche.



4. LES OUTILS DE CHOC

**Les burins, les bédanes,
les gouges, les grains d'orge et les débouchoirs**

Burins et bédanes

DÉFINITION

Les **burins** et **bédanes** sont des outils d'ajusteur servant au dégrossissage, à l'ébarbage ou au rainurage des pièces mécaniques. Leur travail, par chocs successifs, nécessite, pour la tenue des pièces, l'utilisation d'étaux à pied plus rigides et plus résistants que les étaux parallèles.

BURIN ET BÉDANE

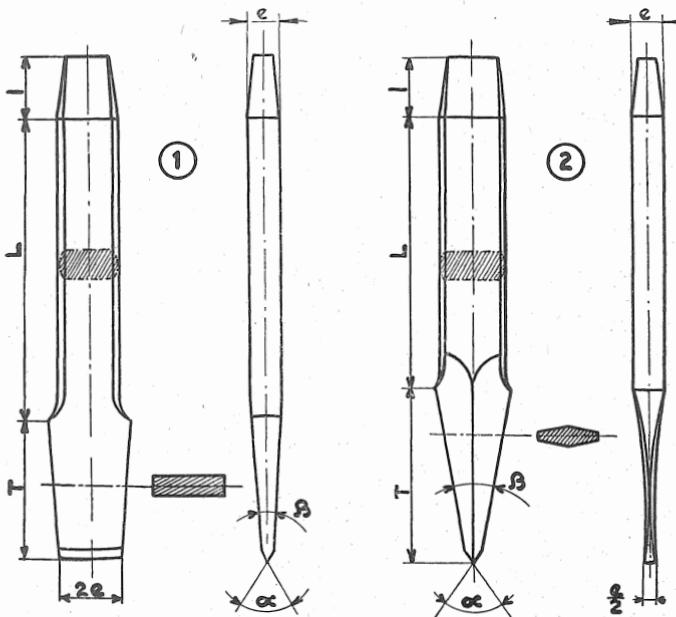


Fig. 70

1. Burin. α Angle de pointe ou d'affûtage.
2. Bédane. β Angle de forme.

Les burins et les bédanes sont forgés dans de la barre étirée d'acier fondu, à champs ronds, ayant comme section 24×14 ou 22×11 . Trempés et revenus, ils travaillent au choc. Chaque

outil a une utilisation bien particulière : le **burin** pour le dégrossissage et l'ébarbage, le **bédane** pour l'exécution de rainures de faible largeur (fig. 70).

DIMENSIONS

Ils sont composés de trois parties (les cotes sont données en fonction de l'**épaisseur** du profilé « e »).

Leur **longueur** courante varie de 160 à 200 mm et est décomposée comme suit :

- 1^o La **tête** (2 e);
- 2^o Le **corps** (burin 7 à 8 e, bédane 8 à 9 e);
- 3^o Le **taillant** (burin 3,5 à 4 e, bédane 4 à 5 e).

La **largeur** est toujours de 2 e.

Pour le burin, la plus grande largeur du taillant est 2,25 e, la plus faible 2 e.

Pour le bédane, la plus grande est 2,5 e.

L'**angle d'affûtage** de ces outils, ou **angle de pointe**, doit avoir :

- | | |
|--|-----|
| Pour la fonte et l' acier | 80° |
| Pour le bronze et la fonte grise | 70° |
| Pour le fer et l' acier doux | 60° |

Dans tous les cas, les arêtes coupantes du burin et du bédane doivent être **curvilignes**.

TREMPE ET REVENU

Les **burins** et **bédanes** doivent être trempés et **revenus à cœur**, l'appoint de chaleur nécessaire au revenu étant pris sur la partie de l'outil incomplètement refroidie.

Pratique de l'opération. — Chauffer l'outil jusqu'au rouge cerise, refroidir ensuite son extrémité sur une courte longueur par immersion dans l'eau ; après polissage rapide, observer le revenu provoqué par l'écoulement de la température emmagasinée à l'arrière.

Immerger à nouveau lorsque les couleurs suivantes apparaissent (1) :

Gorge de pigeon pour fonte et acier dur.

Violet pour fer et acier doux.

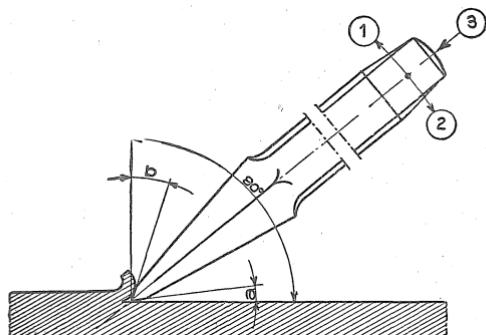
L'affûtage doit toujours avoir lieu à la **meule de grès**.

(1) Pendant les immersions déplacer l'outil latéralement afin d'éviter la **colléfaction**, phénomène qui a pour effet de ralentir le refroidissement par interposition de vapeur d'eau entre le liquide et l'outil.

MODE D'ACTION D'UN BURIN OU D'UN BÉDANE

La pénétration dans la matière de l'arête tranchante d'un burin ou d'un bédane est la conséquence des **chocs successifs** que reçoit l'outil de la part du marteau. Sa conduite, c'est-à-dire le **réglage de l'épaisseur du copeau**, résulte du pivotement de l'outil suivant les sens 1 et 2. Cette latitude de réglage est fonction de la valeur de l'angle α qui, quand il diminue, amorce le **dégagement**. L'augmentation de l'épaisseur du copeau, c'est-à-dire l'**engagement** de l'outil dans le sens 1, fait apparaître au contraire une diminution de l'angle de pente d'affûtage b au profit de l'angle de dépouille α . Pendant toute la période de travail, l'angle de pointe de l'outil α se situera toujours entre a et b , de telle sorte que $a + \alpha + b = 90^\circ$.

MODE D'ACTION D'UN BURIN OU D'UN BÉDANE



1. Pivotement assurant l'engagement.
2. Pivotement assurant le dégagement.
3. Sens d'application du choc du marteau.

Fig. 71

Gouges. — Grains d'orge. — Débouchoirs

GÉNÉRALITÉS

Les **gouges** et les **grains d'orge** ont les formes particulières des burins et bédanes. En effet, ils ne se différencient des outils précédents que par la forme **arrondie** de leurs arêtes tranchantes. Quant à leur allure extérieure, elle est très voisine des deux outils de choc classiques avec peut-être des galbes plus accentués.

Les **débouchoirs**, liés eux aussi à l'utilisation du marteau, ont un rôle totalement différent à jouer en ajustage. Ils n'ont pas été créés pour détacher des copeaux, mais seulement pour rompre des cloisons préalablement ébauchées avec un outil de perçage.

GOUGES

Les **gouges**, tout comme les burins, sont forgées dans des barres d'acier fondu ; leur traitement thermique est identique à celui de tous les outils de choc, c'est-à-dire **trempe et revenu à cœur**. Leur affûtage particulier fait apparaître une **arête de coupe curviligne** produisant toujours des surfaces travaillées concaves :

- a) Dégagement d'embrèvements intérieurs arrondis où le burin et le bédane ne seraient d'aucune utilité.
- b) Rattrapage d'un trou ayant glissé au perçage (« coulage »).
- c) Exécution de rainures de graissage (pattes d'araignée) sur des glissières de machines-outils, coussinets, bielles, etc.

AUTRES TYPES D'OUTILS DE CHOC

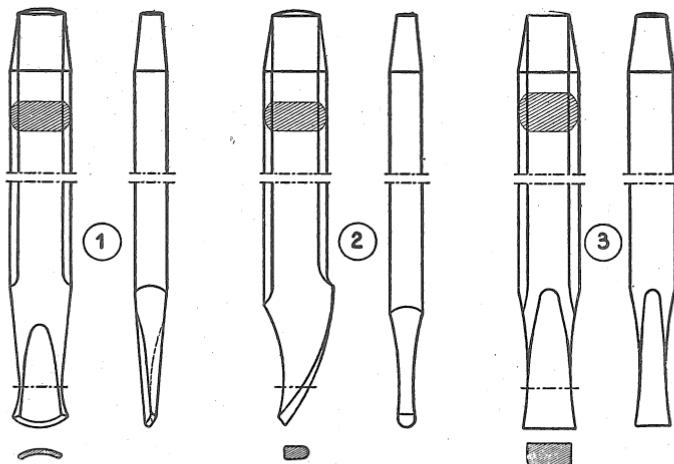


Fig. 72

1. Gouge. — 2. Grain d'orge. — 3. Débouchoir.

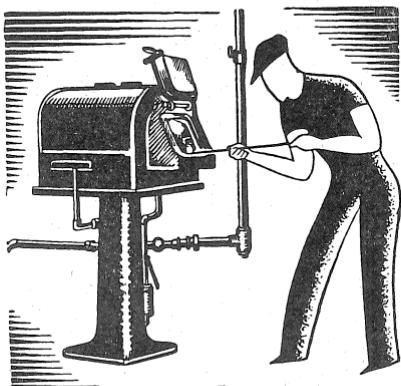
GRAINS D'ORGE

Les **grains d'orge** sont exécutés avec le même métal et subissent le même traitement thermique que les gouges. Leurs arêtes tranchantes courbes sont d'un rayon bien inférieur à celui de ces dernières, aussi leur utilisation est-elle plus spécialement réservée à la réalisation de **rainures de graissage de petites sections** et au **recenrage de trous « coulés » de faible diamètre**. La forme particulière de la partie travaillante du grain d'orge n'autorise que l'affûtage de la seule partie avant de l'outil.

DÉBOUCHOIRS

Les ajusteurs-outilleurs sont toujours conduits, pour la réalisation de matrices d'outils à découper, à en dégager d'une façon particulière les évidements intérieurs. Après avoir réalisé une série de trous plus ou moins parfaitement tangents, ils font appel au débouchoir pour rompre ce cloisonnement irrégulier. Par coups successifs, énergiquement mais correctement appliqués, la partie centrale inutile se détache sans avoir fait subir de détériorations aux parties avoisinantes.

Le débouchoir est un outil moins fragile que le burin ou le bédane, aussi son revenu à cœur peut-il être moins poussé, le **jaune foncé** suffira largement.



5. LES MARTEAUX

GÉNÉRALITÉS

Ce sont les outils auxiliaires de l'**ajusteur** et du **mécanicien de précision** utilisés pour communiquer à un outil de coupe ou de déformation (burin, bédane, grain d'orge, débouchoir, bouterolle à rivets) l'énergie nécessaire à son travail.

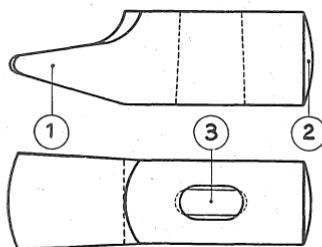
Le marteau est composé d'une masse d'acier de forme spéciale adaptée à l'extrémité d'un manche flexible. Comme tout corps en mouvement, cette masse possède une certaine énergie qui est fonction de son poids et de sa vitesse, énergie qu'elle restitue par choc sur l'outil au repos. La succession de ces chocs fait pénétrer l'outil de coupe dans le métal à trancher (burinage, bédanage) ou déforme un métal malléable (forgeage, emboutissage, rivetage).

DESCRIPTION

Tous les marteaux sont composés comme suit :

a) La **table** ou **tête**, plane ou bombée suivant les utilisations, est la partie frappante la plus utilisée ;

MARTEAU D'AJUSTEUR



MARTEAU RIVOIR

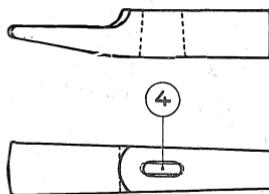


Fig. 73

1. Panne. — 2. Tête. — 3. œil. — 4. œil à forme rationnelle.

b) L'**œil**, généralement évasé à ses deux extrémités, sert à maintenir énergiquement le manche ;

c) La **panne**, qui est la partie effilée avant, est plus spécialement utilisée pour le rivetage.

Le marteau est en acier fondu trempé à l'huile, la panne et la tête peuvent subir un revenu jaune foncé (240°) et l'œil un revenu bleu (295°). Certains compagnons se contentent d'un durcissement superficiel sur un acier de cémentation.

Le **manche**, en frêne, cornouiller ou acacia, doit être parfaitement ajusté dans l'œil et y être maintenu solidement à l'aide d'un **coin** en acier de forme appropriée.

Emmanchement. — Il est à remarquer, sur la figure 73, la disposition particulière de l'œil aussi bien sur le marteau d'ajusteur que sur le marteau rivoir et dont nous ne saurions trop recommander la généralisation.

L'orifice d'immobilisation du manche est, en effet, évasé **longitudinalement** à la partie inférieure et **transversalement** à la partie supérieure. Cette forme astucieuse a pour effet, d'une part, de bloquer le manche verticalement par pénétration conique et, d'autre part, d'arrêter son retrait en période de travail par **écartellement transversal** du bois lors de la pénétration du coin ; certains compagnons recommandent, avec juste raison, l'inclinaison en diagonale de ce dernier.

CLASSIFICATION

En dehors du marteau d'ajusteur et du marteau rivoir (fig. 73)

LES MARTEAUX

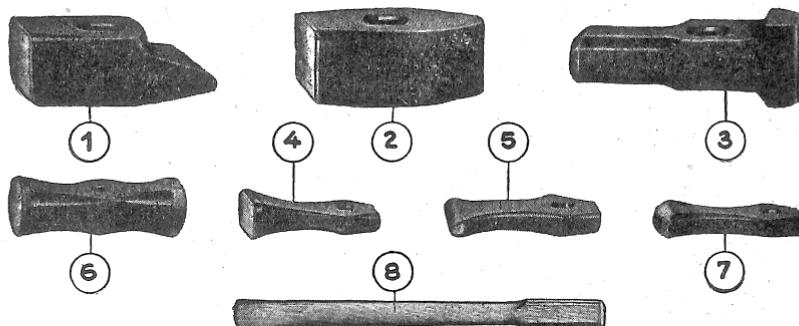


Fig. 74

1. Marteau ordinaire.
2. Marteau à devant.
3. Dégorgeoir.
4. Marteau à polir.
5. Marteau à restreindre.
6. Marteau à planer.
7. Marteau à emboutir.
8. Manche brut.

dont les poids sont relativement faibles (quelques centaines de grammes), on pourra observer dans les ateliers de forgeage :

- a) Le **marteau à frapper devant**, pesant de 5 à 12 kg et dont le manche mesure environ 1 mètre de longueur, communique une énergie mécanique importante aux outils de déformation suivants : dégorgeoirs, planes, chasses, etc.
- b) Les **marteaux ordinaires**, pesant de 1 à 2 kg, avec manches de 30 à 40 cm de longueur ;
- c) Les **marteaux à polir** ;
- d) Les **marteaux à planer**, dont les formes de la panne et de la table sont très variées.

Utilisés depuis la plus haute antiquité, les marteaux ont provoqué, chez les ingénieurs de notre époque, la conception de machines-outils à masse frappante importante basée sur le même principe (moutons, marteaux-pilons, etc.) et dont l'emploi s'est généralisé dans l'industrie moderne.



6. LES SCIRES

Débit de matières par sciage

DÉFINITION

Le débit de matières par sciage consiste à tronçonner, en une ou plusieurs parties, des barres de métaux différents et de formes diverses pour en permettre l'usinage.

SCIAGE A LA MAIN

Le dégagement à la scie à main d'embrèvements à l'intérieur des pièces de forme pour en faciliter l'exécution dans la masse s'appelle également débit de matières par sciage.

Scie à main (fig. 76). — La scie à main se compose :

- 1^o D'une **monture rigide**, qui peut être extensible ;
- 2^o D'une **soie** fixée dans le manche et retenant une des extrémités de la lame ;
- 3^o D'un **boulon tendeur** retenant l'autre extrémité de la scie et équipé d'un écrou à oreilles ;
- 4^o D'un **dispositif d'orientation** de la lame permettant d'effectuer le sciage dans un plan perpendiculaire à celui de la monture ;
- 5^o De la **scie** proprement dite.

Pratique de l'opération de sciage à main. — Exécuter le mouvement de va-et-vient d'autant plus lentement que le métal est plus dur. La pression exercée sur une lame de scie doit être appliquée sans exagération. Il est, en effet, préférable de scier lentement en appuyant modérément que de scier rapidement sous une trop faible pression, la durée de la scie en est sérieusement prolongée. Plusieurs remarques peuvent également être énoncées :

Eviter les mouvements brusques et saccadés.

Ne pas oublier que la scie a été payée sur toute sa longueur.

Ne pas appuyer pendant la course retour.

Cadence moyenne : 60 à 70 courses-travail par minute.

MÉTHODES IMPÉRATIVES D'UTILISATION DES SCIERS

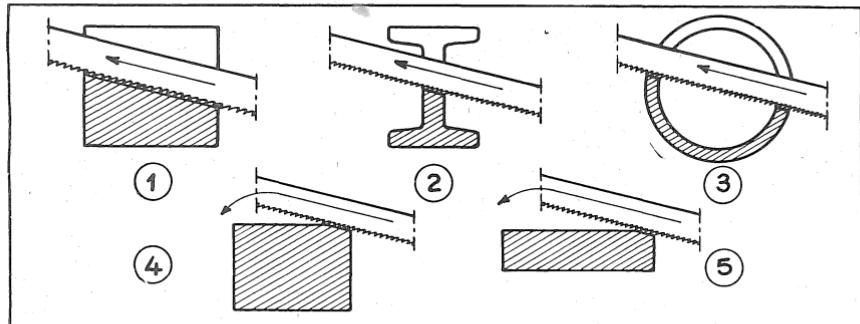


Fig. 75

1. Denture forte pour gros débit.
2. Sciage de parois (contact sur 3 à 4 dents).
3. Sciage de tubes (contact sur 3 à 4 dents).
- 4 et 5. Attaque d'une arête suivant un angle dont la valeur sera le plus faible possible.

Lames. — Dans le commerce nous trouvons généralement trois tailles différentes :

a) **Denture forte** : 5 à 6 dents au centimètre pour les métaux ferreux ayant une épaisseur minimum de 20 mm et spécialement les métaux tendres non ferreux : aluminium, cuivre et bronze.

b) **Denture moyenne** : 6 à 8 dents au centimètre pour métaux ferreux doux et mi-durs ayant une épaisseur plus faible (utilisation courante) ;

c) **Denture fine** : 10 dents au centimètre pour sciage de métaux ferreux durs et de tôles, tubes ou profilés (tubes minces, tôles fines).

d) **Denture très fine** : 12 dents au centimètre pour tôles et tubes minces.

Ces dentures s'expriment parfois en nombre de dents par **pouce anglais** (25,4 mm), généralement 4, 6, 10, 14, 18, 22, 32 dents par pouce.

Une lame de scie est définie par quatre données : sa **denture**, exprimée en valeur française ou anglaise ; sa **longueur**, mesurée entre les axes des trous extrêmes ; sa **largeur** et son **épaisseur**.

Exemple : $6 \times 300 \times 25 \times 1,50$ indique une lame de 6 dents par centimètre, de longueur 300 mm, de largeur 25 mm et d'épaisseur 1,5 mm.

On appelle **voie** d'une scie la liberté de manœuvre donnée par une légère torsion transversale de la denture pratiquée alternativement sur une ou plusieurs dents à droite et à gauche. Son rôle

LES SCIERS

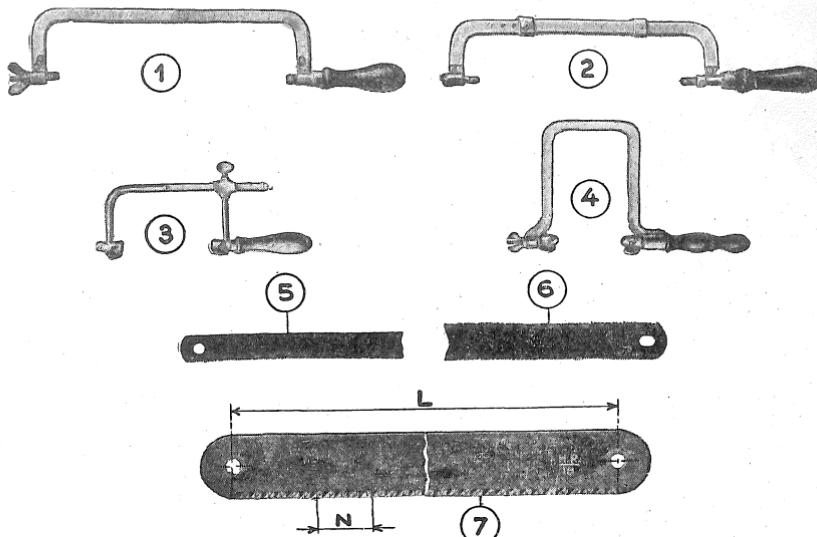


Fig. 76

- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. Monture de scie ordinaire. | 6. Scie à main à deux dentures. |
| 2. Monture de scie extensible. | 7. Scie à métaux pour machines (18% de W.) |
| 3. Porte-scie léger « Bocfil ». | L. Longueur utile. |
| 4. Porte-scie à repercer. | N. Nombre de dents par centimètre ou par pouce anglais. |
| 5. Scie à main à une denture. | |

est de permettre le **guidage** de la lame et d'en éviter le coincement. Cette voie peut également être obtenue par **ondulation** de la denture. Les ouvriers en instruments de précision se servent encore d'une lame de scie dénommée : **scie stubs**, et ne possédant pas de voie. Celle-ci permet, par un guidage judicieux, l'exécution de longs traits de scie, sans déviation.

SCIAGE A LA MACHINE

Dans les ateliers où l'on a besoin d'un grand débit de pièces prises dans des étirages ou profilés, on a tout intérêt à utiliser des machines à scier à moteur, diminuant ainsi, dans de larges proportions, le prix de revient du travail exécuté.

Les machines à scier mécaniques sont :

- **Alternatives,**
- **Circulaires,**
- **A ruban.**

MACHINES A SCIER ALTERNATIVES

Les machines à scier alternatives modernes se composent :

- 1^o D'un **bâti** en fonte spéciale ;
- 2^o D'un **dispositif mécanique** composé d'une **poulie** entraînant un **plateau-manivelle** et actionnant, par l'intermédiaire d'une bieille, le porte-scie ou **archet** ;
- 3^o D'un **levier coudé**, mobile à son extrémité et servant de guide au porte-scie ;
- 4^o D'un **étau de serrage** des pièces par vis centrale ;
- 5^o D'un **dispositif d'embrayage automatique** permettant la mise en route du mouvement alternatif au moment où la scie est en position de travail et la remontée avec **déclenchement automatique** en fin de course ;
- 6^o D'une **pompe d'arrosage** servant au refroidissement de la pièce et de la scie en mouvement.

Cadence de la machine : 110 courses-travail par minute.

MACHINE A SCIER ALTERNATIVE

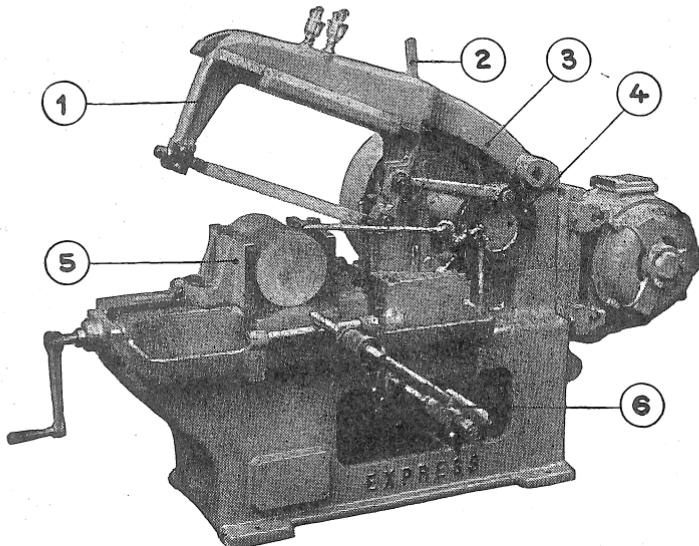


Fig. 77

1. Archet.
2. Levier de mise en marche.
3. Support d'archet à commande hydraulique pour soulèvement, repos, abaissement et sciage au retour.
4. Plateau manivelle moteur.
5. Etau à serrage par vis centrale.
6. Butée de longueur de coupe.

MACHINES A SCIER CIRCULAIRES

Ce genre de machine-outil, réservé autrefois pour le travail du bois, a été rapidement adopté pour le tronçonnage des métaux grâce à l'emploi de scies circulaires spéciales en acier à coupe rapide.

MACHINE A SCIER CIRCULAIRE

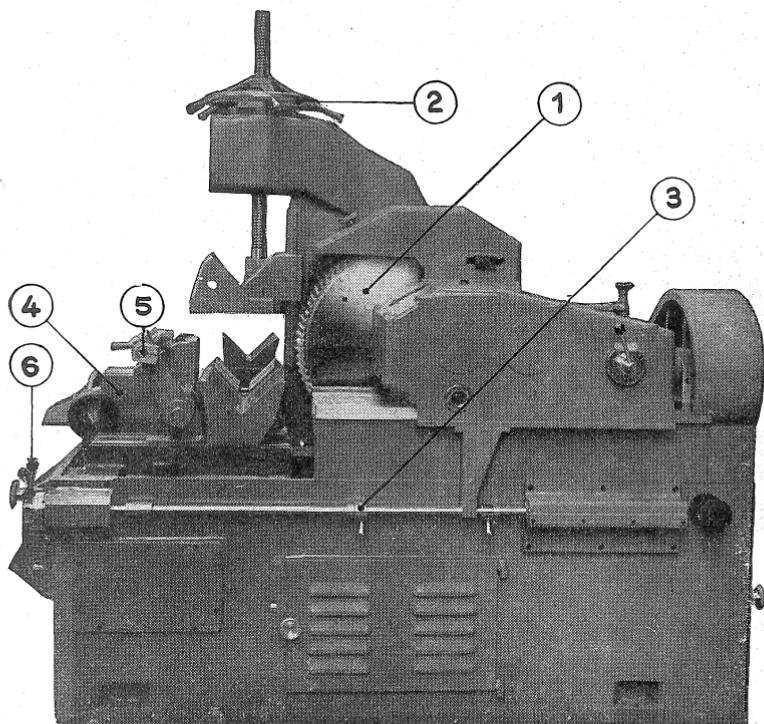


Fig. 78

- | | |
|------------------------------------|--|
| 1. Lame circulaire. | 4. Etau horizontal à commande hydraulique. |
| 2. Dispositif d'approche manuelle. | 5. Butée des longueurs de tronçonnage. |
| 3. Butée réglable de retour. | 6. Levier de commande générale. |

supérieur. Les derniers perfectionnements apportés à ces machines modernes sont les suivants :

- a) **Réglage de la vitesse** d'avance pour le tronçonnage des profilés ;
- b) **Coupe à effort constant** (variation automatique de l'avance suivant la résistance de coupe) ;

c) **Serrage énergique** de la pièce par pression hydraulique supérieure à la pression de coupe.

MACHINES A SCIER A RUBAN

Les machines à scier à ruban tendent de plus en plus à se généraliser en mécanique, grâce à leur grand débit. Ces machines ont une certaine ressemblance avec celles des menuisiers, mais l'outil, c'est-à-dire le ruban, est animé d'un mouvement plus lent correspondant à des vitesses de coupe en rapport avec les métaux travaillés.

Le **duralumin** peut être scié mécaniquement à des vitesses de coupe dépassant 1.000 mètres par minute.

MACHINE A SCIER A RUBAN

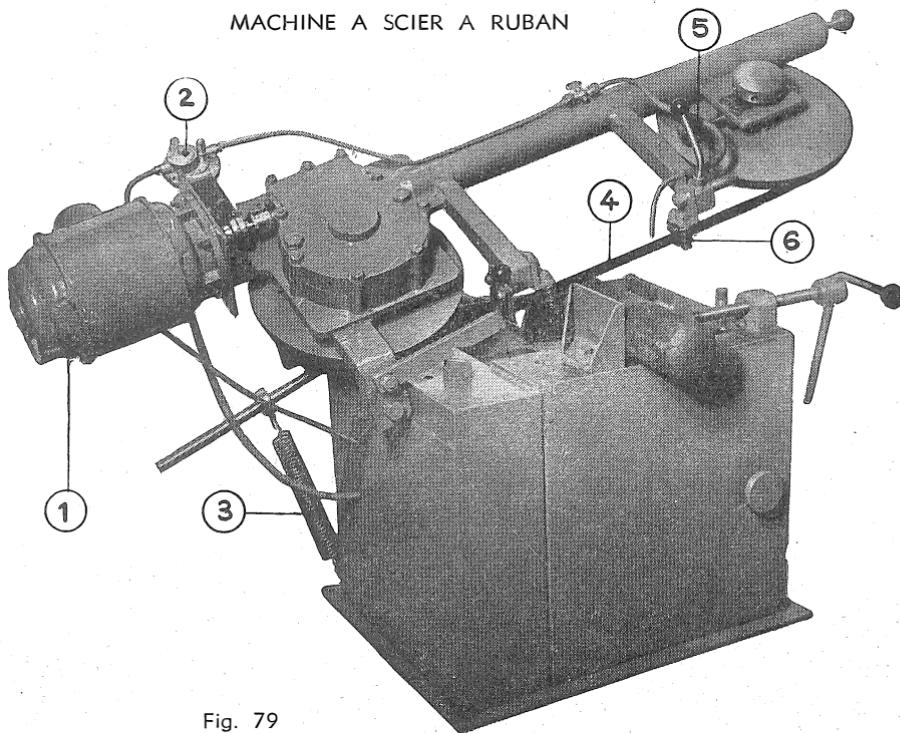


Fig. 79

1. Moteur électrique d'entraînement.
2. Pompe d'arrosage.
3. Dispositif compensateur de pression de la scie.
4. Scie à ruban.
5. Dispositif de tension de la lame.
6. Galets d'orientation de la scie.

7. LES OUTILS DE VÉRIFICATION ET DE MESURE

GÉNÉRALITÉS

Beaucoup d'habileté et de précision sont nécessaires pour pratiquer l'**Ajustage** et la **Petite mécanique de précision**, mais pour pouvoir apprécier la **qualité** du travail bien fait, le compagnon a besoin d'autres éléments que son seul jugement personnel, des **instruments de contrôle** lui sont nécessaires pour amplifier son propre doigté.

Nous les classerons en deux catégories : les **instruments de vérification** et les **instruments de mesure**.

1^o Instruments de vérification

Les instruments de vérification peuvent être classés suivant trois catégories :

a) **Outils de vérification de la planéité**, contrôlant les pièces par **comparaison** d'une arête et d'une surface en présence; ils affectent des formes diverses et possèdent des bases rectifiées.

Marbres, règle de dressage d'ajusteur, réglét de précisionniste, réglét d'outilleur, dés et vés de traçage ;

b) **Outils de vérification du parallélisme**, contrôlant les pièces **au touché** par léger frottement des becs de l'outil, en utilisant, pour les travaux extérieurs, le compas d'épaisseur simple et le compas d'épaisseur à secteur de blocage ; le compas d'intérieur à ressort ou le compas maître de danse, pour les travaux intérieurs ;

c) **Outils de vérification des angles**, qui sont généralement les **équerres**. Pour les surfaces faisant entre elles un angle de 90°, utilisation de l'équerre simple, de l'équerre à chapeau ou de l'équerre à té. Pour les surfaces formant entre elles un angle quelconque, utilisation de l'équerre d'angles à 45°, 60°, 12°; de la fausse équerre et de l'équerre à combinaisons.

2^o Instruments de mesure

Ainsi que leur nom l'indique, les instruments de mesure permettent le report des cotes ou la mensuration suivant différents degrés de précision. Certains comportent des dispositifs particuliers facilitant dans une large mesure la lecture de dimensions dont la précision peut atteindre le 1/100 et même, dans certaines conditions, le 1/1000 de millimètre.

Les instruments de mesure peuvent prendre les deux formes suivantes :

a) **Instruments à dimensions variables** énoncés par degré de précision : les mètres ou les « 50 » pliants, flexibles ou flexibles

OUTILS DE VÉRIFICATION ET DE MESURE

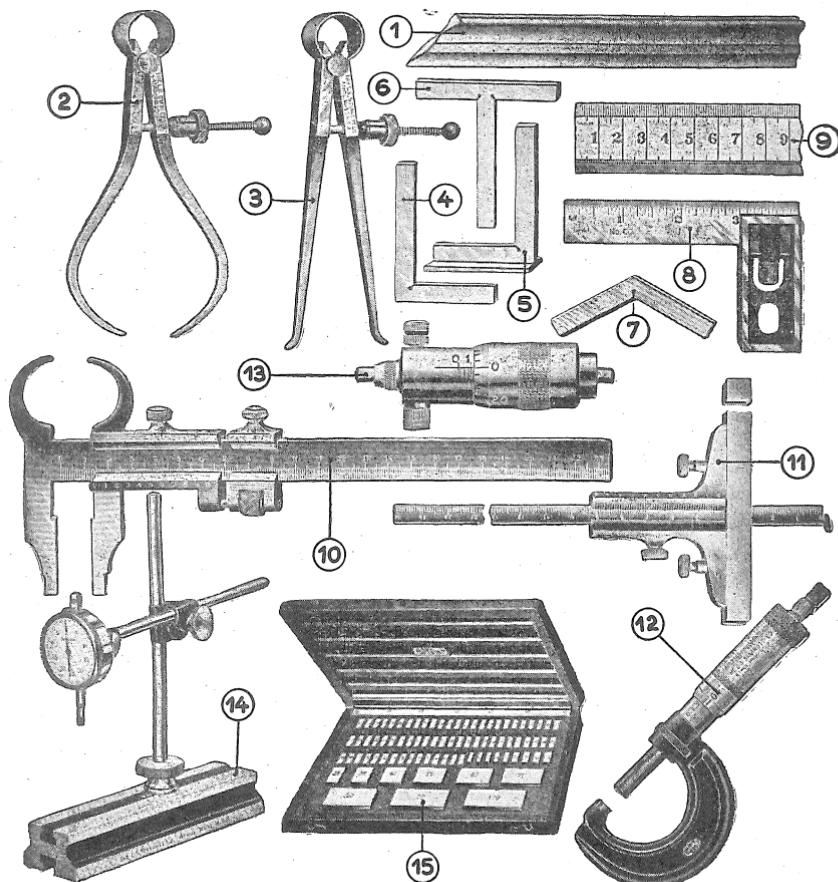


Fig. 80

1. Réglet d'outilleur.
2. Compas d'épaisseur.
3. Compas d'intérieur.
4. Equerre simple.
5. Equerre à chapeau.
6. Equerre à té.
7. Equerre d'angle (120°).
8. Equerre à lame réglable.
9. Règle divisée.
10. Pied à coulisse à anneau et vis de rappel.
11. Pied de profondeur à semelle coulissante.
12. Palmer au 1/100.
13. Jauge micrométrique extensible.
14. Comparateur.
15. Jeu de cales Johansson.

roulés ; les réglets gradués en millimètres et demi-millimètres ; les règles simples, à semelle fixe ou coulissante : les rapporteurs d'angles ; les jauge graduées d'alésages ; les compas gradués d'intérieur ; les calibres à lamelles d'épaisseur ; les calibres de contrôle des pas ; les pieds à coulisse au 1/20 et au 1/50 simples, à becs croisés, becs pointus, à anneau avec ou sans vis de rappel ; les pieds ou jauge de profondeur ; les palmers au 1/10, au 1/20 ou au 1/100 ordinaires, à larges touches, de profondeur ou d'intérieur ; les jauge extensibles simples ou à rallonges. Les comparateurs à cadran qui ne sont pas spécialement des instruments de mesure des dimensions, mais des appareils de haute précision sus-

COMPARATEUR

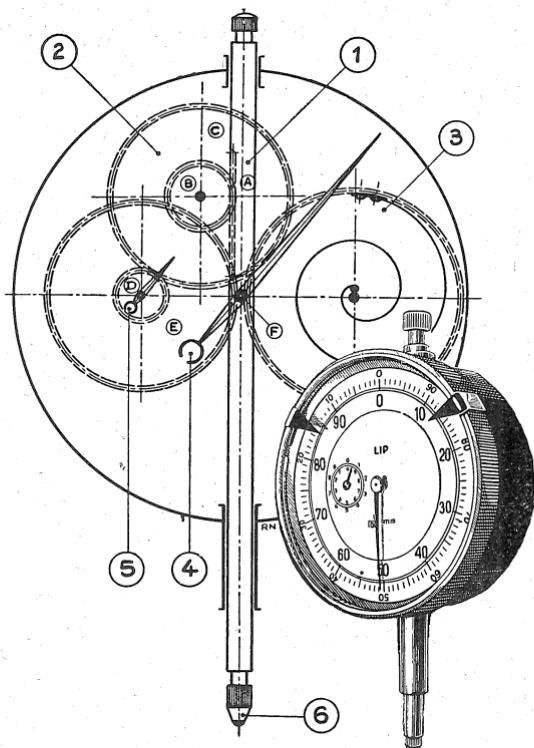


Fig. 81

- 1. Tige crémaillère.
- 2. Dispositif d'amplification de mesure.
- 3. Barillet porte-spirale de rappel de touche.
- 4. Aiguille indicatrice des 1/100 de mm.
- 5. Aiguille indicatrice des millimètres.
- 6. Palpeur.
- A.C.E. Crémallière et roues de commande.
- B.D.F. Roues commandées et axe d'aiguille.

rieur ; les calibres à lamelles d'épaisseur ; les calibres de contrôle des pas ; les pieds à coulisse au 1/20 et au 1/50 simples, à becs croisés, becs pointus, à anneau avec ou sans vis de rappel ; les pieds ou jauge de profondeur ; les palmers au 1/10, au 1/20 ou au 1/100 ordinaires, à larges touches, de profondeur ou d'intérieur ; les jauge extensibles simples ou à rallonges. Les comparateurs à cadran qui ne sont pas spécialement des instruments de mesure des dimensions, mais des appareils de haute précision sus-

ceptibles d'indiquer par comparaison des différences de niveau mécanique en centièmes et même en millièmes de millimètre (fig. 81).

La loupe est parfois d'un précieux secours lorsque la lecture à l'œil nu s'avère difficile.

MICROMÈTRE PNEUMATIQUE SOLEX

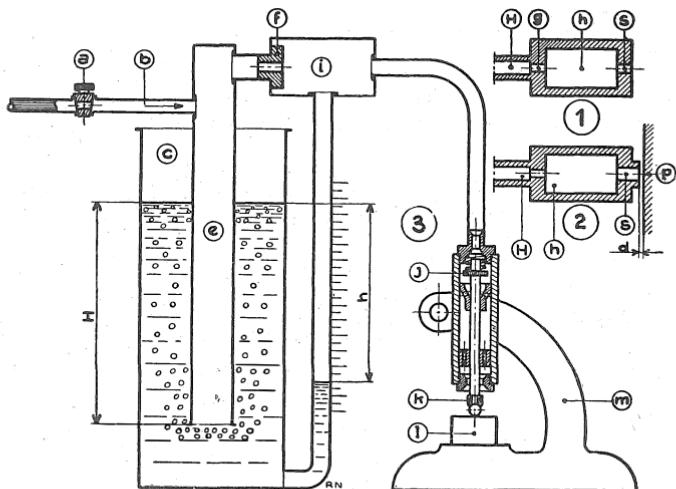


Fig. 82

1. Contrôle par étranglement (vérification d'un gicleur de carburateur).
2. Contrôle par laminage direct (orifice de sortie plus ou moins près de la paroi de la pièce).
3. Contrôle par laminage indirect (gicleur de sortie remplacé par un obturateur solidaire d'une tige reposant sur la pièce à mesurer).
a. Vanne d'admission de l'air comprimé. — b. Direction de l'air provenant de la pompe. — c. Réservoir à eau. — d. Distance entre gicleur de sortie et paroi de la pièce. — e. Tube maintenant une pression d'air constante. — f. Gicleur de tête. — g. Orifice du gicleur de tête. — H. Pression initiale d'arrivée. — h. Pression variable indicatrice de cote. — i. Chambre de pression. — j. Obturateur. — k. Palpeur. — l. Pièce à mesurer. — m. Corps de l'instrument de contrôle.

D'autres appareils infiniment plus précis, mais dont la manipulation est beaucoup plus délicate que ceux servant à l'atelier, sont en usage dans les laboratoires d'étude. Leur principe est basé soit sur une **amplification optique** (spot lumineux, interférences), soit sur la mesure d'un **matelas d'air** créé entre pièce et appareil pneumatique (**micromètre Solex**). Dans ce dernier cas, la méthode consiste à transformer directement ou indirectement les variations de cote d'une pièce en variations de débit d'air. Ces variations sont immédiatement lisibles sur un manomètre de lecture rectiligne (fig. 82).

b) **Instruments à dimensions fixes** utilisés à la vérification de pièces finies fabriquées en grande série et ayant des cotes bien déterminées, soit exactes, soit avec tolérances. La qualité exigée dans ce genre de fabrication est l'**interchangeabilité**. Le contrôle de cette interchangeabilité fait appel à des instruments, étalonnés à une température constante de 20° qui sont les suivants :

Le fer à cheval simple ou double ; le fer à cheval en une seule pièce ; les bagues lisses ; les tampons lisses simples ou doubles ;

CALES JOHANNSON

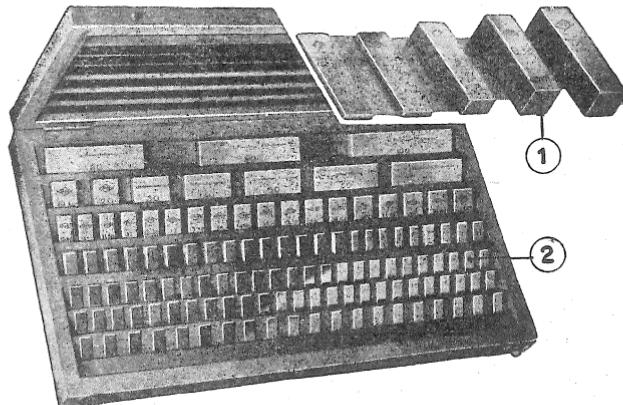


Fig. 83

1. Forme des cales.
2. Boîte à échantillonnage particulier.

les jauge plates simples ou doubles, tous ces outils de vérification sont exécutés conformément au **Système à limites international**, I.S.A. Pour la vérification des filetages, on utilise les bagues filetées et les tampons filetés et, pour les formes quelconques, on emploie les vérificateurs d'emmanchements coniques (Morse, Brown et Sharpe, etc.) ; les bagues et tampons cannelés ; les bagues et tampons coniques à clavette (1).

Les **cales Johannson**, ou cales étalons à faces parallèles, sont à la base de toute fabrication de haute précision.

Cette courte énumération nous permettra de constater que, dans certaines branches de la mécanique, la précision n'est pas un vain mot.

(1) Pour plus de détails concernant les vérificateurs, se reporter au « Système à limites des Ajustements I.S.A. », page 376.

8. LES VERNIERS

DÉFINITION ET HISTORIQUE

Le **vernier** est un instrument qui, grâce à une **division auxiliaire** placée en regard d'une division normale (millimètres, degrés ou grades), permet, par comparaison, une mesure dont la précision est bien supérieure à la lecture directe.

La découverte de ce procédé de vérification est due à Pierre VERNIER, géomètre français né et mort à ORNANS (Doubs) (1580-1637), qui en fit la description dans un ouvrage de mathématiques publié vers 1631.

CLASSIFICATION

Les **verniers** peuvent être classés en trois catégories :

- 1^o Les **verniers rectilignes** ;
- 2^o Les **verniers circulaires** ;
- 3^o Les **verniers angulaires** ;

1^o VERNIERS RECTILIGNES

Pied à coulisse

Le **pied à coulisse**, qui est l'application classique du **vernier rectiligne**, est certainement l'outil de vérification le plus utilisé par l'ajusteur et le précisionniste. Il sert à évaluer avec précision des mesures pouvant être inférieures au millimètre et avec des approximations de 1/10, 1/20 et 1/50 de millimètre.

THÉORIE DU VERNIER RECTILIGNE. — Pour exécuter un vernier, on divise, sur la partie coulissante, une longueur déterminée de la règle en un plus grand nombre de parties égales. Pour le **vernier au 1/10 de mm**, on divise une longueur de 9 mm en dix parties égales, chaque division vaut donc **9/10 de mm**. En fermant le pied à coulisse, le deuxième trait du vernier est alors en retrait du deuxième trait de la règle de **1/10 de mm**. Si l'on fait correspondre ces deux traits, on dispose entre les becs de l'outil d'un intervalle de **1/10 de mm**. Il suffit donc, pour faire

une lecture, de compter d'abord le **nombre de millimètres** donnés par le 0 du vernier et de regarder sur celui-ci le **premier trait correspondant à un trait de la règle**. Le nombre d'intervalles

PIEDS A COULISSE

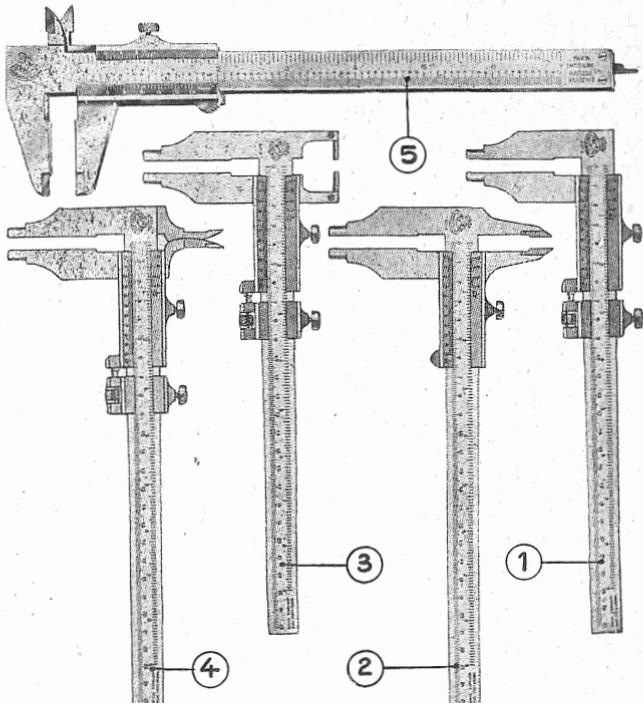


Fig. 84

1. Pied à coulisse simple à vis de rappel.
2. Pied à coulisse à pointes.
3. Pied à coulisse à touches.
4. Pied à coulisse à becs d'intérieur.
5. Pied à coulisse universel.

disponibles à partir de 0 jusqu'au trait correspondant indiqueront au-delà des millimètres le nombre de $1/10$ supplémentaires (fig. 85).

La même opération peut être faite avec un vernier au $1/20$, **19 millimètres** de la règle sont divisés en vingt parties égales. Chaque division vaut **$19/20$ de millimètre** et est en retrait de **$1/20$ de mm** sur 1 mm de la règle.

Pour le vernier au 1/50, 49 millimètres de la règle sont divisés en cinquante parties égales, chaque division a comme valeur 49/50 de millimètre et est en retrait de 1/50 de mm sur 1 mm de la règle.

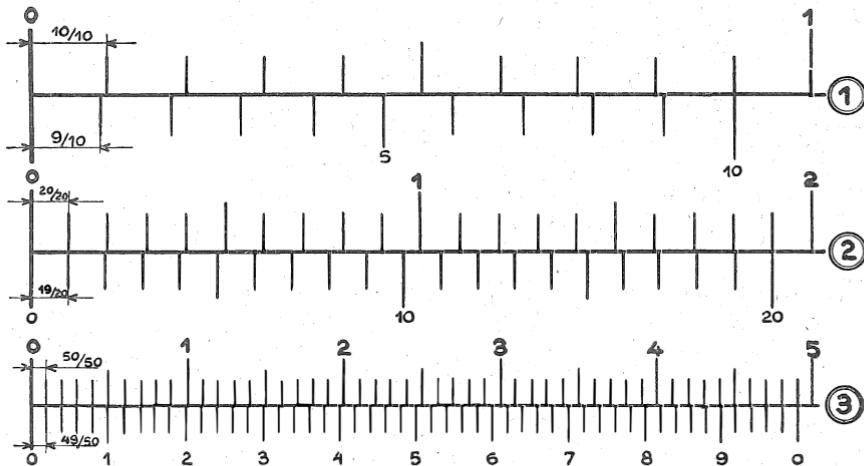


Fig. 85

1. Vernier au 1/10.
2. Vernier au 1/20.
3. Vernier au 1/50.

Précautions d'emploi des pieds à coulisse

Il faut une certaine sensibilité manuelle pour faire une lecture au pied à coulisse. **Ne pas serrer les becs exagérément**, surtout à leur extrémité. Exercer toujours la même pression pour avoir des lectures comparables entre elles.

Ne pas s'en servir sur le tour en marche.

Classification des pieds à coulisse

Se reporter à la figure 84

2^e VERNIERS CIRCULAIRES

Palmer

Le **vernier circulaire** est basé sur le déplacement axial d'une vis micrométrique. Son principe est utilisé sur le **palmer**, qui fut inventé et breveté à Paris, le 7 septembre 1848, par un mécanicien français, Jean-Louis PALMER, sous le nom de « calibre système Palmer ».

THÉORIE DU VERNIER CIRCULAIRE. — La vis de mesure est en général au pas de **0,5 millimètre**, évitant ainsi, par comparaison avec le pas de 1 millimètre, une division trop fine du vernier. Le bariillet solidaire de cette vis étant **gradué en cinquante parties**

PALMER AU 1/100

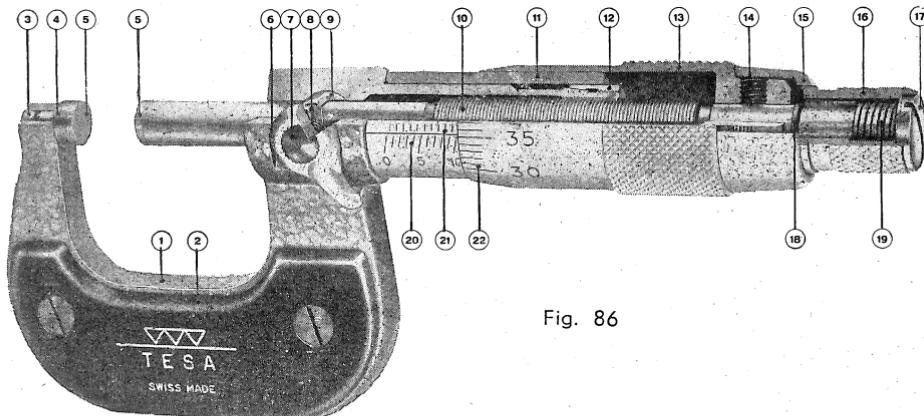


Fig. 86

- | | |
|----------------------------|---------------------------------------|
| 1. Corps. | 12. Ecrou de réglage. |
| 2. Plaquette isolante. | 13. Tambour divisé. |
| 3. Bouchon obturateur. | 14. Vis de réglage. |
| 4. Touche fixe. | 15. Couvercle. |
| 5. Pastilles en métal dur. | 16. Douille du dispositif à friction. |
| 6. Levier de blocage. | 17. Vis du dispositif à friction. |
| 7. Vis de blocage. | 18. Circlips. |
| 8. Lame de ressort. | 19. Ressort de friction. |
| 9. Douille de blocage. | 20. Division des mm. |
| 10. Vis micrométrique. | 21. Division des 0,5 mm. |
| 11. Douille divisée. | 22. Division des 0,01 mm. |

LECTURES SUR PALMER A VIS DE 0,5 mm AU 1/100

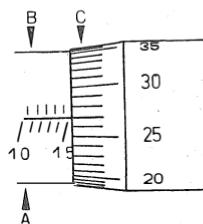
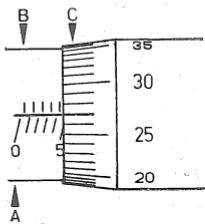


Fig. 87

- | | |
|------------------------------------|------------------------------------|
| A = Division des mm : 4 mm | A = Division des mm : 15 mm |
| B = Division des 0,5 mm : 0,5 mm | B = Division des 0,5 mm : 0,00 mm |
| C = Division des 0,01 mm : 0,27 mm | C = Division des 0,01 mm : 0,27 mm |

Résultat de mesure **4,77 mm**

Résultat de mesure **15,27 mm**

égales permet de diviser le pas de la vis micrométrique en autant de 0,5 mm divisions et d'apprécier alors $\frac{1}{50}$ = **1/100 de millimètre.**

Une précaution importante est à prendre pour cette lecture, c'est de regarder avec attention si le bord du barilet est en regard des millimètres ou des demi-millimètres (fig. 87).

Classification des palmers

Les palmers peuvent être classés suivant onze types différents :

1^o Palmers au 1/20 ou au 1/50 avec barilet en laiton, utilisés par les chaudronniers pour la mensuration des métaux en feuilles ;

PALMER AU 1/1.000

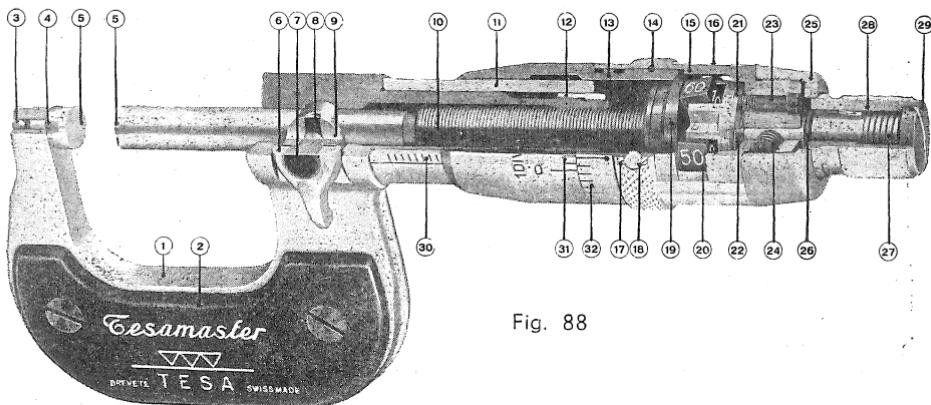
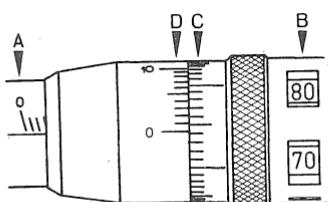


Fig. 88

- | | | |
|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Corps. | 12. Ecrou de réglage. | 23. Vis d'arrêt. |
| 2. Plaquette isolante. | 13. Douille vernier. | 24. Vis de réglage. |
| 3. Bouchon obturateur. | 14. Billes en acier. | 25. Couvercle. |
| 4. Touche fixe. | 15. Tambour divisé. | 26. Circlips. |
| 5. Pastilles en métal dur. | 16. Douille de protection. | 27. Ressort de friction. |
| 6. Levier de blocage. | 17. Vis de fixation. | 28. Douille du dispositif à friction. |
| 7. Vis de blocage. | 18. Couvercle. | 29. Vis du dispositif à friction. |
| 8. Lame de ressort. | 19. Came d'actionnement des cubes. | 30. Division des mm. |
| 9. Douille de blocage. | 20. Cube chiffré. | 31. Vernier au 0,001 mm. |
| 10. Vis micrométrique. | 21. Support des cubes. | 32. Division des 0,01 mm. |
| 11. Douille divisée. | 22. Ressort plat. | |



A = Division des mm : 2 mm

B = Division des 0,01 mm : 0,70 mm

C = Division des 0,01 mm : 0,04 mm

D = Vernier ou 0,001 mm : 0,003 mm

Résultat de mesure 2,743 mm

2^o **Palmers au 1/100** dont les parties constitutives sont en acier et dont la vis micrométrique est au pas de 0,5 mm ou 1 mm. Ils sont de dimensions croissantes et sont appelés 0-25, 25-50, 50-75, 75-100, etc., suivant la capacité de leurs touches ;

3^o **Palmers au 1/1.000** comportant sur le canon un **vernier au 1/10** permettant d'apprécier par une particularité de fenêtre la lecture directe avec vis micrométrique de 0,5 mm (Tesamaster).

4^o **Palmers à larges touches** pour contrôle des matières compressibles (papier, carton, cuir, etc.) ;

5^o **Palmers à filetages** pour vérification des vis micrométriques ;

6^o **Palmers ou micromètres de profondeur**, utilisés à la vérification précise des évidements ou des mortaises (appréciation 1/100) ;

PALMER D'INTÉRIEUR

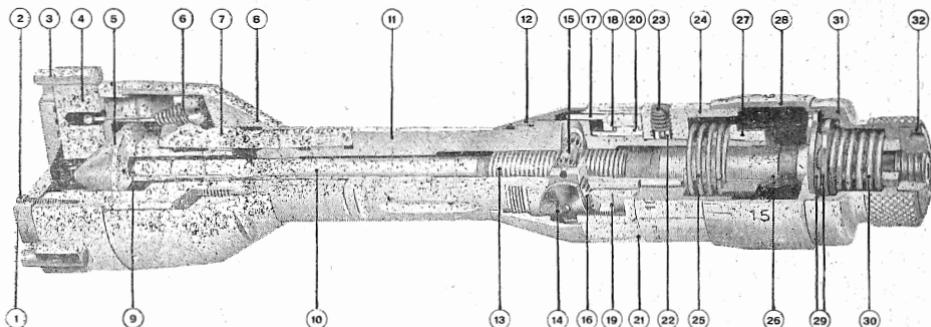
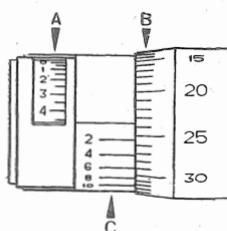


Fig. 89

- | | | |
|--|-------------------------------|------------------------------------|
| 1. Couvercle. | 11. Poignée. | 23. Vis de réglage. |
| 2. Vis de fixation. | 12. Capuchon. | 24. Douille vernier
(0,002 mm). |
| 3. Goupille de mesure
en métal dur. | 13. Vis sans fin. | 25. Ressort. |
| 4. Touche de mesure. | 14. Couvercle. | 26. Vis micrométrique. |
| 5. Cône de mesure en
métal dur. | 15. Pignon double. | 27. Ecrou de réglage. |
| 6. Ressort de rappel. | 16. Roue dentée. | 28. Tambour divisé
(0,01 mm). |
| 7. Tête de mesure. | 17. Douille divisée (0,5 mm). | 29. Cliquets. |
| 8. Capuchon. | 18. Anneau fileté. | 30. Ressort du rochet. |
| 9. Butée en métal dur. | 19. Ressort de friction. | 31. Douille du rochet. |
| 10. Tourillon. | 20. Bague dentée. | 32. Ecrou. |
| | 21. Douille de protection. | |
| | 22. Segment de blocage. | |



Diamètre de la tête de mesure

p. ex. 30 mm

A = Division des 0,5 mm : 4,5 mm

B = Division des 0,01 mm : 0,23 mm

C = Vernier au 0,002 mm : 0,006 mm

Résultat de mesure 34,736 mm

7° **Palmers à grande capacité avec rallonges ou enclumes amovibles jusqu'à 600 mm ;**

8° **Palmers à tubes possédant une contretouche à extrémité sphérique ;**

9° **Palmers d'intérieur, destinés à la mensuration d'alésages ou de toutes formes évidées ;**

10° **Palmers spéciaux pour dents d'engrenages ;**

11° **Palmers spéciaux pour le contrôle d'outils à nombre impair de dents (outilmètre).**

3° VERNIERS ANGULAIRES

Rapporteurs d'angles et instruments de précision

Les verniers utilisés pour le **contrôle précis des angles** ont pour but de décomposer le **degré** en parties égales. Ceux-ci se divisent en deux classes distinctes : les verniers « **Brown et Sharpe** », utilisés en mécanique sur les **rapporteurs d'angles**, et les verniers d'**instruments de précision**.

RAPPORTEUR D'ANGLE UNIVERSEL

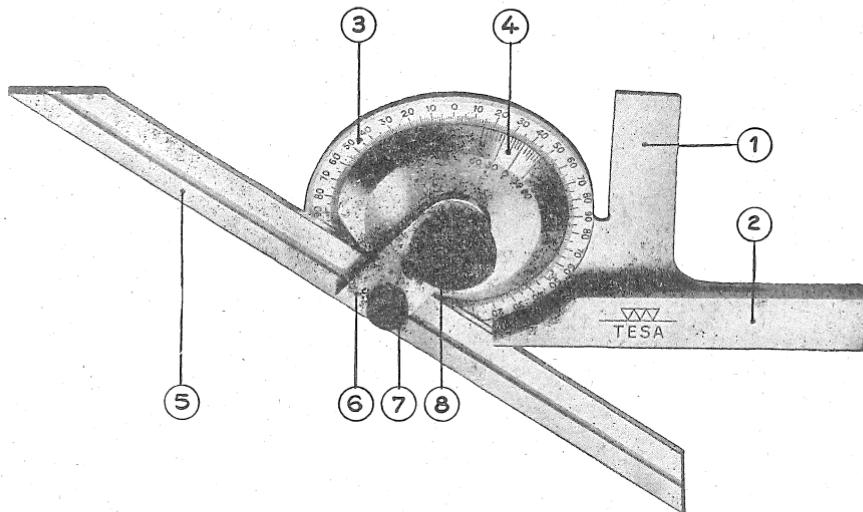


Fig. 90

1. Corps.
2. Plaque de garde.
3. Division angulaire en degrés.
4. Vernier « Brown et Sharpe ».
5. Règle orientable.
6. Traverse.
7. Bouton de fixation de la règle.
8. Bouton de pivotement central.

a) Vernier « Brown et Sharpe » de rapporteur d'angles

Sa particularité est de décomposer **23 degrés** de la règle angulaire en **12 parties égales**.

Nous allons démontrer que son approximation est de 5 minutes.

Posons d'abord : $23^\circ = 1.380$ minutes.

Chaque division du vernier vaut $\frac{1380'}{12} = 115$ minutes.

Deux divisions du rapporteur valent d'autre part :

$$60' \times 2 = 120'$$

Chaque division du vernier est donc en retrait de $5'$ sur la valeur de deux divisions de la règle.

Pour sa construction, on aura soin de diviser le vernier de 5 en 5 minutes jusqu'à la dernière division ($60'$) qui correspondra à 23° (fig. 91).

b) Vernier d'instruments de précision

Les **limbes circulaires** d'instruments de précision possèdent des verniers particuliers très précis utilisés en géodésie dont l'approximation est de **1 minute**, ils sont constitués comme suit :

Règle circulaire de 360° divisée en **demi-degrés** formant **720 divisions**.

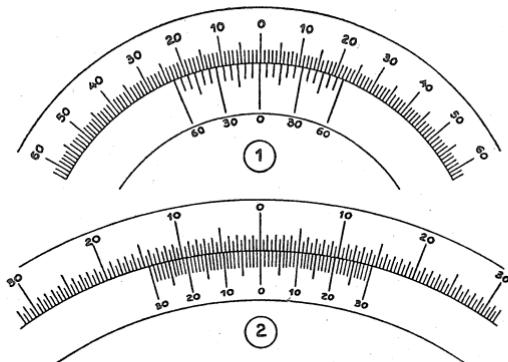


Fig. 91

VERNIERS ANGULAIRES

1. Vernier ayant une approximation de 5 minutes.
2. Vernier ayant une approximation de 1 minute.

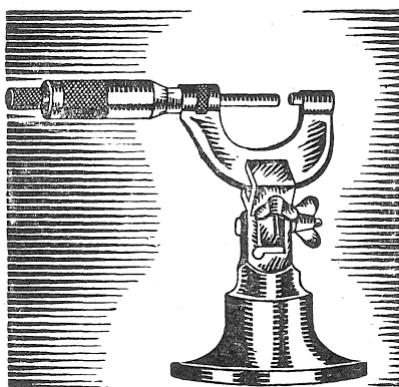
Vernier englobant $14^{\circ} 30'$ divisés en 30 parties égales.

$14^{\circ} 30' = 870'$. Chaque division du vernier vaudra $\frac{870'}{30} = 29'$

et sera donc en retrait sur un demi-degré de la règle de $30' - 29' = 1 \text{ minute.}$

Un autre vernier basé sur le principe des verniers rectilignes peut donner la même approximation (1 minute).

Il suffira de diviser 59° en 60 parties égales, chaque division vaudra $59/60$ de degré et sera en retrait de 1 minute sur un degré de la règle angulaire.



9. LES OUTILS DE PERÇAGE

GÉNÉRALITÉS

Les **forets** et les **mèches** sont des outils de perçage dont le rôle est de produire des trous circulaires dans des pièces susceptibles d'être assemblées par rivets, vis ou boulons.

Les outils de perçage sont toujours animés de deux mouvements différents :

- a) **Mouvement de rotation** autour de leur axe ;
- b) **Mouvement de pénétration** parallèlement à cet axe ;

La combinaison de ces deux mouvements provoque le découpage du métal et la formation d'un copeau. **L'avance** de l'outil correspond dans ce cas à l'épaisseur de ce copeau.

DESCRIPTION

Un foret est composé d'une **queue** (fixation sur la machine), du **corps** (partie médiane de l'outil) et d'une **tête** (partie travaillante).

CLASSIFICATION

Les différents types d'outils de perçage anciens et récents sont les suivants :

- 1^o Le **foret à langue d'aspic** ;
- 2^o Les **mèches pilotes** ou **mèches à téton** ;
- 3^o Les **forets hélicoïdaux** ou **mèches américaines** ;
- 4^o Les **mèches à lèvres rectilignes** (perçage du laiton) ;
- 5^o Les **mèches demi rondes** ou **mèches à canon** ;
- 6^o Les **mèches-alésoirs** à trois lèvres ;
- 7^o Les **forets à centrer** ;
- 8^o Les **lames à « chambrer »** ou à « **détourer** ».

1^o **Foret à langue d'aspic.** — C'est l'ancêtre des outils de perçage; sa tête, que composent les lèvres, a un angle de pointe compris entre 90 et 120°. Ses deux arêtes doivent avoir rigoureusement la même longueur. En effet, deux copeaux doivent se former en période de travail. **L'angle de dépouille** a sera toujours compris entre 4 et 6°. **L'angle de pente d'affûtage** variant de 0 à 30°.

Pour faciliter la pénétration des forets à langue d'aspic de gros diamètre, il est indispensable de « **moucher** » l'extrémité de la pointe.

OUTILS DE PERÇAGE

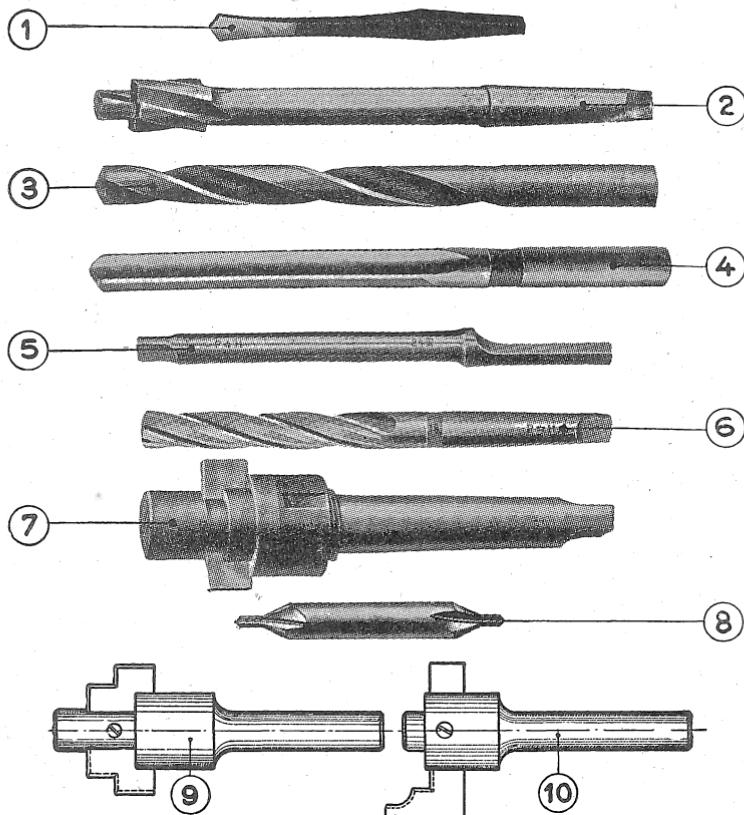


Fig. 92

- | | |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1. Foret à langue d'aspic. | 6. Mèche-alésoir à trois lèvres. |
| 2. Mèche pilote ou mèche à téton. | 7. Lame d'alésage. |
| 3. Foret hélicoïdal. | 8. Foret à centrer. |
| 4. Mèche à lèvres rectilignes. | 9. Lame à chambrer. |
| 5. Mèche demi-ronde ou mèche à canon. | 10. Lame à détourer. |

2° **Mèches pilotes ou mèches à téton.** — Les tétons de ces mèches peuvent être cylindriques ou à pointes, suivant que l'on utilise ou non un avant-trou. Leur rôle principal est d'agrandir un alésage sans glissement par rapport au trou initial. Les précautions à prendre pour leur exécution doivent tendre à l'obtention d'une concentricité parfaite.

3° **Les Forets hélicoïdaux ou mèches américaines** sont les plus couramment utilisés en perçage. Leur forme, leur débit, leur faci-

lité d'affûtage et la précision de leur fabrication les font justement rechercher.

Quand ils sont convenablement affûtés, ils permettent d'exécuter du travail parfait. Affûtés à fond plat, ils ont leur **utilisation en fraisage** proprement dit (fraise-couteau). L'affûtage avec un léger talonnage permet leur utilisation en **mèches à fraiser** (vis à tête conique).

4^o Les **mèches à lèvres rectilignes** ne sont plus aussi couramment employées pour le perçage du laiton (pente d'affûtage nulle). Elles sont semblables comme forme aux mèches américaines, mais leurs deux lèvres sont parallèles à l'axe du foret. Les forets hélicoïdaux peuvent les remplacer si l'on a soin d'**abattre la coupe** (suppression de l'angle de pente d'affûtage).

5^o Les **mèches demi-rondes** ou **mèches à canon** sont d'une très grande utilité pour l'exécution d'alésages **parfaitement centrés**.

Après avoir, sur le tour, alésé à l'outil une **partie cylindrique, guide du bout de la mèche**, on peut être assuré que l'alésage s'exécutera d'une façon parfaite, même si l'avant-trou initial est excentré.

Leur forme est en section celle d'un demi-cercle. La cote de l'alésage obtenu est précisément fonction du soin avec lequel le rayon de la mèche aura été respecté.

Les mèches à canon sont aussi utilisées pour l'exécution d'alésages de grande longueur sans aucune déviation (tubes de toutes les armes à feu). Leur appellation est issue de ce genre de fabrication.

6^o Les **mèches-alésoirs à trois lèvres** semblables aux mèches à canon, avec la même méthode d'utilisation (avant-trou et alésage préparés à l'avance), mais avec trois lèvres hélicoïdales au lieu de deux.

7^o Les **forets à centrer** sont utilisés pour établir aux extrémités de pièces devant être usinées au tour ou à la rectifieuse, des logements de pointes parfaitement conditionnés.

8^o Les **lames à « chambrer » ou à « détourer »** qui, montées sur un arbre, lui-même ajusté dans le trou initial, permettent d'exécuter des alésages et des congés de forme. Elles sont constituées par des plaques d'acier traité et ayant la forme exacte en creux ou en relief des parties à « détourer » ou à « chambrer ».

DÉTERMINATION DE L'ARÈTE COUPANTE

ANGLES COMPOSANT LA COUPE D'UN FORET AMÉRICAIN

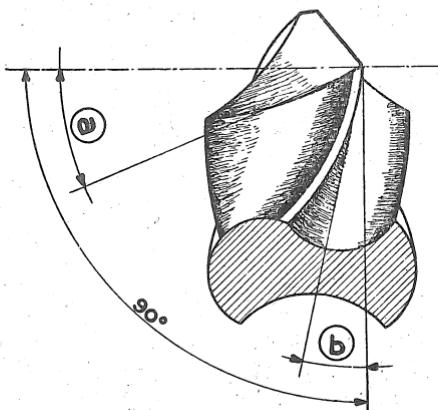


Fig. 93

La disposition des **faces constitutives de l'arête coupante** est déterminée par l'angle de pente d'affûtage **b** et l'angle de dépouille **a**, dont les côtés extérieurs sont, d'une part, l'axe du foret et, d'autre part, la surface de la pièce à percer.

L'**angle d'hélice**, qui est également l'angle **b**, est l'angle aigu formé par une tangente à l'hélice de taille avec l'axe du foret, il

AFFUTAGE D'UN FORET

Fig. 94

α et α' : Angles au sommet du cône de dépouille.

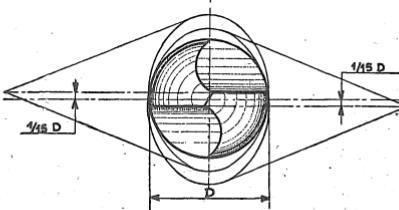
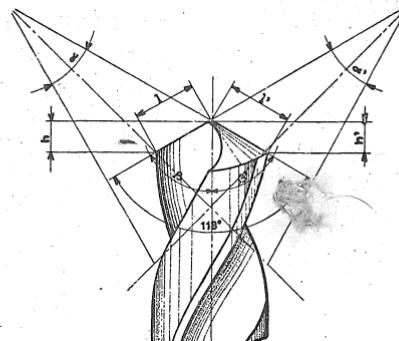
β et β' : Demi-angles de pointe.

h et h' : Hauteurs de l'arête de coupe.

l et l' : Longueurs des arêtes de coupe.

$$\left. \begin{array}{l} h = h' \\ l = l' \\ \beta = \beta' \end{array} \right\}$$

Affûtage correct



se situe entre 24° et 30° pour les métaux ferreux et 15° pour le cuivre et l'aluminium.

DIFFÉRENTES ORIENTATIONS DES FACES DE DÉPOUILLE

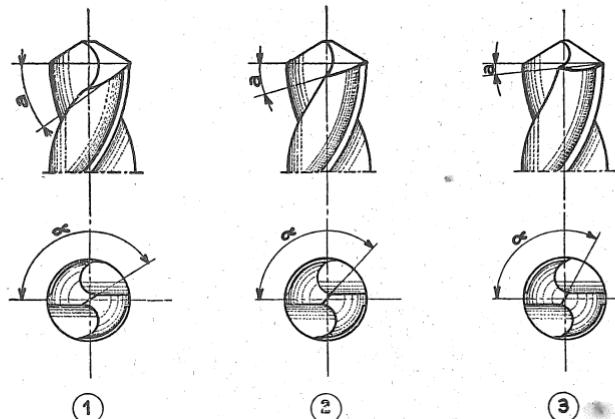


Fig. 95

a : Angle de dépouille de 8° à 12° dans les conditions courantes.

α : Orientation de l'arête de pointe.

1. Mauvais affûtage : angle de dépouille trop important ; risque d'engagement.
2. Bon affûtage, α voisin de 135° .
3. Mauvais affûtage : angle de dépouille trop faible ; risque de talonnage.

DÉFAUTS ET QUALITÉ DU PERÇAGE

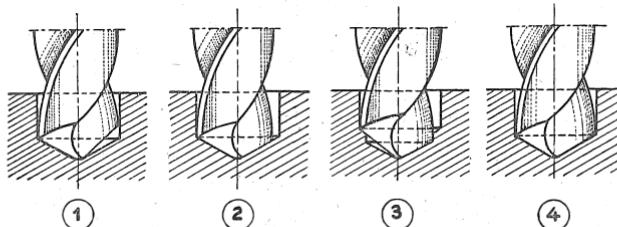


Fig. 96

1. Arêtes de coupe inégalement inclinées : usure exagérée de l'une d'elles ; trou ayant tendance à glisser.
2. Arêtes de coupe d'inégales longueurs : agrandissement du trou.
3. Arêtes de coupe inégalées et inégalement inclinées : diamètre du trou plus grand que celui du foret ; risque de glissement.
4. Arêtes de coupe égales et également inclinées : trou parfait au diamètre du foret.

Pour qu'un perçage soit conduit correctement, il est indispensable que :

- a) L'angle de pointe des forets américains soit voisin de **120°**;
- b) Les deux lèvres soient rigoureusement de même longueur, tout en restant également inclinées par rapport à l'axe de la mèche.

PERÇAGE DU LAITON

Le laiton, métal gras, est un cas particulier du perçage. En effet, si l'on donnait aux mèches servant à le percer l'angle de pente d'affûtage correspondant à sa dureté, la mèche engagerait et serait une source de danger. Aussi supprime-t-on purement et simplement cet angle. En utilisant une mèche américaine, on doit donc meuler légèrement l'avant de l'arête tranchante.

VITESSES DE COUPE ET AVANCES

Pour les forets en acier à coupe rapide, on peut appliquer les vitesses de coupe suivantes :

Acier à R = 30 à 50 kg/mm ²	24 à 30 mètres/minute
Acier à R = 50 à 70 kg/mm ²	18 à 24 mètres/minute
Acier à R = 70 à 90 kg/mm ²	12 à 18 mètres/minute
Acier moulé	8 à 16 mètres/minute
Fonte malléable	10 à 18 mètres/minute
Fonte	10 à 22 mètres/minute
Bronze	12 à 24 mètres/minute
Laiton	40 à 60 mètres/minute
Duralumin	50 à 70 mètres/minute

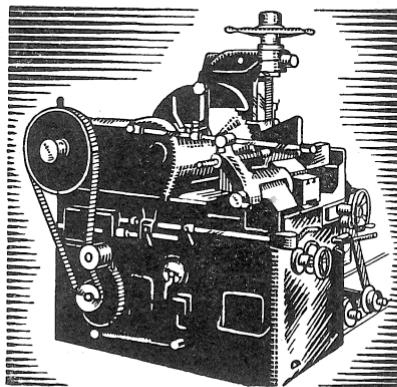
Tableau des avances pour forets en acier à coupe rapide

Diamètre des forets en mm	5 à 10	11 à 20
Avance par tour en mm	0,05	0,10
Diamètre des forets en mm	21 à 30	31 à 40
Avance par tour en mm	0,15	0,20

LUBRIFICATION DES FORETS

Pour réduire dans de fortes proportions l'échauffement du foret et par suite son usure prématuée, on arrose, pendant le perçage, ses arêtes tranchantes à l'aide d'un lubrifiant facilitant aussi l'évacuation du copeau. On utilise en général :

- a) L'**huile soluble** et l'**huile de coupe** pour les **acières** de **40 kg** à **130 kg**.
- b) Le **pétrole** pour les **acières inoxydables**, les **acières au Mn**, à la rigueur les **fontes** qui peuvent être usinées à sec.
- c) Les **huiles de coupe** spéciales pour le **cuivre** et ses **alliages**.
- d) L'**essence de térébenthine** pour l'**aluminium** et ses **alliages**.



10. LES VILEBREQUINS

DÉFINITION ET DESCRIPTION

Le **vilebrequin** est un outil à main en forme de C, ce qui permet la rotation d'une multitude d'outils tels que : forets, tarauds, tournevis, clés à tubes, etc.

Il se compose de trois parties :

- a) Le **corps** généralement en fonte malléable et portant à une extrémité le logement de l'outil ;
- b) L'**olive**, sorte d'œuf de bois poli, provoquant la rotation ;
- c) La **tête** ayant la forme d'un champignon, également en bois et sur laquelle on produit la poussée axiale.

TYPES DIFFÉRENTS ET UTILISATION

1° Le **vilebrequin ordinaire** pour tous travaux de perçage, taraudage, vissage, etc. ;

2° Le **vilebrequin à genouillère** avec transmission par cardan, utilisé dans des endroits presque inaccessibles,

3° Le **vilebrequin à cliquet** possédant deux sens de rotation fractionnés.

C'est lorsque la disposition des faces d'une pièce ne permet pas l'utilisation d'une perceuse que l'on a recours au vilebrequin.

Deux mouvements simultanés président à son fonctionnement :

a) **Pression axiale** communiquée soit directement avec la paume de la main sur la **tête**, soit indirectement par **volant** et **vis de manœuvre** prenant appui sur un support rigide.

b) **Rotation** du porte-outil transmise à l'**olive** manuellement.

NOTA. — L'appellation de **vilebrequin** a été également donnée à une des pièces essentielles du **moteur à explosion** ; celle-ci possède autant de coudes que le moteur a de cylindres. Nous remarquerons que la position particulière de ces coudes est nécessitée par la répartition régulière des efforts successifs de chaque détente. Le rôle du vilebrequin est de **transformer le mouvement alternatif rectiligne des pistons en mouvement circulaire** utilisable sur son axe.

11. LES TOURNEVIS

GÉNÉRALITÉS

Le **tournevis** est un outil des plus employés en petite mécanique et en ajustage. Son utilisation rationnelle exige une exécution soignée. La forme particulière qui le caractérise permet le blocage de toute la visserie à tête **fendue**.

La **partie travaillante** de cet outil doit être parfaitement ajustée dans la fente des vis à utiliser, aussi chaque série de vis doit avoir son tournevis approprié. Les **sections d'extrémité** ont les dimensions normalisées suivantes : $0,4 \times 2$, $0,5 \times 2,5$, $0,8 \times 3$, 1×5 , $1,5 \times 7$, 2×10 , $2,5 \times 14$, 3×18 , 4×25 , 5×39 .

Les faces de la partie travaillante doivent être **parallèles** pour éviter l'écorchage des têtes de vis. Quand le tournevis est exécuté avec méthode, la vis ne doit pas être marquée après blocage ou déblocage, ce qui permet de livrer des organes d'appareil avec un fini impeccable, fini se remarquant surtout par le soin avec lequel les pièces auront été assemblées.

DESCRIPTION

Le tournevis est formé :

- 1^o **D'une tête ou partie travaillante**, dont la largeur peut varier de $1,5$ à $1,7$ d (d = diamètre du corps).
- 2^o **D'un collet** faisant suite à la tête.
- 3^o **D'un corps** (partie cylindrique).
- 4^o **D'une soie** dont la forme peut être méplate, losangique ou en feuille de sauge afin d'éviter la rotation dans le manche. A chaque diamètre de tournevis doit correspondre un diamètre de manche approprié permettant de bien « **sentir** » le blocage des vis sans en provoquer la rupture.

CLASSIFICATION

Les tournevis sont de conception différente suivant leur utilisation :

- a) **Les tournevis ordinaires** pour visserie normalisée ;
- b) **Les tournevis de montage** à chants parallèles (fig. 98) ;
- c) **Le tournevis coudé** permettant le blocage des vis là où le tournevis ordinaire ne saurait être utilisé.
- d) **Le tournevis automatique** dont la rotation est provoquée par une poussée axiale sur son manche (mécanisme Drille), il est

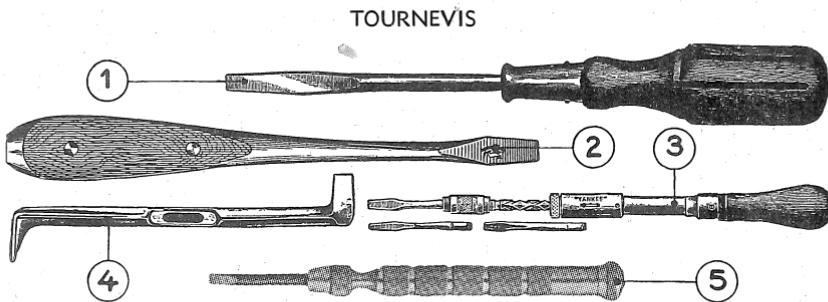


Fig. 97

1 et 2. Tournevis ordinaires.

3. Tournevis automatique Drille.

4. Tournevis coudé.

5. Tournevis d'horloger.



Tournevis « Phillips »

TOURNEVIS DE MONTAGE

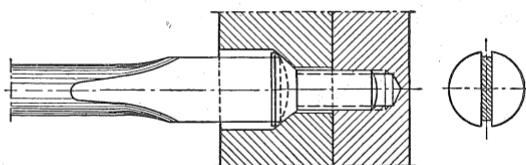


Fig. 98

d'une grande utilité dans tous les travaux de montage et de démontage en série ;

e) Le **tournevis d'horloger** dont le manche évidé immobilise et emmagasine des outils de petites dimensions

f) Le **tournevis « Phillips »** à empreinte cruciforme, permettant le blocage de vis à fentes perpendiculaires (fentes en croix) de plus en plus répandues en construction mécanique.

TREMPE ET REVENU

La tête et le collet du tournevis doivent être trempés à l'huile entre 850 et 900° (rouge cerise), puis revenus lentement au bleu (2950°).

Ce revenu donne à l'outil l'élasticité exigée pour son travail de torsion. Un tournevis de qualité doit subir le traitement du double revenu ; en effet un simple revenu n'atteint pas toujours l'âme de l'outil.

12. LES PINCES ET LES CLEFS

Les pinces

DÉFINITION ET UTILISATION

Les **pinces** sont des sortes de tenailles utilisées pour **saisir** diverses pièces mécaniques que les doigts de l'ouvrier ne pourraient maintenir convenablement ni solidement. Leur fonction peut être de **serrer**, **tendre**, **tordre** ou **couper** les métaux. Elles sont constituées par deux mâchoires à levier, articulées entre le point d'appui et le point d'application de l'effort.

DIFFÉRENTS TYPES

De nombreuses variétés de pinces servent au mécanicien, nous citerons les plus importantes et les plus utiles d'entre elles.

- a) Les **brucelles** : pinces fines à ressort pour saisir les pièces de petites dimensions ;
- b) Les **pinces plates** d'un usage courant ;
- c) Les **pinces rondes** servant à faire des boucles ou des crochets sur du métal étiré ;
- d) Les **pinces coupantes** pour trancher le métal de faible section ;
- e) Les **pinces coupantes articulées** qui, par une double articulation, permettent de couper des sections plus importantes ;
- f) Les **pinces à gaz** qui, à l'aide de stries pratiquées dans leurs mâchoires, servent à bloquer des garnitures de tuyauteries ;
- g) Les **pinces universelles**, qui groupent en un seul outil la pince plate, la pince coupante, la pince à gaz et le tournevis ;

- h) Les **pinces emporte-pièce**, sorte de petites poinçonneuses à main utilisées pour le découpage de trous de faible diamètre ;
- i) Les **pinces à courroies** servant à pratiquer des boutonnières aux extrémités de courroies pour y loger les agrafes ;
- j) Les **pinces de forge**, tenailles de formes différentes dont se sert le compagnon pour saisir et manier ses outils pendant leur forgeage.

LES PINCES

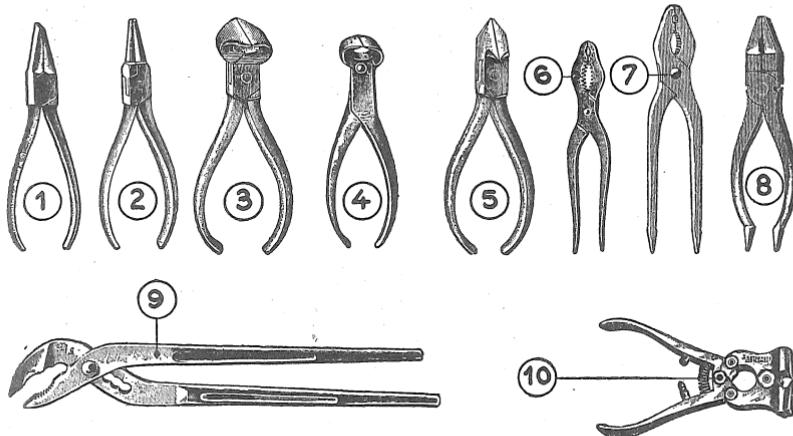


Fig. 99

- | | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| 1. Pince plate. | 6. Pince à cône. |
| 2. Pince ronde. | 7. Pince à gaz. |
| 3. Pince coupante polie. | 8. Pince universelle. |
| 4. Pince coupante gros rivet. | 9. Pince articulée multiprise. |
| 5. Pince coupante de côté. | 10. Pince coupante articulée. |

Les clefs

DÉFINITION

Les **clefs** sont des leviers servant à serrer ou desserrer les boulons et écrous. Le diamètre et le pas de ceux-ci doivent toujours déterminer la longueur du bras de levier de l'outil. Les clefs doivent être conçues de telle sorte qu'elles ne doivent pas tendre à déformer ni à marquer les boulons et écrous.

CLASSIFICATION

Les clefs peuvent être classées en deux catégories : les clefs à **ouverture fixe** et les clefs à **ouverture variable**.

1° Les clefs à ouverture fixe

- a) La **clef à fourche simple ou double**, dont l'ouverture peut avoir une forme hexagonale, doit être trempée ou cémentée ;
- b) La **clef à fouche coudée** en forme d'S pour blocages suivant des angles particuliers ;
- c) La **clef à tube droite ou coudée** utilisée pour des blocages inaccessibles à une clef ordinaire ; cette clef coudée prend également le nom de **clef à pipe**.

LES CLEFS

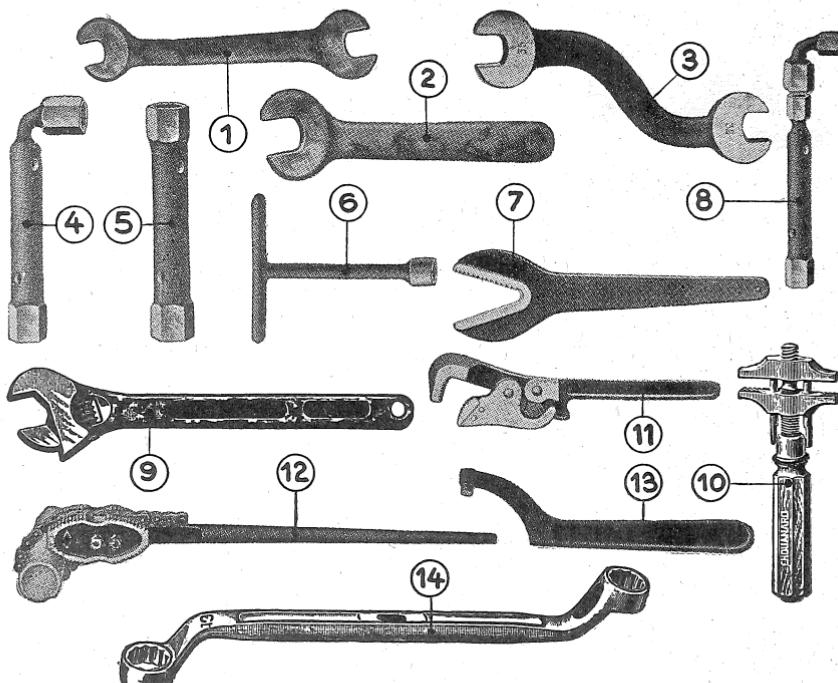


Fig. 100

- 1. Clef à fourche double.
- 2. Clef à fourche simple.
- 3. Clef à fourche coudée.
- 4. Clef à tube coudée ou à pipe.
- 5. Clef à tube droite.
- 6. Clef à bécuelle.
- 7. Clef crocodile.
- 8. Clef à douille.
- 9. Clef à molette.
- 10. Clef anglaise.
- 11. Clef articulée pour tube ou fer rond.
- 12. Clef à chaîne.
- 13. Clef à ergot.
- 14. Clef polygonale à 12 pans.

- d) La **clef à douille**, sorte de clef à tube pouvant comporter un jeu de douilles interchangeables suivant les différents écrous ;

- e) La **clef à béquille** : clef à tube à manche transversal ;
- f) La **clef crocodile** à ouverture angulaire garnie de stries pour maintien énergique de formes particulières.

2^e Les clefs à ouverture variable

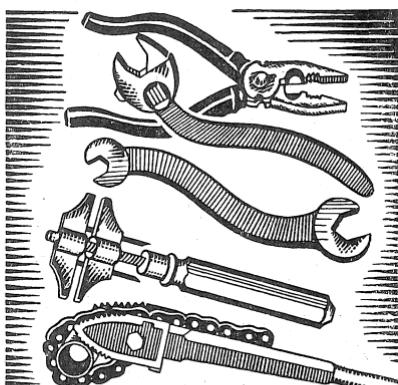
- a) La **clef à molette** à une mâchoire mobile ;
- b) La **clef anglaise** à une ou deux mâchoires mobiles.

Ces deux modèles de clefs servent uniquement au blocage des boulons et écrous.

- c) La **clef à chaîne** ou à **courroie** utilisée pour le blocage de tubes sans en provoquer la déformation.

REMARQUE. — Puisque nos deux professions d'ajusteur et de mécanicien de précision exigent toujours du travail soigné, nous devrons éviter l'utilisation des **clefs à ouverture variable** pour toute pièce ou appareil destiné à la vente. Les clefs à ouverture fixe ayant l'avantage, si elles sont parfaitement conçues, de ne pas détériorer les organes de serrage.

Loin de nous l'idée de médire de la **clef à molette** qui est un outil d'une grande utilité, mais il ne devrait être employé que pour des **démontages rapides** dans des **ateliers de réparations**.



13. APPAREILS DE LEVAGE ET DE MANUTENTION

Leviers, vérins, crics, moufles, palans, treuils

LES LEVIERS

Un levier est une tige rigide susceptible de pivoter sur un point d'appui.

On appelle **bras de levier** la distance de la ligne d'action de la force à l'axe de pivotement. Un levier transmet un effort d'autant plus grand que le rapport de la longueur du bras de la puissance à la longueur du bras de la résistance est plus grand. C'est dire que la puissance transmise est fonction de la position de ce point d'appui.

Les leviers constituent l'élément principal d'un grand nombre d'appareils et de mécanismes modernes (balances, pompes, freins, aiguilles de chemins de fer, etc.).

Sous leur forme la plus simple, ils servent à soulever les fardeaux.

LES VÉRINS

Le **vérin** est un appareil qui, par l'intermédiaire d'un dispositif démultiplicateur, permet : 1^o de soulever de grosses charges (**vérin de levage**) ; 2^o de caler des pièces mécaniques afin d'en faciliter le traçage ou l'usinage (**vérin de calage**).

1^o Vérins de levage

Dans ce type de vérin le dispositif démultiplicateur peut être ou **hydraulique** ou **pneumatique** :

a) **Vérin hydraulique** constitué par une sorte de petite presse hydraulique dont le liquide d'apport peut être de l'**eau glycinée** ou de l'**huile**. Un système de **soupapes** judicieusement étudié évite que la charge ne devienne **motrice** lorsque s'interrompt le mouvement d'ascension. Sa puissance vive peut atteindre 200 tonnes.

b) **Vérit pneumatique** actionné à l'air comprimé, distribué maintenant dans toutes les usines ; il est d'un encombrement restreint et permet des levées lentes ou rapides avec arrêt à volonté. Il fonctionne par admission ou échappement d'air sous un **piston élévateur**. Il est moins économique que le vérin hydraulique par suite des nombreuses fuites d'air qu'occasionne son fonctionnement.

APPAREILS DE LEVAGE ET DE MANUTENTION

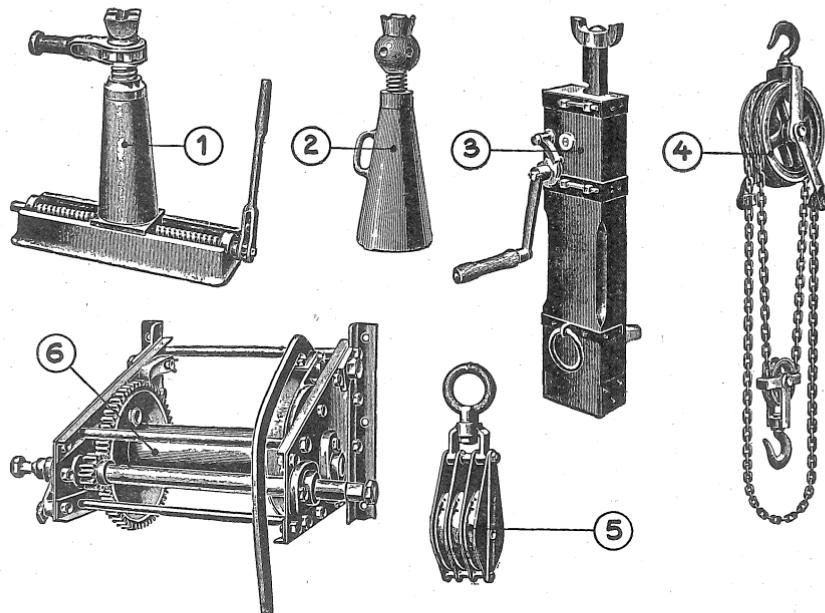


Fig. 101

1. Vérin à chariot réglable.
2. Vérin à bouteille (corps en fonte malléable).
3. Cric à crémaillère avec corps en bois.
4. Palan à poulie différentielle.
5. Moufle à trois poulies pour câble métallique.
6. Treuil d'applique.

2^e Vérins de calage

Formés d'un **boulon réglable**, se vissant dans une embase servant de **socle**, ils transforment en une **levée** le mouvement de rotation de la vis. Le socle formant écrou ne pouvant tourner, c'est la vis portant la charge qui s'élève ; de plus, ils possèdent un **contre-écrou de blocage** en permettant l'arrêt.

Ces types de **vérins simples** ou à **rotules** sont couramment utilisés pour le traçage et l'usinage sur machines-outils.

LES CRICS

Le **cric**, tout comme le vérin, est un instrument de levage mais dont le dispositif de montée est purement mécanique. L'entraînement a lieu par **double pignon et crémaillère**, le pignon moteur étant calé sur une manivelle à grand bras de levier. **Une roue à rochet** placée extérieurement permet d'en arrêter le mouvement.

La tête de la crémaillère possède une **fourchette** augmentant la prise de l'outil sous le fardeau à soulever ; sa partie inférieure, munie d'une **griffe saillante**, peut descendre sous des charges placées à une très petite distance du sol.

Dans certains modèles, le mouvement de montée de la crémaillère est donné par **cléf** ou par **levier** remplaçant la manivelle. C'est lorsque la crémaillère est remplacée par une **vis** que l'outil prend l'appellation de vérin.

Le **cric** peut être comparé à un treuil dont on aurait remplacé les poulies et la corde par un jeu d'engrenages. Appareil assez dangereux à cause de l'importance des charges qu'il peut soulever, il doit être manié avec beaucoup de précautions. Son utilisation est courante dans l'industrie automobile et aussi dans le bâtiment.

LES MOUFLES ET LES PALANS

Les **moufles** sont des appareils de levage, à transmission de mouvement par liens flexibles, composées de plusieurs poulies assemblées dans une chape commune.

Deux moufles d'un même nombre de poulies, et réunies par une **corde** ou une **chaîne** s'enroulant successivement sur chacune des poulies, constituent un **palan**. Le brin de corde libre sur lequel s'exerce la puissance s'appelle **garant**.

La puissance théorique d'un palan est égale à la résistance divisée par le nombre de poulies ou par le nombre de brins moins un. Le palan est surtout utilisé pour des déplacements relativement restreints de charges moyennes, au maximum 15 tonnes. Pour des puissances supérieures on a recours aux ponts roulants et aux grues.

LES TREUILS

Les treuils sont des appareils de levage composés en principe de **tambours** sur lesquels s'enroulent des **câbles** ou des **chaînes** supportant à une extrémité la charge à déplacer. L'axe du tambour est solidaire soit d'une manivelle soit d'un dispositif démultiplificateur par harnais d'engrenages droits ou rail et vis sans fin.

Le treuil théorique serait d'un emploi dangereux si l'on n'y avait adjoint un **dispositif de sécurité** pour contrarier la **réversibilité**. Ce mécanisme particulier est formé d'un cliquet sur roue à rochet ou d'un frein à ruban.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI DES APPAREILS DE LEVAGE ET DE MANUTENTION

Leviers. — Choisir un point d'appui solide, stable, horizontal et non glissant. Eviter l'emploi d'une pièce sur chant qui peut basculer ou d'une pièce ronde qui peut rouler. L'effort ne doit pas être exercé trop près de l'arête pour éviter l'érassement.

Vérins et crics. — Utiliser des vérins et des crics bien nettoyés et bien graissés, la fatigue sera moindre et leur usage sera plus sûr. Les installer bien verticalement. Ne pas forcer inconsidérément sur la manivelle de commande du cric car le mécanisme est calculé pour un effort normal.

Moufles et palans. — Comme toutes les machines, le soin apporté au graissage diminue sérieusement la perte de puissance par frottement. L'amarrage doit être fait sur une pièce solide et stable. Les crochets de palans fatiguent les câbles et les cordages, aussi une protection par des chiffons sera-t-elle indispensable.

Eviter le coincement d'un câble entre la flasque et la joue d'une poulie.

Dans ce genre d'appareil de levage, la **protection des doigts** est de rigueur, aussi il est recommandé de ne pas toucher un câble ou une chaîne trop près de la gorge ; pour cela improviser un protecteur.

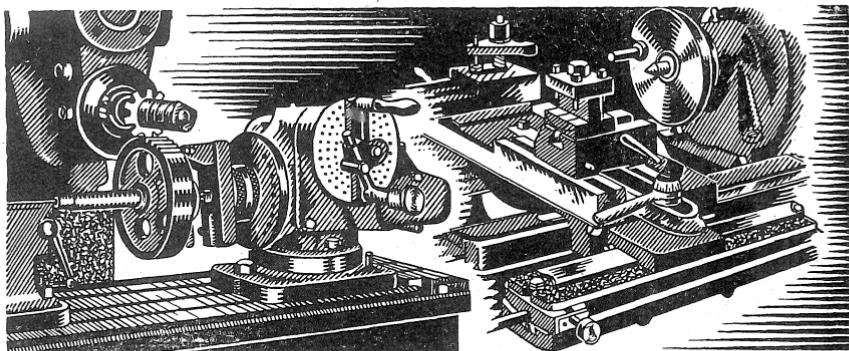
Treuils. — Prendre garde aux engrenages de treuils qui sont tout prêts à happer un doigt, un pan de vêtement, un bout de ceinture. Les protecteurs d'engrenages ne doivent pas être démontés pendant le fonctionnement.

Agir sur les câbles non pas avec les doigts mais avec un morceau de bois.

Ne pas laisser le cordage s'enrouler sur lui-même sous peine de détérioration rapide.

TROISIÈME PARTIE

OPÉRATIONS MÉCANIQUES
EXÉCUTÉES PAR L'AJUSTEUR
ET LE MÉCANICIEN
EN PETITE MÉCANIQUE



1. TRAÇAGE

DÉFINITION

Le **traçage** est une opération mécanique ayant pour but de déterminer sur une pièce, avant son exécution, les formes définitives à y réaliser ; toutes choses permettant au raboteur, au fraiseur et au tourneur de travailler sans tâtonnement. Beaucoup de « loups » de fabrication seraient évités si certaines pièces subissaient un traçage préalable.

CONDUITE DE L'OPÉRATION DE TRAÇAGE

Plusieurs cas peuvent être envisagés :

- 1^o **Traçage d'une pièce brute de fonderie** ;
- 2^o **Traçage d'une pièce déjà usinée** ;
- 3^o **Traçage en série**.

Les deux premiers cas prennent parfois respectivement les appellations suivantes : **traçage en l'air** et **traçage à plat**.

1^o **Traçage au marbre d'une pièce brute de fonderie**

PRÉPARATION. — Il est indispensable de badigeonner d'abord la pièce avec un produit blanchâtre composé de blanc d'Espagne et de gomme laque dilués dans de l'eau ; le traçage apparaîtra ainsi beaucoup plus nettement (1).

CALAGE. — Si la pièce comporte des alésages, garnir ceux-ci de **simbleaux** en plomb, ou en bois recouvert de tôle, afin d'y reporter les axes de tournage ou de chambrage.

(1) La préparation de la surface de traçage peut être réalisée en faisant usage d'autres produits colorants assurant aux traits un contraste suffisant avec le ton de la pièce : **blanc de Meudon**, **sanguine**, **liqueur de cuivre**, etc.

Si la pièce brute est de **faible encombrement**, elle pourra être fixée à l'aide de serre-joints ou de boulons de fixation sur un **dé de traçage**, permettant ainsi son orientation suivant les trois plans perpendiculaires.

Si, au contraire, ses dimensions sont importantes, on aura intérêt à la caler sur ses différentes faces à l'aide de **vérins** et de **cales extensibles**.

BALANÇAGE. — C'est l'opération de traçage proprement dite consistant à **centrer** la forme définitive de la pièce dans son mouillage.

- a) Traçage du **trait de ceinture** et des **bases d'usinage** pour tournage, fraisage, rabotage ;
- b) Traçage du **contour extérieur** en évitant les **manques** ;
- c) Traçage des **alésages, chambrages, décrochements**, en ayant soin d'éviter leurs entraxes sur les simbleaux.

Le **balançage** d'une pièce de fonderie est un travail nécessitant beaucoup d'attention de la part du praticien, bien souvent plusieurs traçages successifs sont nécessaires afin d'obtenir l'épaisseur suffisante de métal indispensable à l'usinage.

2^e Traçage d'une pièce préalablement usinée

Dans ce deuxième cas, l'opération est beaucoup plus simple, car les bases d'appui sont déjà tournées, fraîchement ou rabotées.

Suivant la forme de la pièce, il suffit alors de se poser soit sur un **vé**, soit sur un **dé de traçage** par bridage, soit se monter sur un mandrin de **poupée divisible**.

Le travail est beaucoup plus précis et cette précision peut être voisine de 1/10 de millimètre.

La pièce, n'étant pas blanchie, devra exiger des **traits assez profonds**, simples et non doublés ou triplés, des **pointages légers** assez espacés et pratiqués si possible aux intersections des traits seulement.

3^e Traçage des pièces en série

Lorsque le praticien est conduit à tracer une multitude de pièces de fonderie en utilisant le dé de traçage, il serait fastidieux qu'il se règle à chacune d'entre elles. Un moyen simple, éprouvé par l'auteur, lui permettra d'éviter de longs tâtonnements.

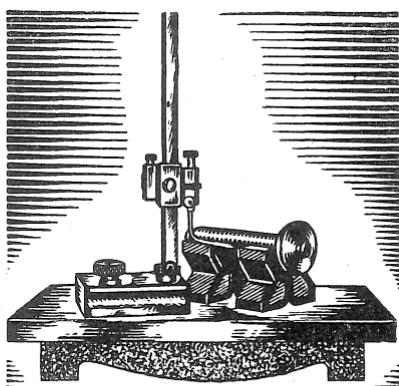
Après avoir repéré l'emplacement du bridage, il percera trois trous à 120° dans lesquels il logera trois **goupilles coniques** sortant du dé de la même longueur et servant de **trépied**, la pièce sera alors **dégauchie** horizontalement. Effectuer la même opération avec trois nouvelles goupilles plus longues, placées sur son pourtour et de telle façon qu'elle ne puisse se déplacer en translation.

Etant assuré que les pièces de fonderie n'ont que de légères différences de cotes, nous concevons aisément qu'après bridage chaque pièce occupera sensiblement la même position. Les déréglages du trusquin seront alors peu importants.

Des **gabarits en tôle** peuvent également être utilisés pour déterminer certaines formes sur des pièces de série. Ils seront maintenus soit par **bridage** à l'aide de serre-joints, soit par **emboîtement** dans les décrochements de la pièce.

REMARQUE IMPORTANTE

Tous les travaux de traçage doivent être conduits de telle sorte qu'après usinage complet des pièces mécaniques, **aucun trait ni aucun pointage ne subsistent au montage**.



2. COMPOSITION, FORGEAGE ET TRAITEMENT DES OUTILS DE COUPE

COMPOSITION

Les outils de coupe peuvent être exécutés :

- a) En **acier au carbone**, teneur : C = 1 à 1,5 % ;
- b) En **acier à coupe rapide à 19 % de tungstène** ;
- c) A l'aide de **mises rapportées** en carbure de **tungstène** ou de **titane**. (Dans ce cas, les pastilles déjà traitées sont soudées sur le corps de l'outil forgé préalablement.)

Les outils en **acier au carbone** sont de moins en moins utilisés, mais ils servent encore avec succès dans le travail des métaux tendres (laiton, bronze, etc.) auxquels ils communiquent un poli supérieur à celui obtenu avec des outils plus durs.

Les outils dits **à coupe rapide** sont utilisés pour tous les travaux d'usinage, des métaux tendres aux métaux durs.

Voici, à titre documentaire, la composition d'un **acier à coupe rapide** d'excellente qualité, que nous devons à **Taylor** :

Carbone ..	0,6 %	Manganèse ..	0,10 %	Tungstène ..	18 %
Silicium ..	0,05 %	Chrome ..	6 %	Vanadium ..	0,3 %
Fer	74,95 %				

Les outils **à mise rapportée au carbure de tungstène** ou de **titane** (corps excessivement durs ressemblant au diamant) sont utilisés pour le **travail des fontes dures** et coriaces, des **bronzes poreux** et même des **acières très durs**. Il faut éviter de les faire travailler aux chocs répétés, car on risquerait de les voir s'effriter.

Les outils dits **à coupe rapide** et au **carbure de tungstène** permettent de travailler à des vitesses bien supérieures à celles utilisées pour les outils en acier au carbone.

Ces vitesses peuvent être **doublées** avec l'acier au **tungstène**, **triplées** et même **quadruplées** avec les **carbures métalliques**.

REMARQUE. — Les outils en **acier à coupe rapide** sont actuellement les plus utilisés, aussi avons-nous cru bon de traiter plus spécialement ici de leur forgeage et des différents traitements thermiques qui conduisent à leur emploi rationnel.

FORGEAGE ET TRAITEMENT DES OUTILS EN ACIER A COUPE RAPIDE

Tronçonnage des barres. — Le découpage à froid doit être opéré à la scie, en évitant les cassures qui risqueraient d'amorcer des fissures dans le métal.

Forgeage. — Un chauffage lent jusqu'au rouge naissant et sur une longueur double de la longueur à déformer atténuerait les tensions internes. Chauffer ensuite plus rapidement jusqu'aux environs de **1100°**. Le forgeage sera alors conduit par coups secs, en ayant soin de ne pas frapper à une température inférieure à **850°**. Après forgeage, on laissera l'outil se refroidir lentement à l'abri de l'air dans le charbon sec de la forge.

Ebauches des arêtes de coupe. — Le taillant des outils peut être amorcé à la meule et à sec avant leur refroidissement complet. Cette opération serait en effet plus pénible après trempe.

Recuit. — Il est toujours recommandé de recuire les outils après forgeage. Ce chauffage sera opéré de préférence à l'abri de l'air, dans une boîte hermétique et garnie intérieurement de coke pulvérisé (température s'étageant de **850** à **900°**). Un refroidissement lent d'une quinzaine d'heures complétera l'opération.

Trempe. — Suivant les nuances des aciers, les éléments de trempe peuvent prendre trois formes distinctes : à l'huile, à l'air ou au bain de plomb. La trempe au pétrole, trop vive, a l'inconvénient de rendre les outils fragiles.

a) **A l'huile.** Un préchauffage lent jusqu'à **850°** précédera le chauffage accéléré jusqu'à **1300°** ou **1350°**. Immerger alors la partie chauffée dans un bain d'huile ; retirer ensuite l'outil avant disparition de l'incandescence et laisser refroidir lentement à l'air calme.

b) **A l'air.** Le chauffage étant conduit comme précédemment, on placera le bout de l'outil dans un jet d'air comprimé très sec jusqu'à complet refroidissement.

c) **Au plomb.** Même chauffage suivi d'une immersion dans un bain de plomb porté à une température de **500** à **550°**. Après maintien à cette température l'outil sera refroidi lentement à l'air sec.

Revenu. — Pour donner aux outils en acier à coupe rapide une tenue de coupe maximum, il sera indispensable de leur faire subir un revenu après trempe. Celui-ci sera pratiqué si possible deux fois de suite dans un **bain de plomb** ou de **sels fusibles** porté à des températures s'étageant de **550°** à **600°**. Un refroidissement lent terminera le traitement thermique.

3. ANGLES COMPOSANT LA COUPE DES OUTILS

DÉFINITION DE L'AFFUTAGE

On nomme **affûtage** l'action de fournir à un outil des arêtes tranchantes conformes aux angles qui en composent la coupe pour lui permettre de détacher le copeau dans les meilleures conditions. Cette opération est conduite sur des meules dont la constitution et la composition sont fonction de la dureté de l'outil (1).

MODES D'ACTION DES OUTILS TRANCHANTS

Sur le **tour**, les outils détachent le copeau par pression constante de leur arête coupante; sur la surface de la pièce cette pression est quelquefois considérable.

Sur les **fraiseuses** et les **raboteuses** l'action de l'outil a lieu par cisaillement; en effet, la pièce et les arêtes tranchantes d'une fraise arrivent en contact mutuellement d'une façon très brusque. En **fraisage** cette action s'accompagne parfois d'une forte pression de la pièce à usiner sur la fraise, surtout quand celle-ci se trouve noyée dans le métal. Pression allant en augmentant suivant le degré d'usure de l'outil.

Ce sont ces diverses actions combinées qui déterminent la **coupe des métaux**. Cette coupe ne peut être parfaite que si l'on respecte scrupuleusement les angles déterminés par les différentes faces de l'outil.

ANGLES COMPOSANT LA COUPE DES OUTILS

Nous choisirons le **tournage** comme exemple de coupe des métaux et les différents angles qui constituent la **partie active** d'un **outil à charioter** (2).

Cette partie active est constituée soit par des **éléments fonctionnels**, soit par des **éléments de fabrication** (3).

(1) Voir **Rectification**, page 322.

(2) Pour plus de détails, se référer à la **Normalisation officielle NF E 66-301**.

(3) Projet de norme de novembre 1959.

Eléments fonctionnels

Pente effective de coupe θ . — C'est l'angle aigu que fait avec le **plan de base** la section de la surface d'attaque près de l'arête de coupe par un plan perpendiculaire à ce plan de base.

Obliquité d'arête ω . Angle aigu que fait l'arête avec le plan de base.

Obliquité de profil γ . Angle aigu que fait un plan perpendiculaire au profil avec les génératrices du corps de l'outil.

Eléments de fabrication (affûtage)

Angle de dépouille a . Angle aigu formé par la ligne de plus grande pente de la surface en dépouille avec une perpendiculaire au plan de base.

Angle de pente d'affûtage b . Angle aigu formé par la surface d'attaque avec une parallèle au plan de base.

Angle de direction c . Angle du dièdre formé par deux plans perpendiculaires au plan de base, l'un étant parallèle aux génératrices du corps de l'outil, l'autre conservant la ligne XX de **plus grande pente** de la surface d'attaque.

Angle de tranchant d 90° — ($a + \theta$). Angle de la partie pleine de l'outil situé entre l'angle de dépouille et l'angle de pente effective de coupe.

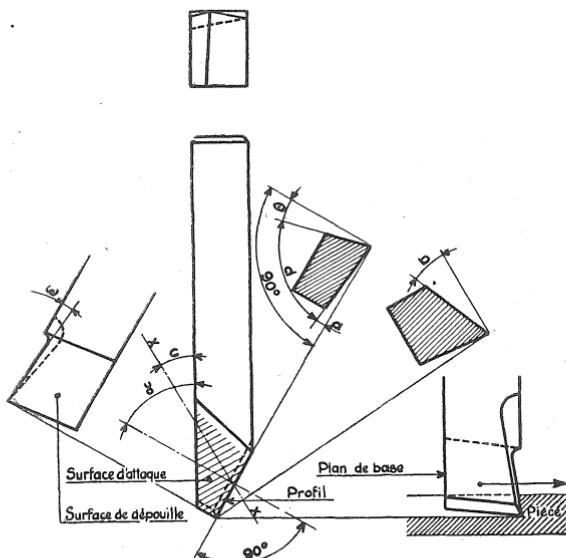


Fig. 102

**VALEUR DES ANGLES *a* ET *b*
POUR L'USINAGE DES MÉTAUX USUELS**

	<i>a</i>	<i>b</i>
Cuivre rouge et aluminium.....	8°	45°
Fer, acier doux 45 à 55 kg, fonte douce.	6°	30°
Acier mi-dur 55 à 65 kg.....	6°	20°
Acier dur et fonte dure 65 à 75 kg....	6°	10°
Laiton et bronze.....	6°	5°

Nous remarquons dans le tableau ci-dessus que la valeur de l'**angle de pente d'affûtage** varie suivant la dureté du métal, excepté pour le **laiton** et le **bronze** qui se comportent d'une façon particulière face aux outils de coupe. Ces métaux, qui ont tendance à **engager**, obligent à diminuer l'angle de pente d'affûtage jusqu'à une valeur voisine de 5°.

FINITION DES ARÈTES TRANCHANTES

Après forgeage, trempe et revenu, la surface des outils se trouve parfois légèrement décarburée. Il est indispensable de faire disparaître, avant leur mise en service, cette couche inutilisable qui peut parfois atteindre 1 mm d'épaisseur.

Le **ravivage** des arêtes tranchantes des outils de coupe sera conduit soit sur une **meule émeri douce** et à sec, en appuyant faiblement (plusieurs refroidissements successifs à l'eau éviteront un échauffement exagéré), soit sur une **meule de grès** abondamment arrasée ; ce dernier moyen sera réservé aux outils en **acier fondu**.

La **finition** de l'arête de coupe sera opérée en faisant appel soit à une **pierre d'émeri douce** genre « India », soit à la **pierre à huile**.

4. VITESSES DE COUPE

GÉNÉRALITÉS

Dans tous les travaux aux machines-outils : rabotage, tournage, fraisage, perçage, etc., on est conduit à observer une certaine **vitesse de contact**, soit de l'outil par rapport à la pièce (étau-limeur, perceuse), soit de la pièce par rapport à l'outil (raboteuse, tour), soit des deux conjointement (fraiseuse).

Cette vitesse ne doit être ni trop grande ni trop faible.

Ni **trop grande** pour ne pas détériorer les outils.

Ni **trop faible** pour pouvoir trancher le métal et non le cisailler, tout en réalisant une économie de temps.

DÉFINITIONS

Vitesse de coupe. — On appelle vitesse de coupe la distance exprimée en **mètres par minute** dont se déplacent, soit un point de la périphérie d'une pièce devant le bec de l'outil, soit un point de l'arête de coupe d'un outil tournant face à la pièce.

Avance (tour). — On appelle **avance** la longueur exprimée en **millimètres** dont se déplace le traînard ou le chariot porte-outil pour un tour de broche.

Avance (fraiseuse). — C'est la longueur exprimée en **millimètres** dont se déplace la table de fraiseuse pour un tour de fraise. Dans ce cas, **l'épaisseur du copeau** est égale au quotient de l'avance par le nombre de dents de la fraisé.

Une **nouvelle définition** de l'avance est actuellement utilisée pour les fraiseuses modernes : elle s'exprime en **millimètres par minute**.

$$\text{Avance en mm/mn} = e \times Z \times N \text{ tr/mn} \quad (1)$$

e = Epaisseur du copeau.

Z = Nombre de dents de la fraise.

N tr/mn = Vitesse de rotation de la fraise.

Vitesse linéaire. — On appelle **vitesse linéaire** la longueur, exprimée en **mètres par seconde**, dont se déplace la dent d'une scie à ruban face à la pièce qu'elle travaille.

(1) Le produit $e \times Z$ correspond à l'ancienne avance par tour de fraise.

Vitesse circonférentielle. — On appelle vitesse circonférentielle la longueur exprimée en **mètres** dont se déplace la périphérie d'une scie circulaire ou d'une meule, en **une seconde**, par rapport à un point fixe (1).

Vitesse de rotation. — On appelle vitesse de rotation le **nombre de tours** qu'exécute soit une pièce circulaire, soit un outil tournant, en **une minute**. Cette valeur est exprimée par la lettre **N**.

$$\frac{\text{Vitesse de rotation}}{\text{par minute}} = \frac{\text{Vitesse de coupe (mètres)}}{\varnothing \text{ de la pièce ou de l'outil (mètres)} \times 3,1416} \quad (2)$$

Prendre comme **règle générale** de :

Dégrossir à vitesse de rotation modérée et grande vitesse d'avance.

Finir à grande vitesse de rotation et petite vitesse d'avance.

FACTEURS DÉTERMINANT LES VITESSES DE COUPE

Nous choisirons le **tournage** pour préciser les multiples facteurs intervenant dans la **coupé des métaux**.

Lorsqu'un outil de tour enlève un copeau, il y a pression considérable entre la pièce et cet outil. De plus, la pièce étant animée d'un mouvement de rotation, cette pression, ajoutée au frottement, produit une très grande quantité de chaleur pouvant provoquer sa détérioration, d'où la nécessité d'un arrosage abondant pour certains métaux.

On est alors conduit à des **vitesses de coupe différentes** suivant la **nature du métal** composant la **pièce** et la **nature du métal** constituant l'**outil** (**acier au carbone**, **acier à coupe rapide**, **carbures métalliques**).

(1) Ces deux dernières vitesses sont exprimées en **mètres/seconde** en raison de la grande vitesse de rotation des arbres moteurs. Pour les meules, il est préférable d'utiliser l'appellation **vitesse d'abrasion**.

(2) Une **formule rectificative** permet de concilier deux valeurs exprimées en unités différentes (vitesse de coupe en **mètres/mn** et diamètre de la pièce ou de l'outil en **mm**).

$$N = \frac{318 \text{ V}}{D}$$

N = Vitesse de rotation en tours/minute.
D = Diamètre de la pièce en millimètres.
V = Vitesse de coupe en mètres/minute.

Mais ces deux derniers éléments ne sont pas les seuls **facteurs déterminant** les vitesses de coupe, d'autres ont aussi leur importance :

- 1^o Nature du travail à exécuter ;
- 2^o Nombre de pièces à réaliser.
- 3^o Avance de l'outil ;
- 4^o Travail avec ou sans chocs ;
- 5^o Largeur et épaisseur du copeau à enlever ;
- 6^o Travail à sec ou arrosé ;
- 7^o Nature du lubrifiant.

CHOIX DES VITESSES DE COUPE

Voici pour le **tournage**, le **fraisage** et le **perçage** quelques vitesses de coupe courantes permises par des outils en **acier à coupe rapide**.

TOURNAGE

	Ebauche	Finition
Acier R = 30 à 40 kg.....	30 à 22 m	32 à 28 m
Acier R = 50 à 70 kg.....	24 à 14 m	28 à 18 m
Acier R = 80 à 90 kg.....	15 à 6 m	18 à 10 m
Acier allié R = 140 à 180 kg..	10 à 6 m	12 à 8 m
Fonte grise.....	14 à 22 m	14 à 26 m
Fonte malléable	10 à 22 m	8 à 22 m
Acier moulé.....	8 à 18 m	16 à 20 m
Bronze	8 à 22 m	14 à 26 m
Laiton	35 à 60 m	50 à 80 m
Duralumin	110 à 140 m	150 à 180 m

Les vitesses de coupe du **duralumin** avec des outils en **carbure métallique** peuvent atteindre 1.000 à 1.300 m/mn.

FRAISAGE

	Ebauche	Finition
Acier R = 30 à 40 kg.....	21 à 18 m	24 à 22 m
Acier R = 50 à 70 kg.....	18 à 15 m	20 à 16 m
Acier R = 80 à 90 kg.....	13 à 10 m	16 à 14 m
Acier allié R = 140 à 180 kg..	8 à 4 m	10 à 6 m

Fonte grise.....	10 à 15 m	16 à 18 m
Fonte malléable.....	10 à 21 m	15 à 24 m
Acier moulé.....	10 à 21 m	15 à 24 m
Bronze	25 à 35 m	30 à 40 m
Laiton	60 à 80 m	70 à 90 m
Duralumin	50 à 150 m	100 à 200 m

PERÇAGE

Acier R = 30 à 40 kg.....	30 à 24 m
Acier R = 50 à 70 kg.....	22 à 18 m
Acier R = 80 à 90 kg.....	16 à 12 m
Acier allié R = 140 à 180 kg..	10 à 6 m
Fonte grise.....	10 à 22 m
Fonte malléable.....	10 à 18 m
Acier moulé.....	8 à 16 m
Bronze	10 à 22 m
Laiton	40 à 60 m
Duralumin	50 à 100 m

Pour le **taraudage** et l'**alésage**, le mode particulier de conduite des outils oblige à réduire sérieusement les vitesses de coupe. Les tarauds et les alésoirs étant en **acier à coupe rapide**.

TARAUDAGE ET ALÉSAGE

	TARAUDAGE	ALÉSAGE
Acier R = 30 à 40 kg.....	6 à 7 m	8 à 14 m
Acier R = 50 à 70 kg.....	5 à 6 m	4 à 10 m
Acier R = 80 à 90 kg.....	4 à 5 m	2 à 8 m
Acier allié R = 140 à 180 kg..	3 à 4 m	4 à 9 m
Fonte grise.....	3 à 5 m	6 à 12 m
Fonte malléable.....	3 à 5 m	4 à 12 m
Acier moulé.....	3 à 5 m	7 à 12 m
Bronze	3 à 5 m	4 à 12 m
Laiton	8 à 12 m	10 à 28 m
Duralumin	10 à 16 m	50 à 60 m

RABOTAGE ET MORTAISAGE

Il semblerait, pour le **rabotage** et le **mortaisage**, que l'on puisse utiliser les vitesses de coupe du tour, mais les chocs répétés inhérents au fonctionnement des raboteuses, étaux limeurs et mortaiseuses obligent à réduire cette vitesse.

Voici, pour ces outils en **acier à coupe rapide**, quelques vitesses de coupe courante :

Acier doux.....	8 à 12 m
Fonte douce.....	10 à 14 m
Fonte dure.....	5 à 8 m
Laiton et bronze.....	18 à 22 m

DIFFÉRENTES APPELLATIONS DES VITESSES DE COUPE

Vitesse de moindre usure (V_o). — C'est la vitesse de coupe permettant de faire produire à l'outil le maximum de débit avant son réaffûtage.

Cette vitesse s'impose quand on a à usiner le plus grand nombre de pièces semblables avant démontage.

Vitesse économique (V_e). — C'est une vitesse de coupe supérieure à la vitesse de moindre usure, nécessaire pour effectuer un travail déterminé dans le moins de temps possible et avec le prix de revient le moins élevé.

La vitesse économique est égale aux **4/3** de la vitesse de coupe.

Vitesse-limite (V_l). — C'est la vitesse de coupe la plus élevée qu'il faut éviter d'atteindre, car elle provoque l'**émoussage** presque immédiat de l'outil.

Elle est égale approximativement aux **5/3** de la vitesse de coupe.

CALCUL DU TEMPS D'USINAGE

Le calcul du **temps d'usinage** exprimé en **minutes** fait appel à trois facteurs particuliers intéressant indifféremment le **perçage**, le **tournage** et le **fraisage** ; aussi la formule de résolution pourra toujours s'appliquer à l'un quelconque de ces travaux.

$$T_{mn} = \frac{L}{a \times N}$$

L : Profondeur de trou, longueur de passe sur le tour ou la fraiseuse exprimés en **mm** ;

a : Avance en **mm** par tour de broche ;

N : Vitesse de rotation en **tours/minute** de l'outil ou de la pièce.

Exemple d'un C.A.P. Mécaniciens 1961

Quel est le **temps théorique** d'exécution de **2 trous** de Ø **10 mm**, sachant que l'avance par tour du foret est de **0,15 mm** et que

l'épaisseur de la pièce est de **20 mm.** (Vitesse de coupe utilisée : **26 m/mn.**)

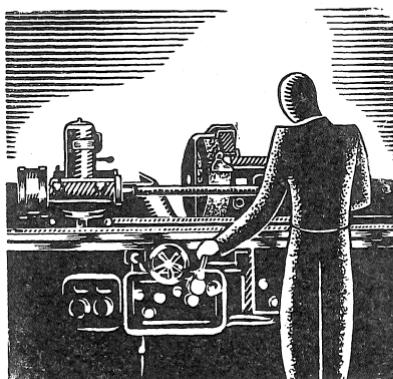
Solution

a) Calcul de la vitesse de rotation :

$$N \text{ tr/mn} = \frac{318 \text{ Vm}}{D\text{mm}} = \frac{318 \times 26}{10} = \mathbf{826 \text{ tr/mn}}$$

b) Calcul du temps de perçage :

$$T \text{ mn} = \frac{L \text{ mm}}{a \text{ mm} \times N \text{ tr/mn}} = \frac{20 \times 2}{0,15 \times 826} = \mathbf{0 \text{ mn } 19 \text{ s}}$$



5. ÉQUIPAGES DE POULIES ET DE ROUES DENTÉES

DÉFINITION

On appelle **équipage de poulies ou de roues dentées** l'ensemble des poulies ou des engrenages qui permettent de transmettre un mouvement de rotation d'un axe moteur jusqu'à l'axe d'utilisation; certains équipages admettent même plusieurs arbres intermédiaires.

TRANSMISSION PAR POULIES

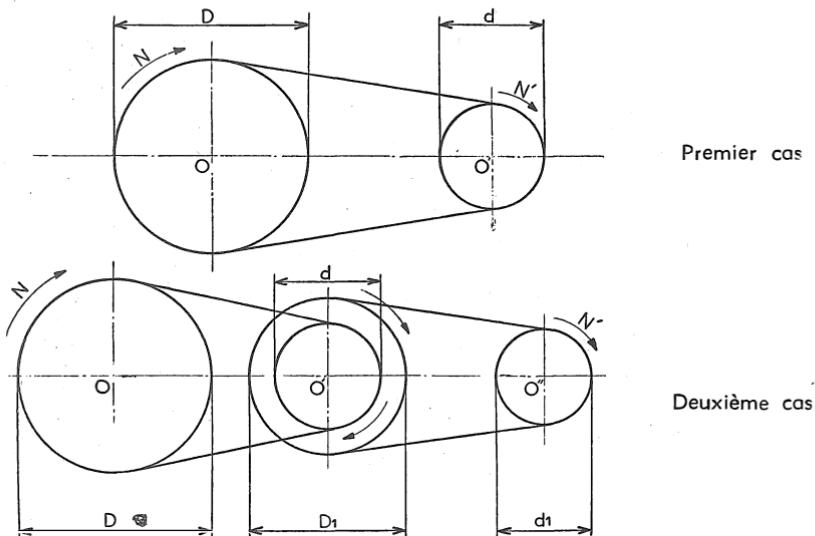


Fig. 103

Le **rapport** d'un train de poulies ou d'engrenages est le quotient du nombre **N'** de tours-minute de l'arbre récepteur par le nombre **N** de tours-minute de l'arbre de commande.

FORMULES USUELLES

Pour les **poulies**, nous utiliserons la formule suivante :

$$\frac{N'}{N} = \frac{\text{Produit des diamètres des poulies menantes}}{\text{Produit des diamètres des poulies menées}}$$

et pour les **roues dentées** :

$$\frac{N'}{N} = \frac{\text{Produit des nombres de dents des roues menantes}}{\text{Produit des nombres de dents des roues menées}}$$

PREMIER CAS

Transmission par deux poulies

$$\text{Formule fondamentale : } \frac{N'}{N} = \frac{D}{d}$$

Exemple numérique : Dans un équipage de deux poulies, l'une d'elles, **motrice**, tourne à 150 tours/minute avec un diamètre $D = 750$ mm.; l'autre, **réceptrice**, devra tourner à 450 tours/minute. Calculer le diamètre d de cette dernière.

Solution : Remplaçons dans la formule les lettres par leur valeur, nous aurons :

$$\frac{N'}{N} = \frac{D}{d} \quad \text{et} \quad \frac{450}{150} = \frac{750}{d}$$

Dans toute proportion, le produit des extrêmes est égal au produit des moyens, nous avons : $450 d = 150 \times 750 = 112500$.

$$d = \frac{112500}{450} = 250 \text{ mm.}$$

DEUXIÈME CAS

Transmission par quatre poulies

$$\text{Formule fondamentale : } \frac{N'}{N} = \frac{D \times D_1}{d \times d_1}$$

Exemple numérique : Une poulie motrice D tourne à 300 tours-minute. Calculer le diamètre d , de la poulie réceptrice si celle-ci doit tourner à 1200 tours/minute.

Données complémentaires } $D = 300 \text{ mm.}$
} $D_1 = 200 \text{ mm.}$
} $d = 150 \text{ mm.}$

Solution : Remplaçons dans la formule les lettres par leur valeur, nous aurons :

$$\frac{1200}{300} = \frac{300 \times 200}{150 \times d_1}$$
$$\frac{12}{3} = \frac{2 \times 200}{1 \times d_1} \quad \text{et} \quad \frac{4}{1} = \frac{2 \times 200}{1 \times d_1}$$
$$d'où : 4 d_1 = 400 \text{ et } d_1 = \frac{400}{4} = 100 \text{ mm.}$$

Pour un jeu de **six poulies**, le problème est identique, en appliquant la formule fondamentale suivante :

$$\frac{N'}{N} = \frac{D \times D_1 \times D_2}{d \times d_1 \times d_2}$$

N' = Nombre de tours/minute de l'arbre **récepteur**.

N = Nombre de tours/minute de l'arbre **moteur**.

D, D_1, D_2 = Diamètres des poulies **menantes**.

d, d_1, d_2 = Diamètres des poulies **menées**.

NOTA. — Les équipages de roues dentées sont résolus identiquement, en utilisant les nombres de dents A, C, E, etc., des engrenages de commande et les nombres de dents B, D, F, etc., des engrenages commandés :

$$\frac{N'}{N} = \frac{A \times C \times E}{B \times D \times F} \quad \text{etc.}$$

Exemple récapitulatif

L'arbre d'un moteur tourne à **1400 tours/minute**; il porte une poulie de **Ø 110 mm** qui attaque une poulie de **Ø 550 mm**. Sur cette transmission est monté un tambour de **Ø 750 mm** qui commande une meule pour poulie fixe et folle. Calculer le **diamètre** de ces deux poulies, sachant que la **vitesse d'abrasion** de la meule est de **28 mètres/seconde** et son **diamètre** **250 mm**. (C.A.P., Ajusteurs, Dijon) (fig. 104).

TRANSMISSION POUR MACHINE A MEULER

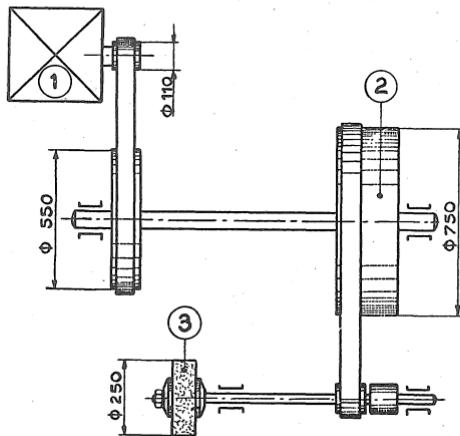


Fig. 104

1. Moteur. - 2. Tambour. - 3. Meule d'émeri.

Solution : Calcul de la vitesse d'abrasion de la meule en mètres par minute : $28 \text{ m} \times 60 \text{ s} = 1.680 \text{ mètres par minute.}$

Calcul de la vitesse de rotation de la meule en tours par minute : $1680 \text{ m} \quad 1680 \text{ m} \quad 1680 \text{ m}$

$$N' = \frac{1680}{\pi d} = \frac{1680}{3,14 \times 0,25 \text{ m}} = \frac{1680}{0,785 \text{ m}} = 2.140 \text{ t/mn}$$

Appliquons maintenant la formule des équipages de poulies :

$$\frac{N'}{N} = \frac{\text{Produit des diamètres des roues menantes}}{\text{Produit des diamètres des roues menées}} = \frac{110 \times 750}{550 \times d}$$

et $\frac{2140}{1400} = \frac{110 \times 750}{550 \times d}$ (1) ou encore $\frac{214}{140} = \frac{1 \times 750}{5 \times d}$

Le produit des extrêmes est égal au produit des moyens :

$$214 \times 5 \times d = 140 \times 1 \times 750 \text{ ou encore } 107 d = 10500 \text{ mm.}$$

$$d = \frac{10500}{107} = 98 \text{ mm.}$$

(1) Il est préférable de simplifier avant d'effectuer, en divisant les deux termes des fractions par un même nombre.

6. PERÇAGE — MACHINES À PERCER

DÉFINITION DU PERÇAGE

Le **perçage** consiste à exécuter ou à agrandir des trous ou alésages, par **pénétration forcée** d'un outil tournant possédant des arêtes tranchantes. Les machines à percer sont conçues de telle façon que l'opération se pratique généralement suivant un axe vertical.

CLASSIFICATION DES MACHINES À PERCER

Les différents types de **machines à percer** anciens et modernes peuvent être classés en deux catégories distinctes :

Les **perceuses à main** et les **perceuses mécaniques**.

PERCEUSES À MAIN

Elles seront simplement citées pour mémoire.

1^o Le **C du serrurier** est un instrument de perçage ancien rendant actuellement encore de sérieux services pour le perçage à demeure. Il est composé essentiellement d'un support en forme de C dont la branche inférieure est munie d'un serre-joint pour la fixation, et la branche supérieure d'une vis avec volant pour la pénétration. C'est entre la vis et le serre-joint que se trouve adapté le **fût à rochet** entraînant le foret.

2^o Le **fût à rochet** qui est un outil de perçage à levier fonctionnant grâce à un cliquet.

3^o Le **vilebrequin** fonctionnant à la main ou monté sur colonne.

4^o Le **drille** à mouvement moteur vertical.

5^o La **forerie à arçon** ou **perceuse à archet**, constituée par :

a) **L'archet** (longue lame flexible portant à ses extrémités deux crochets sur lesquels est tendu un câble en ressort hélicoïdal).
b) Le **porte-foret** entraîné par une poulie en buis, elle-même mue par l'archet.

c) La **conscience** (pièce de tôle sur laquelle se trouve fixée une plaque d'acier trempé, percée de plusieurs trous tronconiques servant de guide au porte-foret). Cette conscience est appliquée sur la poitrine en période de travail. Dans la plupart des cas, l'outil utilisé était un foret à langue d'aspic.

Ce genre d'appareil, autrefois employé en instruments de précision, est actuellement couramment utilisé par les monteurs en bronze.

6° La **chignole à main**, sorte de petite perceuse portative d'une très grande utilité ; la rotation du mandrin porte-foret est assurée grâce à un engrenage conique multiplicateur solidaire de la manivelle.

7° La **perceuse à bras** est une machine ancienne plus robuste que les précédentes, conçue avec pied ou se fixant sur l'établi ; elle permet l'exécution de perçages plus importants grâce à l'inertie fournie par son **volant d'entraînement**.

PERCEUSES MÉCANIQUES

CLASSIFICATION

Suivant leur importance, nous les classerons de la façon suivante :

- 1° La **perceuse mécanique portative** électrique ou pneumatique.
- 2° La **perceuse sensitive**.
- 3° La **perceuse à colonne**.
- 4° La **perceuse radiale**.
- 5° Les **perceuses multiples**.

POSSIBILITÉS OU CONSTANTES

Elles peuvent prendre quatre formes différentes :

- a) Diamètre maximum de perçage.
- b) Vitesses maximum et minimum de la broche en tours-minute.
- c) Avances maximum et minimum du foret.
- d) Capacité de la machine

{ Hauteur maximum entre table et foret.
Distance maximum entre colonne et foret.

MOUVEMENTS

- a) **Rotation du foret autour d'un axe généralement vertical.**
- b) **Pénétration verticale de la mèche dans la pièce.**

La combinaison de ces deux mouvements détermine l'**avance** de l'outil qui détache le copeau. Cette dernière s'exprime en **mm par tour de broche**.

PERCEUSES MÉCANIQUES PORTATIVES

Les perceuses mécaniques portatives peuvent être actionnées par deux formes d'énergie différentes : l'électricité et l'air comprimé. On les nomme alors : **chignoles électriques** et **chignoles pneumatiques**.

L'effort de pénétration du foret est assuré par la pression exercée sur la machine elle-même, pression à deux mains ou à une seule main suivant que l'on utilise une **perceuse à conscience** ou une **perceuse à poignée revolver**.

Les perceuses mécaniques portatives ont de nombreux débouchés pour tous **travaux sur chantiers** ou tous travaux « à demeure » ne tolérant aucun déplacement de l'organe à perforez.

PERCEUSE SENSITIVE

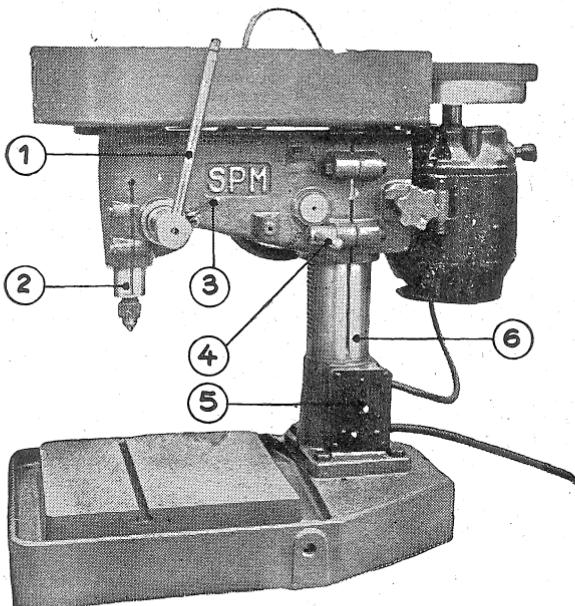
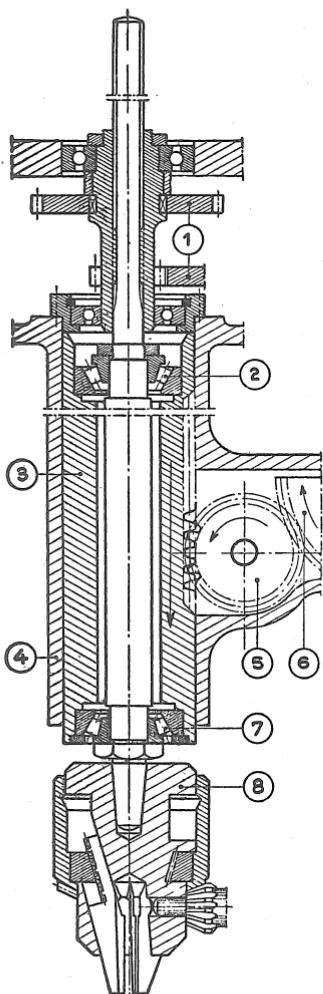


Fig. 105

1. Bras sensitif.
2. Broche porte-foret.
3. Réglage de butée.
4. Blocage de la poupée.
5. Interrupteur général.
6. Colonne support.

PERCEUSES SENSITIVES

Ce sont des machines à percer de petites dimensions réservées au perçage de trous de faible diamètre ne demandant qu'un effort restreint de pénétration du foret dans la pièce.



BROCHE D'UNE PERCEUSE
SENSITIVE MODERNE

Fig. 106

1. Commande de la broche par engrenage.
2. Roulement « Timken » recevant l'effort de dégagement du foret.
3. Fourreau.
4. Bâti porte-broche.
5. Axe du levier sensitif.
6. Secteur de rappel armé par ressort.
7. Roulement « Timken » recevant l'effort de pénétration du foret.
8. Mandrin « Jacobs ».

Leur nom de perceuse sensitive vient de ce que la commande du dispositif de descente du foret s'exécute exclusivement **à la main**, de telle sorte que **la résistance ressentie soit celle du métal à percer**.

Les **perceuses sensitives d'établi**, généralement assez légères, peuvent être transportées au gré de l'ajusteur d'une place à l'autre suivant la conduite de son travail. Elle peut être à **commande par cône étagé et courroie** ou à **commande directe**; dans ce dernier cas, l'axe de la broche est confondu avec celui du moteur (capacité maximum de perçage : 6 à 10 mm).

MÉCANISME DE COMMANDE DE BROCHE D'UNE PERCEUSE
SENSITIVE MODERNE

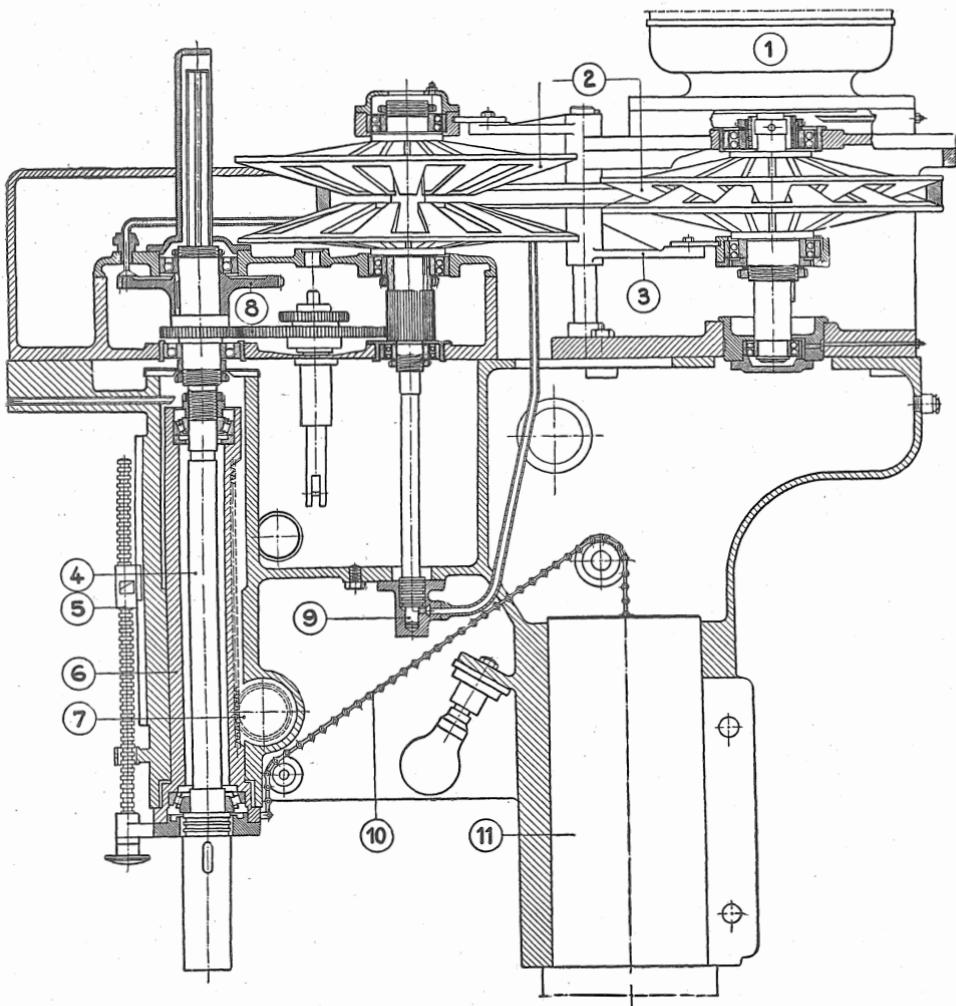


Fig. 107

1. Moteur.
2. Variateur de vitesses à courroie trapézoïdale.
3. Baladeur de commande des vitesses.
4. Broche.
5. Butée réglable des avances automatiques.
6. Fourreau.
7. Dispositif de descente de broche.
8. Train d'engrenages.
9. Pompe à huile.
10. Chaîne du contrepoids.
11. Colonne.

Les perceuses sensitives à pied, de dimensions plus importantes que les précédentes, possèdent des dispositifs de commande de broche plus perfectionnés, augmentant parfois dans

une large mesure la gamme des vitesses de rotation du foret ; ce sont les **variateurs de vitesses** et les **boîtes de vitesses à engrenages**. La figure 107 fait apparaître tous les avantages d'un variateur de vitesses. (Capacité maximum de perçage : 10 à 20 mm.)

Accessoires. — Les accessoires indispensables à la bonne marche et à la parfaite utilisation des perceuses sensitives sont les suivants :

- a) **Butée réglable et tambour gradué circulaire** indiquant les profondeurs de perçage.
- b) **Rappel de broche** par ressort, accentuant la sensibilité de la machine.
- c) **Contrepoids d'équilibrage.**
- d) **Frein d'arrêt.**

PERCEUSES A COLONNE

L'obligation de pratiquer des forages plus importants que ceux

CHAIÑE CINÉMATIQUE D'UNE PERCEUSE A COLONNE

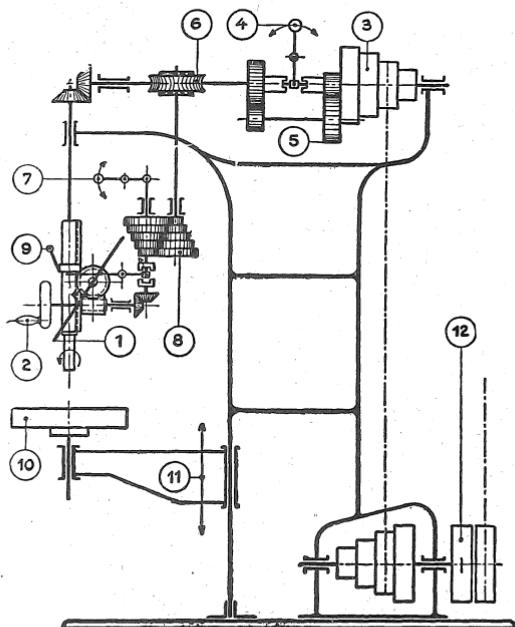


Fig. 108

1. Bras sensitif.
2. Commande manuelle de descente lente.
3. Cône à gradins récepteur (4 vitesses).
4. Commande à la volée et au harnais.
5. Harnais.
6. Commande de la boîte des avances par vis sans fin et roue creuse.
7. Commande des 5 vitesses d'avance.
8. Pignons de commande des avances.
9. Dispositif d'arrêt pour le débrayage automatique.
10. Plateau porte-pièce.
11. Translation verticale de la console.
12. Commande des poulies fixe et folle par renvoi.

permis par les perceuses sensitives a conduit les constructeurs de machines-outils à concevoir un type de perceuse plus robuste, relevant plus de la mécanique générale que de la mécanique de précision. Son appellation de **perceuse à colonne** tend à disparaître par suite du remplacement de la colonne support par un véritable bâti en fonte moulée de forme prismatique supportant ou enfermant tous les organes indispensables à son fonctionnement perfectionné. La table est remplacée, dans la plupart des modèles, par de **véritables chariots** à déplacements longitudinaux, transversaux et verticaux.

PERCEUSE A COLONNE MODERNE

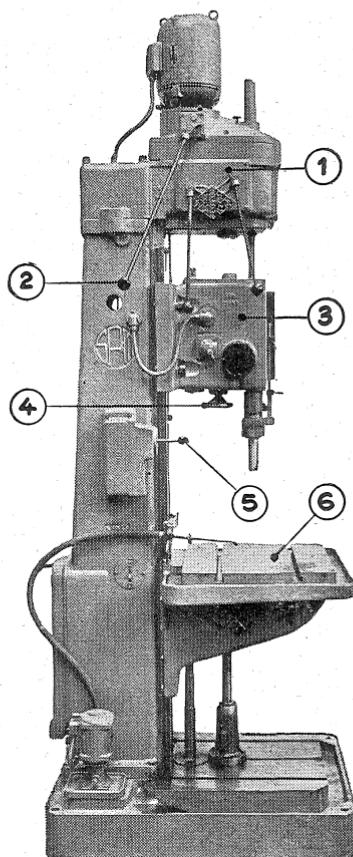


Fig. 109

1. Boîte des vitesses de broche.
2. Sélection des vitesses de broche.
3. Poupée porte-broche et boîte des avances.
4. Descente manuelle lente.
5. Interrupteur général.
6. Plateau porte-pièce.

Les **mouvements de broche** des perceuses à colonne modernes sont les suivants :

a) **Déplacement vertical sensitif** (pignon - crémaillère) ;

b) **Déplacement vertical manuel lent** (vis sans fin - roue hélicoïdale - pignon - crémaillère) ;

c) **Descente automatique de la broche par boîte des avances.**

Quant aux autres **perfectionnements**, ils sont identiques à ceux des perceuses sensitives (butée réglable et tambour gradué, rappel de broche, etc.).

PERCEUSES RADIALES

Ce sont des machines-outils beaucoup plus imposantes que les précédentes et permettant, par l'intermédiaire d'un **bras radial**, d'amener le foret au-dessus des différents alésages à exécuter (pièces lourdes et de grandes dimensions). Contrairement aux autres perceuses où l'on amène la pièce sous le foret, la perceuse radiale permet d'explorer toutes les parties à usiner sans déplacer la pièce. On peut, dans ce cas, respecter scrupuleusement les entraxes de trous et travailler dans les mêmes conditions qu'avec une **aléuseuse**.

Les **mouvements** des perceuses radiales peuvent s'énoncer comme suit :

a) **Commande de descente et de montée du bras radial**, d'une part, et **commande de la rotation de la broche**, d'autre part, réalisées par **moteurs individuels** ;

b) **Descente manuelle du foret** soit par **levier sensitif**, soit par **volant de démultiplication** ;

c) **Pénétration automatique du foret dans tous les plans** (**Radiales universelle**) permise par **boîte de sélection des avances** ;

d) **Mouvement de déplacement du chariot porte-broche** assuré soit manuellement par volant de grand diamètre (pignon-crémaillère), soit automatiquement par tringle;

e) **Orientation possible de la broche porte-foret et du bras radial** pour réaliser l'universalité des perçages.

Trois types de perceuses radiales sont actuellement construits : les **radiales ordinaires**, les **radiales universelles** et les **radiales de chaudronnerie** (capacité maximum de perçage : 80 mm ; rayon de perçage : 5,50 m).

PERCEUSE RADIALE

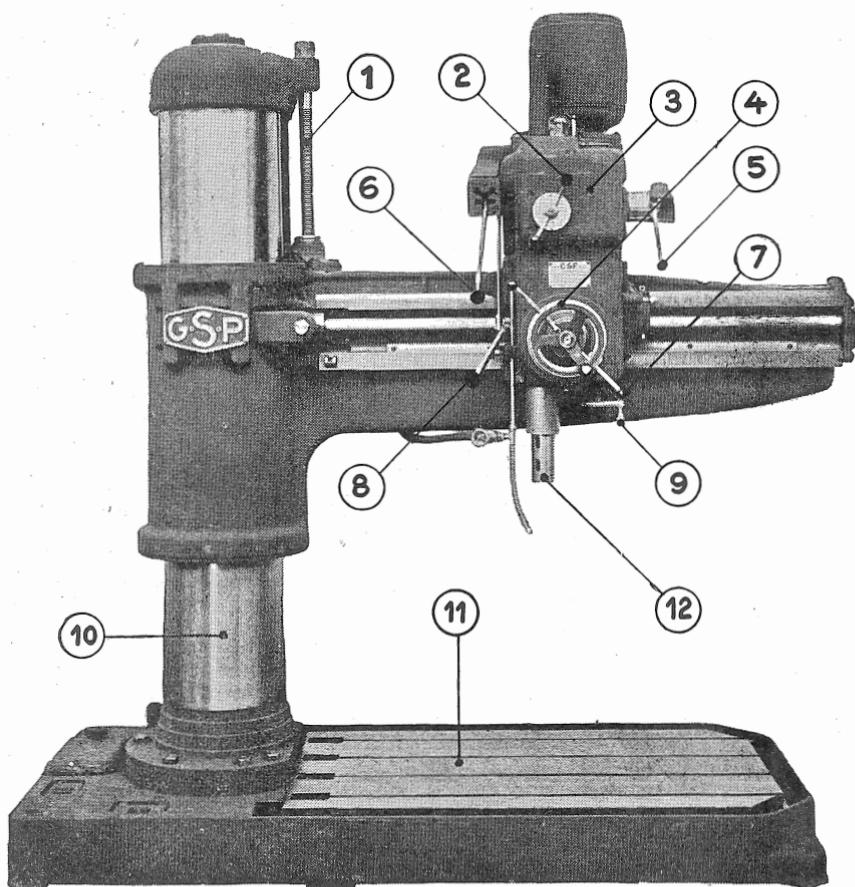


Fig. 110

1. Vis d'élévation du bras radial.
2. Levier de commande des avances.
3. Boîte des vitesses de broche.
4. Volant de déplacement du chariot porte-broche.
5. Levier de sélection des vitesses de broche.
6. Levier d'embrayage, de renversement de marche et de freinage.
7. Levier d'embrayage des avances automatiques.
8. Levier de blocage.
9. Volant des avances lentes à main.
10. Colonne d'une seule pièce.
11. Socle nervuré et rainuré.
12. Broche montée sur butées et roulements à billes.

MÉCANISME DE COMMANDE DE BROCHE D'UNE PERCEUSE RADIALE

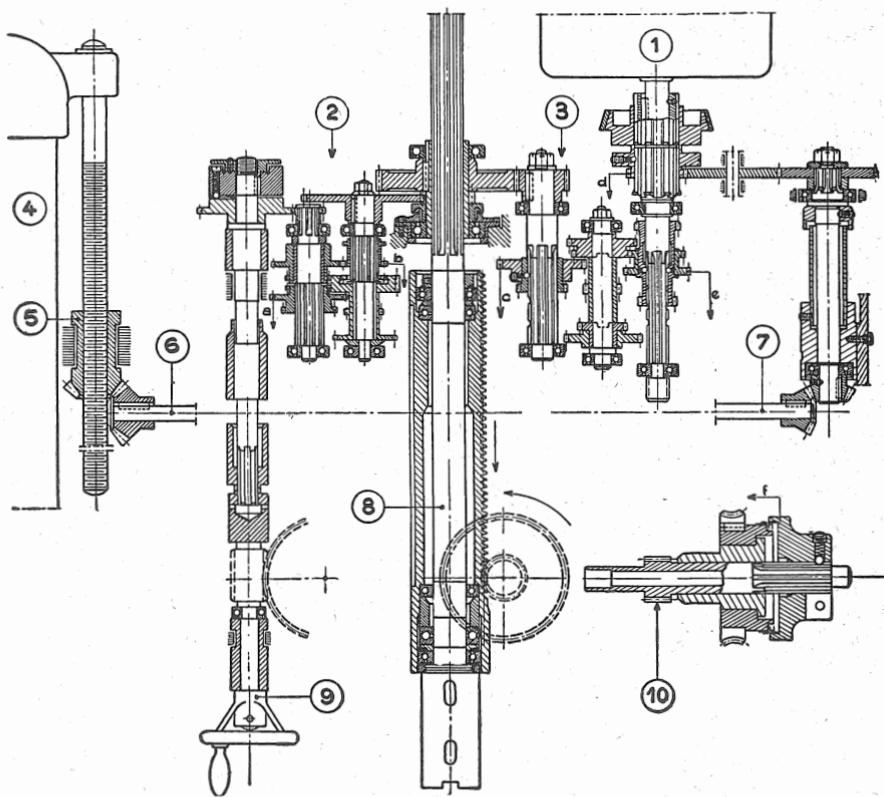


Fig. 111

1. Moteur de commande générale.
2. Commande des avances.
3. Commande des vitesses de broche.
4. Colonne.
5. Ecrou rotatif solidaire du bras radial.
6. Commande mécanique de l'écrou rotatif.
7. Tringle commandant la montée ou la descente du bras radial.
8. Broche.
9. Commande manuelle des avances.
10. Dispositif mécanique d'enclenchement des avances.

PERCEUSES MULTIPLES

Elles apparaissent dans la mécanique générale sous deux formes différentes :

1^o Perceuses multiples à broches en ligne.

2^o Perceuses multiples à broche principale.

Dans le premier type, ce sont simplement plusieurs machines à percer qui sont alignées sur un même bâti, leurs broches pouvant être commandées indépendamment l'une de l'autre.

Dans le second modèle, elles sont caractérisées par des broches multiples fixées sur un support et entraînées, en partant de la broche principale, par engrenages et cardans.

PERCEUSES MULTIPLES

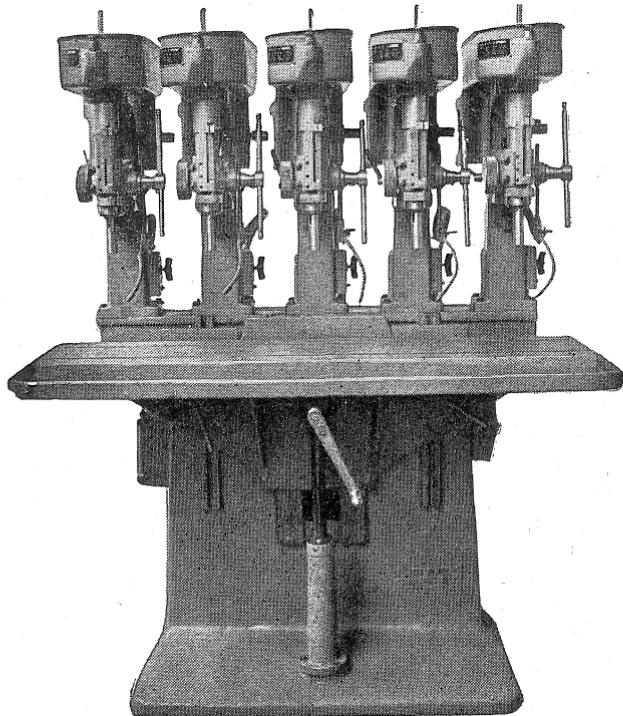


Fig. 112

Certaines machines à percer ordinaires peuvent être transformées rapidement en perceuses multiples par l'adjonction sur l'arbre porte-broche d'une tête amovible à broches multiples, celles-ci étant commandées par engrenages.

PERCEUSES MULTIPLES DE PRODUCTION

Pour le travail en **grande série** (chaînes transfert de construction automobile), certains constructeurs ont étudié de véritables **groupes de perçage multiple** à nombre imposant de broches se montant et se démontant sur des **bâts supports** et réalisant pour chacune des broches, indépendamment et simultanément :

PERCEUSE MULTIPLE A BROCHE PRINCIPALE

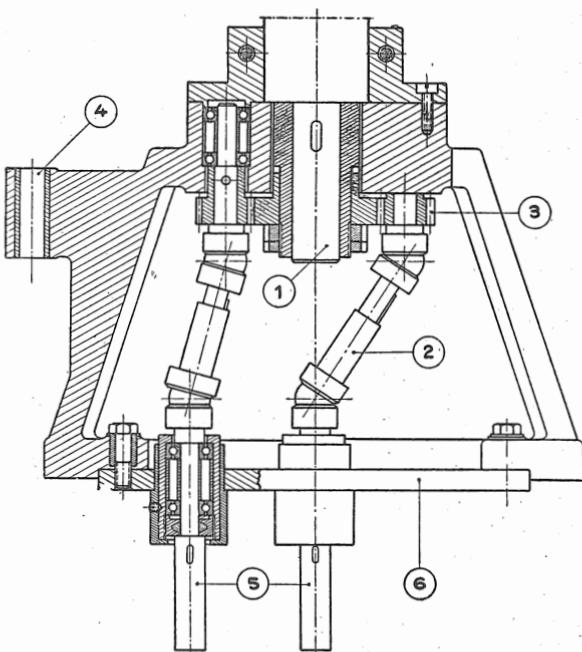


Fig. 113

1. Broche principale.
2. Transmission télescopique.
3. Engrenages satellites.

4. Canon de centrage sur le bâti.
5. Broches multiples.
6. Masque.

- a) l'approche rapide de la pièce (mise en place);
- b) le déplacement lent de travail (avance);
- c) le retour rapide de la broche (dégagement des copeaux);
- d) le dégagement définitif du foret en fin de passe.

7. CALIBRES DE PERÇAGE (Cheminées ou canons trempés)

GÉNÉRALITÉS

Pour l'exécution en **grande série** de pièces comportant un certain nombre de trous, leur traçage préalable entraînerait une grosse perte de temps et, par suite, un prix de revient trop élevé. De plus, la précision minimum n'étant pas obtenue, l'interchangeabilité en souffrirait grandement.

Les industriels ont alors été poussés à utiliser une méthode supprimant, d'une part, le traçage, et permettant l'**interchangeabilité**, d'autre part ; elle consiste à étudier et à exécuter des **calibres de perçage**. Ce travail peut être aussi bien du ressort de l'ajusteur que de celui de l'outilleur.

Les calibres de perçage ressemblent généralement à des boîtes de formes diverses à l'intérieur desquelles les pièces peuvent être **immobilisées** sans possibilité de décalage.

Sur les flasques composant le calibre on a tracé et percé avec beaucoup d'exactitude les trous devant être reportés sur la pièce. Ces trous sont ensuite garnis, par ajustement dur, de **canons trempés** ou **cheminées** servant au guidage du foret pendant l'opération de perçage. On conçoit facilement que, si le calibre est exécuté avec méthode, c'est-à-dire que la pièce puisse être démontée rapidement, il permettra l'exécution rationnelle d'une multitude de perçages rigoureusement semblables.

EXÉCUTION DES CHEMINÉES OU CANONS TREMPÉS

Les cheminées seront prises généralement dans la barre d'acier dur en respectant les cotes données par le tableau ci-après.

Leur tournage nécessitera certaines précautions :

1^o **Trou de guidage du foret exécuté simultanément avec la partie cylindrique extérieure** s'ajustant dans le calibre, c'est-à-dire sans desserrage de la pince ou du mandrin du tour.

2^o **Trou du calibre, recevant la cheminée, percé à un diamètre exact** permettant un serrage de l'ordre de quelques centièmes de millimètre.

Leur emmanchement **forcé** au balancier devra être exécuté méthodiquement afin de ne pas découper un copeau à l'intérieur du trou calibré.

TRAITEMENTS THERMIQUES

Les cheminées, généralement de deux sortes : cylindriques simples ou à embases (fig. 114), doivent être **trempees à l'huile**, puis revenues au grès à 240° (jaune foncé ou ambre).

GUIDES DE PERÇAGE

Cheminée sans embase Cheminée avec embase

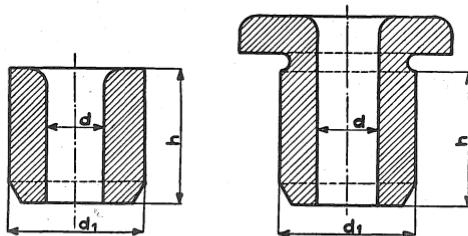


Fig. 114

NOTA. — Dans le cas de canons à embases toute initiative est laissée à l'ouvrier pour les dimensions de ces embases.

PROPORTIONS DES CHEMINÉES

d _n diam. nominal du foret	d mini- mum	d ₁ diam. ajusté	h haut.	d _n diam. nominal du foret	d mini- mum	d ₁ diam. ajusté	h haut.
Jusqu'à							
0,8 inclus	$d_n + 0,05$	3	4	de 12 jusqu'à 16	$d_n + 0,10$	24	20
de 0,8 à 1,6	— + 0,05	4	4	de 16 à 20	— + 0,15	30	20
de 1,6 à 2,4	— + 0,05	5	5	de 20 à 24	— + 0,15	36	24
de 2,4 à 3,2	— + 0,08	6	6	de 24 à 30	— + 0,15	42	24
de 3,2 à 4	— + 0,08	8	8	de 30 à 36	— + 0,15	48	30
de 4 à 5	— + 0,08	10	10	de 36 à 42	— + 0,15	56	30
de 5 à 7	— + 0,10	12	12	de 42 à 48	— + 0,15	64	36
de 7 à 9	— + 0,10	16	16	de 48 à 56	— + 0,20	72	36
de 9 à 12	— + 0,10	20	16	de 56 à 64	— + 0,20	80	42

En accord avec la Norme française NF E 21-001.

8. CENTRAGE DES PIÈCES — PIÉTAGE

GÉNÉRALITÉS

Le travail qui consiste à assembler deux ou plusieurs pièces par pieds de centrage doit être effectué avec le plus grand soin tout en apportant le plus de précision possible au mode de fixation.

UTILISATION DES PIEDS DE CENTRAGE SUR MONTAGE EN ÉQUERRE

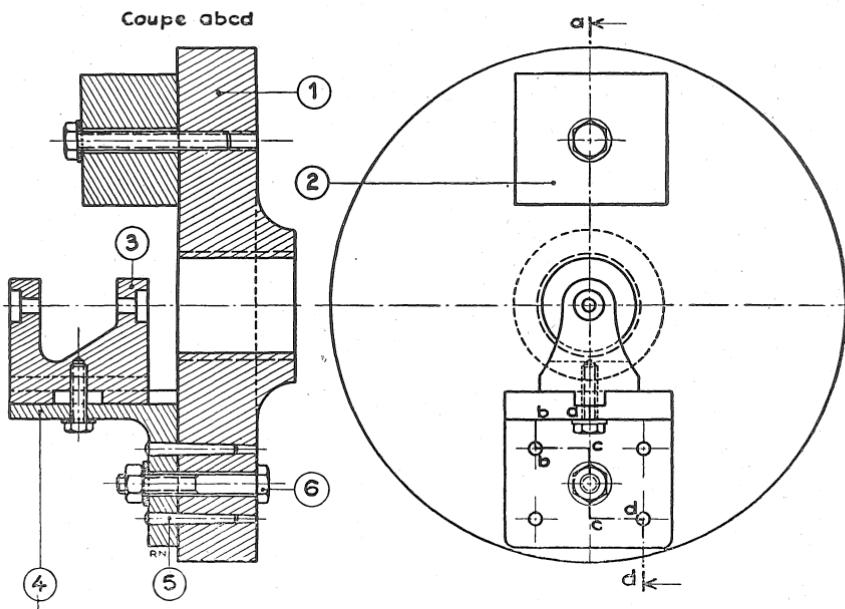


Fig. 115

1. Plateau du tour.
2. Contrepoids.
3. Pièce à usiner.
4. Equerre de montage.
5. Pieds de centrage (fermés dans l'équerre et gras dans le plateau).
6. Boulon de fixation.

Cette méthode de centrage prend l'appellation de **piétage**, elle permet alors un démontage fréquent des organes en présence sans diminuer d'aucune façon la précision du montage.

DÉFINITION

Le **piétage** consiste à rendre **immuable latéralement** le fonctionnement de pièces ou d'organes en présence, indépendamment

de leur mode de fixation et de la fréquence de leurs démontages. En mécanique, de nombreux exemples utilisent ces avantages : centrage d'un palier sur son support ; d'un instrument de mesure sur sa platine ; des plaques, contre-plaques et matrice d'un outil à découper, etc.

Deux types de goupilles sont en présence :

- a) **Goupilles cylindriques** dont le serrage est identique dans les parties assemblées ;
- b) **Goupilles coniques** avec serrage ferme dans l'organe amo-
vible et serrage gras dans la partie fixe. Ces derniers ont l'avant-
tage de permettre, à la suite de démontages fréquents, un possible
rattrapage de jeu.

Conduite d'une opération de piétagage

Nous avons choisi comme exemple un des travaux les plus courants en **tournage** : le montage d'une **équerre d'usinage** sur un plateau de tour (fig. 115).

1° Après avoir exécuté le trou de passage du boulon de fixation ; **pointer** et **percér** les quatre trous guides des goupilles coniques sur l'équerre d'usinage.

2° **Fixer** cette équerre sur le plateau, la pièce à usiner ayant été préalablement **tracée** et **mise en place**.

3° **Centrer** parfaitement le montage avec le **trusquin** ou le **comparateur** suivant que la pièce est brute ou déjà usinée, puis bloquer énergiquement le tout.

4° **Reporter** sur le plateau par **contreperçage** les avant-trous des goupilles ; **aléser** à l'équarisoir ou à l'alésoir suivant leur diamètre, puis **ajuster** les **pieds coniques**. Toutes ces opérations seront conduites sans toucher au boulon d'assemblage de l'équerre.

5° **Chasser** les goupilles dans la partie démontable et redonner un léger coup d'alésoir dans l'organe fixe afin d'aboutir à un démontage facile.

Nous pourrons ensuite replacer autant de fois que l'usinage l'exigera, l'équerre sur son plateau sans que la précision du dispositif d'assemblage puisse en souffrir.

Remarque. — Dans tout assemblage mécanique comportant des vis de fixation, il est de règle :

- a) pour des **montages très précis**, utiliser des pieds cylindriques ou coniques conjointement avec des vis à tête cylindrique ;
- b) Pour des **montages ordinaires**, se contenter des vis à tête fraisurée, dont le cône à 90° est largement acceptable.

9. FILETAGE

Systèmes de filetages

CLASSIFICATION

Les différents **systèmes de filetage** utilisés en mécanique depuis la disparition des **systèmes français et international** sont les suivants :

1^o Le **système I.S.O.** ou **M** (métrique), filet triangulaire (fig. 116) **NF E 03.001**.

Origine. — Le filetage triangulaire est maintenant le plus répandu ; mais, avant 1894, chaque constructeur utilisant la forme de filet qui lui plaisait, il se produisait cette anomalie qu'il y avait presque autant de profils génératrices de filets que de fabricants de machines-outils. Frappés par les inconvénients d'un tel état de choses, les industriels français, réunis en congrès en 1894, adoptèrent le système suivant dit : « **Système Français** ».

Le profil génératrice était un triangle équilatéral avec troncature au sommet et au fond de filet de $1/8$ de la hauteur de ce triangle. Ce filetage portait partout.

En 1898, le Congrès de Zurich, réunissant les principaux constructeurs des pays européens, fit adopter un système de filetage copié presque entièrement sur le Système Français et qui prit l'appellation de **Système International : S.I.** Ses avantages provoquèrent à brève échéance sa généralisation dans le monde entier.

Le filet S.I. a été homologué par le Comité de Normalisation de la Mécanique sous l'appellation de **CNM1** en 1928.

En février 1959 la France a modifié le **système international** pour l'adapter au **Standard américain** appelé encore **Sellers unifié**. Ce système de filetage remplace définitivement le « **S.I.** ». Il ne diffère du précédent que par l'**augmentation de la troncature du diamètre d'alésage de l'écrou d**, augmentation destinée à réduire les risques d'amorce de rupture provoqués par un profil trop aigu du vide à fond de filet de la vis. Ce filetage a été homologué le **28 février 1959**.

La **normalisation** des vis et boulons utilisés dans toutes les constructions modernes a permis l'**unification des verniers**, la réparation en France de machines américaines, anglaises, allemandes, etc., et, réciproquement, à l'étranger, de machines françaises.

D'ailleurs, les **Normes Françaises** ne se sont pas arrêtées seulement aux filetages ; actuellement, les formes et dimensions de presque tous les organes de machines sont normalisés, ce qui facilite dans une large mesure les exportations et les importations de toutes les réalisations mécaniques.

Tableau des filetages du profil I.S.O. ou M

Diamètre extérieur en mm	Pas	Pas fins	Diamètre extérieur en mm	Pas	Pas fins
Depuis 0,25	0,075		12	1,75	1 - 1,25 - 1,5
3	0,50	0,35	14	2,00	1 - 1,25 - 1,5
3,5	0,60	0,35	15	2,00	1 - 1,5
4	0,70	0,50	16	2,00	1 - 1,5
4,5	0,75	0,50	17	2,00	1 - 1,5
5	0,80	0,50	18	2,50	1 - 1,5 - 2
5,5	1,00	0,50	20	2,50	1 - 1,5 - 2
6	1,00	0,75	22	2,50	1 - 1,5 - 2
7	1,00	0,75	24	3,00	1 - 1,5 - 2
8	1,25	0,75 - 1,00	25	3,00	1 - 1,5 - 2
9	1,25	0,75 - 1,00	27	3,00	1 - 1,5 - 2
10	1,50	0,75 - 1,00	28	3,00	1 - 1,5 - 2
11	1,50	0,75 - 1,00	30	3,50	1 - 1,5 - 2

Filetage pour bougies : Ø 14, p : 1,25

FILETAGE SYSTÈME I.S.O. ou M

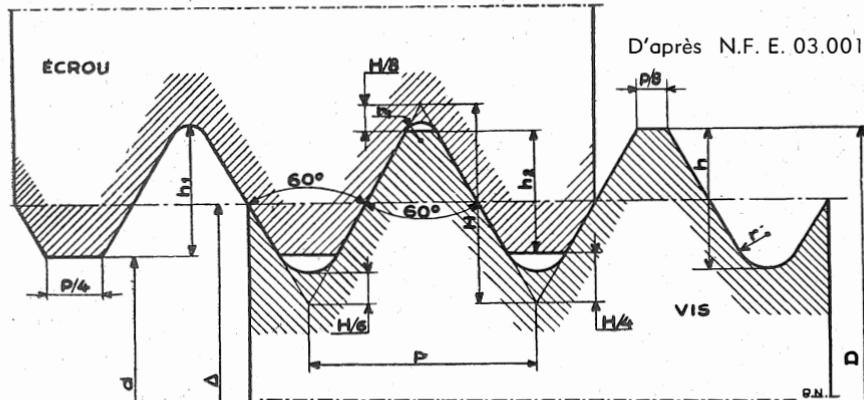


Fig. 116

Forme : Triangle génératrice équilatéral. La troncature est de 1/8 de la hauteur théorique du filet au sommet et de 1/6 de cette hauteur théorique à la base.

Dimensions

D = diamètre nominal après troncature.

P = pas exprimé en millimètres.

H = hauteur du triangle génératrice = 0,866 P.

$$H \times 17$$

h = hauteur pratique des filets de la vis = $\frac{H \times 17}{24}$ = 0,6134 P.

h₁ = profondeur pratique des filets de l'écrou

$$H \times 16$$

= $\frac{H \times 16}{24}$ = 0,5773 P.

d = diamètre d'alésage de l'écrou = D — 1,0825 P.

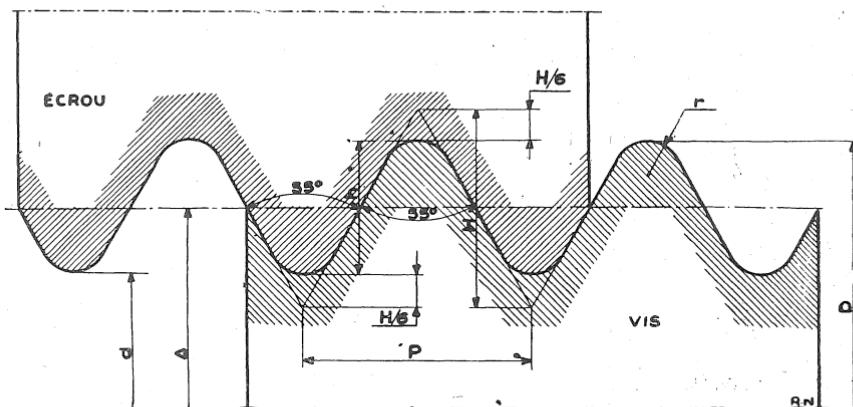
A = diamètre moyen à flancs de filet = D — 0,6495 P.

$$\frac{H}{2}$$

r = arrondi de fond de filet de la vis = $\frac{H}{6}$ = 0,144 P.

2^o Le système **Whitworth**, répandu en Angleterre et en Amérique est normalisé en France sous le nom de **pas du gaz**

FILETAGE WHITWORTH



D'après NF E 03-004

Fig. 117

NF E 03-004 ; triangle génératrice à angle au sommet de **55°**, la troncature arrondie est de $1/6$ de la hauteur du triangle génératrice au sommet et à la base et il porte partout (fig. 117).

Dimensions

D = Diamètre nominal de la vis, exprimé en **pouces anglais** (25,4 mm.).

P = Pas exprimé en **nombre de filets par pouce**.

H = Hauteur du triangle génératrice = 0,9604 P.

h = Hauteur des filets = 0,6403 P.

r = Rayon des troncatures = 0,1373 P.

d = Diamètre d'alésage de l'écrou = $D - 1,2806 P$.

3° Le système **Sellers unifié ou Standard américain** ; triangle génératrice à **60°** dont les troncatures sont au sommet de $1/8$ de la hauteur de ce triangle et à la base de $1/4$. Cette dernière troncature est la base de l'alésage de l'écrou (fig. 118).

FILETAGE SELLERS UNIFIÉ OU STANDARD AMÉRICAIN

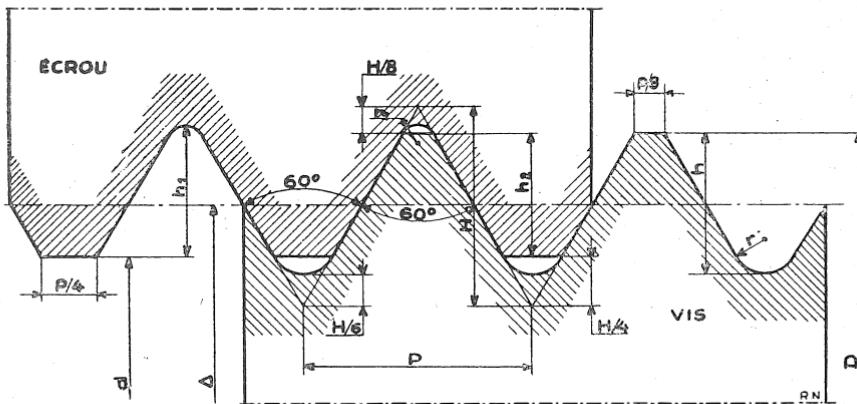


Fig. 118

Dimensions

D = Diamètre nominal de la vis exprimé en **pouces** (25,4 mm.).

P = Pas exprimé en **nombre de filets par pouce**.

H = Hauteur du triangle génératrice = 0,866 P.

$H \times 17$

$$h = \text{Hauteur pratique des filets de la vis} = \frac{H \times 17}{24} = 0,6134 P$$

24

$H \times 16$

$$h_1 = \text{Hauteur pratique des filets de l'écrou} = \frac{H \times 16}{24} = 0,5773 P$$

24

$d = \text{diamètre d'alésage de l'écrou} = D - 1,0825 P$

$\Delta = \text{Diamètre moyen à flancs de filets} = D - 0,6495 P$

H

$$r = \text{Arrondi de fond de filet de la vis} = \frac{H}{6} = 0,144 P$$

6

4° Le filetage d'Artillerie à 30° ou 45° , un flanc droit et un flanc incliné. Il est utilisé en armement pour des filetages supportant la pression d'un recul brutal, dans le filetage par reproduction (manchons et patronnes), dans l'exécution des vis de réglage des coulisseaux de presses à découper et des vérins.

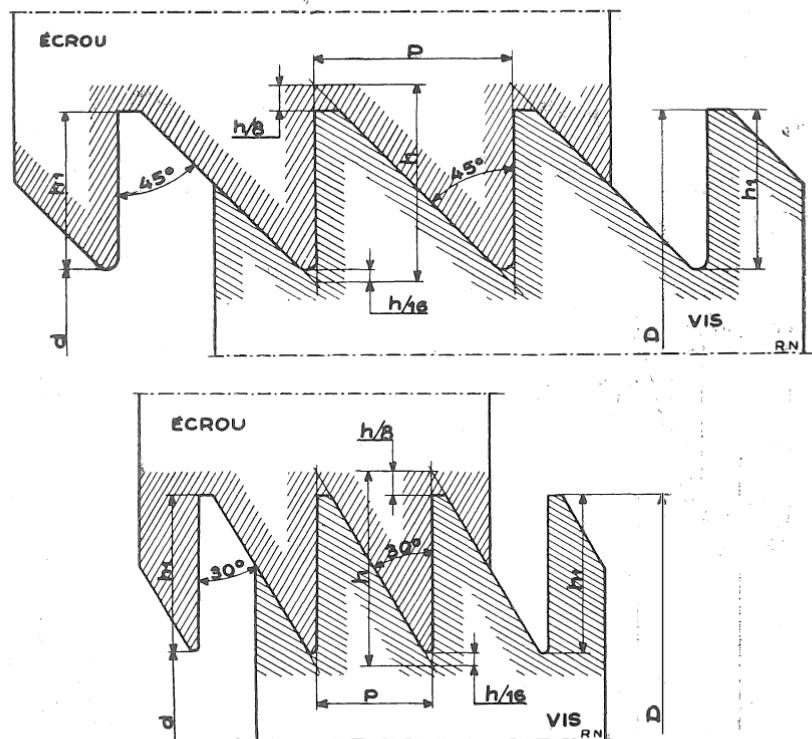


Fig. 119

5° Le filetage trapézoïdal normalisé, NFE 03-002, à filet engendré par l'enroulement d'un cordon dont la section est un **trapèze isocèle** avec des côtés non parallèles formant entre eux un angle de 30° (fig. 120).

FILETAGE TRAPÉZOIDAL NORMALISÉ

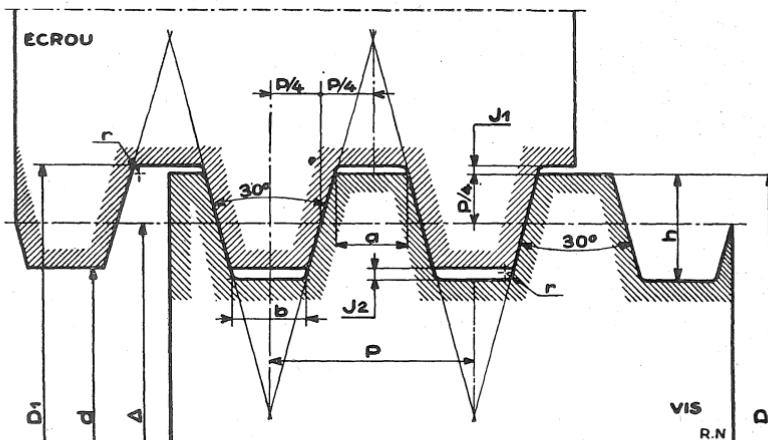


Fig. 120

D'après NFE 03-002

Les dimensions de ce filetage sont variables suivant les pas employés (consulter pour cela les Normes Françaises).

6° Le filetage Acmé, trapézoïdal américain, remplace avantageusement l'ancien filetage carré par son rattrapage de jeu. Angle au sommet 29° .

FILETAGE ACMÉ

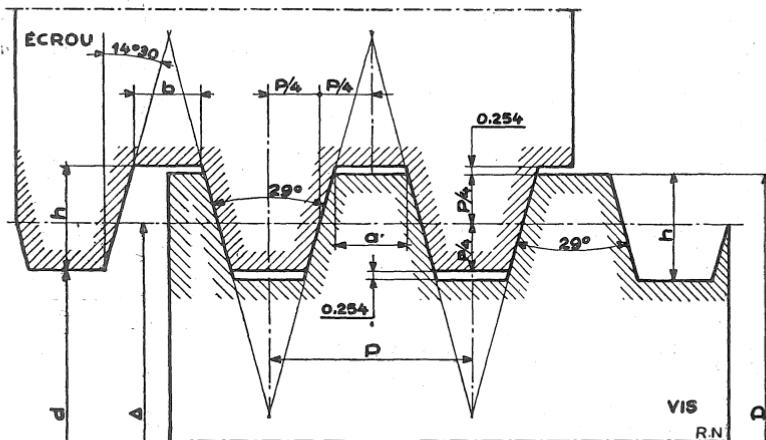


Fig. 121

Dimensions

D = Diamètre nominal de la vis, exprimé en **pouces anglais** (25,4 mm.).

P = Pas exprimé en **nombre de filets par pouce**.

h = Hauteur des filets = $P/2 + 1/100$ de pouce
= $P/2 + 0,254$ mm.

a = 0,3707 P.

b = 0,3707 P. — 0,13 mm.

d = Diamètre d'alésage de l'écrou = **D — P**.

7° Le **filetage carré** non normalisé, qui tend de plus en plus à être remplacé par le filetage trapézoïdal. Il est engendré par l'enroulement d'un cordon à section carrée autour du cylindre génératrice (fig. 122).

FILETAGE CARRÉ

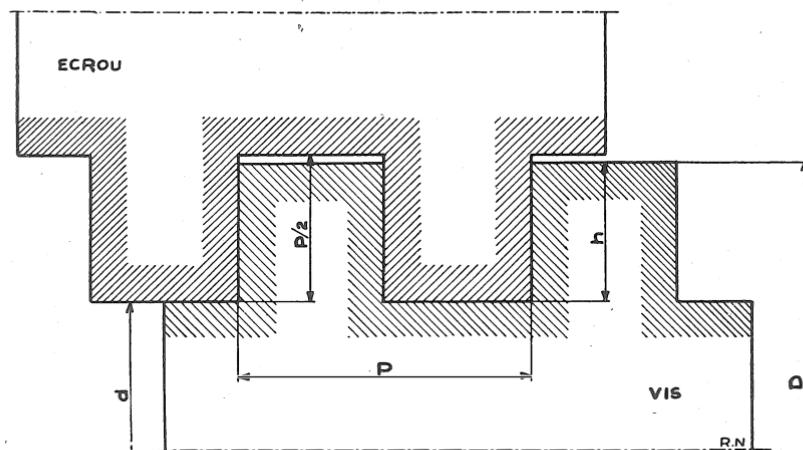


Fig. 122

Dimensions

D = Diamètre nominal de la vis, exprimé en **millimètres**.

P = Pas d'hélice, exprimé en **millimètres**.

Pa = Pas apparent (cas de plusieurs filets).

h = Haut. des filets { 1 filet : $h = 9/19$ de **P** = 0,473 **P**,
2 filets: $h = 9/38$ de **P** = 0,237 **P**, etc.

d = Diamètre d'alésage de l'écrou = **D — 0,946 Pa**.

8° Le filetage rond normalisé, FD E 03-003. C'est un filetage peu employé, malgré ses qualités mécaniques ; son emploi est classique pour tous les assemblages supportant des chocs (attelages de wagons) (fig. 123).

FILETAGE ROND NORMALISÉ

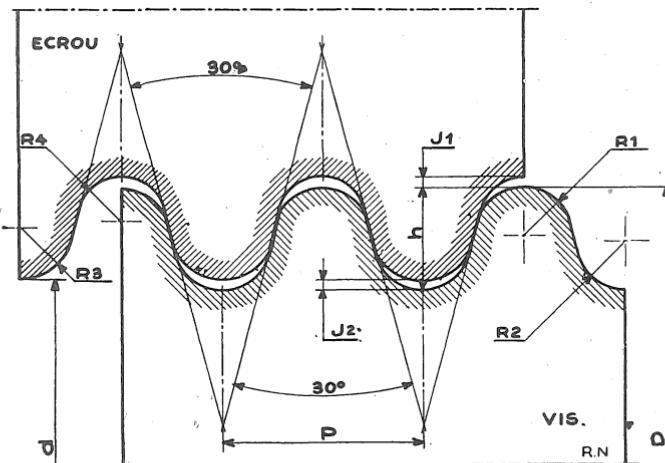


Fig. 123

Dimensions

D = Diamètre nominal de la vis, exprimé en **millimètres**.

P = Pas exprimé en **millimètres**.

R₁ = Rayon du sommet de la vis = 0,238 P.

R₂ = Rayon du fond de la vis = 0,238 P.

R₃ = Rayon du sommet de l'écrou = 0,256 P.

R₄ = Rayon du fond de l'écrou = 0,221 P.

h = Hauteur des filets = 0,5 P.

d = Diamètre d'alésage de l'écrou = D — 0,9 P.

10. TARAUDAGE

DÉFINITION

Le **taraudage** est une opération qui consiste à tracer un sillon hélicoïdal à l'intérieur d'un trou préalablement exécuté. Dans la pratique courante on ne peut évidemment, pour des petits trous taraudés, fileter ceux-ci sur le tour, on a recours alors à un outil spécial appelé **taraud** qui, se centrant à l'intérieur du trou initial, forme le filet demandé.

EXÉCUTION DU TROU INITIAL

Théoriquement, et en application du système I.S.O. (M), on calcule le diamètre de perçage en se servant de la formule :

$$d = D - 1,082 P$$

d : diamètre de perçage; **D** : diamètre nominal; **P** : pas.

Mais le gonflement du métal inhérent à toute opération de taraudage oblige à modifier dans la pratique le diamètre théorique de perçage. Un taraudage correctement conduit nécessitera donc dans certains cas un **essai préalable**, car tous les métaux ne réagissent pas de la même façon ; de plus, les tarauds peuvent être plus ou moins usagés. L'expérience a montré l'utilité de la formule suivante :

$$d = D - P \text{ (travaux courants)}$$

TARAUDS

Les tarauds sont des outils de coupe à main formés par des tiges cylindriques filetées sur une partie de leur longueur ; ces tiges peuvent être en acier fondu ou en acier spécial au tungstène.

Pour permettre la coupe du métal, le filetage est interrompu sur chacune de ses spires par 3 ou 4 cannelures pratiquées à la fraise longitudinalement. Ce sont ces goujures qui créent les différents angles déterminant la coupe.

DESCRIPTION

Chaque taraud est composé de trois parties : 1^o Un **corps fileté** ou partie travaillante ; 2^o Un **collet** cylindrique d'un diamètre quelquefois inférieur à celui du noyau ; 3^o Une **tête** carrée ou méplate destinée à recevoir le tourne-à-gauche.

Sur le collet sont indiquées les **constantes** du taraud : diamètre et pas.

DIFFÉRENTS TYPES DE TARAUDS

- a) **Tarauds exécutés par l'ajusteur**, à section triangulaire, carrée ou méplate, pour le travail du laiton ou des métaux légers ;
- b) **Tarauds ordinaires à filets concentriques**, possédant 3 ou 4 tranchants ;
- c) **Tarauds Echols**, avec un filet interrompu entre deux cannelures consécutives ou à **filets alternés** ;

TARAUD A FILETS CONCENTRIQUES

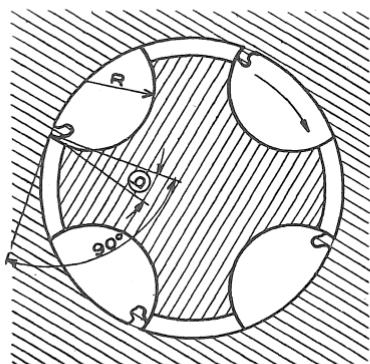


Fig. 124

TARAUD A FILETS DÉPOUILLÉS

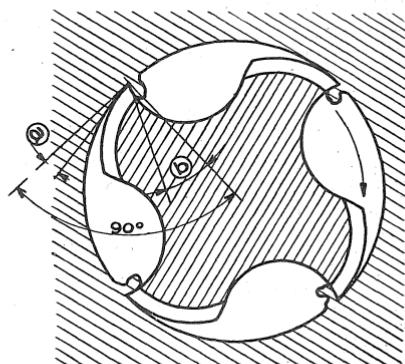


Fig. 125

- d) **Tarauds longs pour machines à tarauder verticales**, à queue cylindrique sur toute la longueur ; ce sont les tarauds « **enfilade** » ;
- e) **Tarauds longs pour machines à tarauder horizontales**, à carré d'entraînement ;
- f) **Tarauds-mères** pour coussinets de filières.

g) **Tarauds à filets dépouillés.** Ce sont des tarauds à filets taillés excentriquement et déterminant un angle à de dépouille. Plus coûteux que les tarauds ordinaires ils ont par contre un rendement bien supérieur et sont plus spécialement réservés pour le travail en grande série, pour des trous débouchant qui nécessitent une certaine précision.

Généralement exécutés en acier à coupe rapide, leurs filets sont rectifiés après trempe ; ils autorisent en outre des vitesses de coupe bien supérieures à celles permises par les tarauds ordinaires. Une précaution sérieuse est à prendre dans leur emploi : ne jamais les détourner en période de travail sous peine de provoquer l'émousage et même la rupture des arêtes tranchantes. Les **tarauds enfilade** sont à filets dépouillés.

PRATIQUE DU TARAUDAGE

Dans l'opération de taraudage, il faut avoir soin tout d'abord de bien lubrifier le taraud, soit à l'**huile**, soit au **suif**, et de communiquer à celui-ci un mouvement de rotation dans le sens du visage en revenant très souvent en arrière, le taraud étant maintenu à l'aide d'un roule-goupille ou d'un tourne-à-gauche perpendiculairement à la surface de travail.

Ce retour en arrière permet au copeau de se détacher tout en évitant ainsi le coinçage de l'outil et, par suite, sa rupture.

Nota. — Pour des tarauds de faible diamètre et pour des pièces peu volumineuses, il est recommandé de **ne jamais serrer celles-ci dans un étau**, pour éviter la rupture de l'outil ; de préférence les **saisir manuellement**.

EXÉCUTION DES TARAUDS

Les tarauds sont, en général, exécutés par **jeux**. Ces jeux comprennent la plupart du temps trois tarauds : un taraud **ébaucheur** conique sur environ deux tiers de la longueur du filetage, un taraud **intermédiaire** tronconique sur trois filets et un taraud **cylindrique finisseur** (fig. 126).

Dans le cas de tarauds très soignés, on est conduit à tourner leur diamètre extérieur $D' 1/12$ de la hauteur théorique du filet au-dessus de la cote D (application de la troncature du profil I.S.O.), car le **diamètre de la vis se mesure toujours sur troncature**.

DIFFÉRENTS TYPES DE TARAUDS

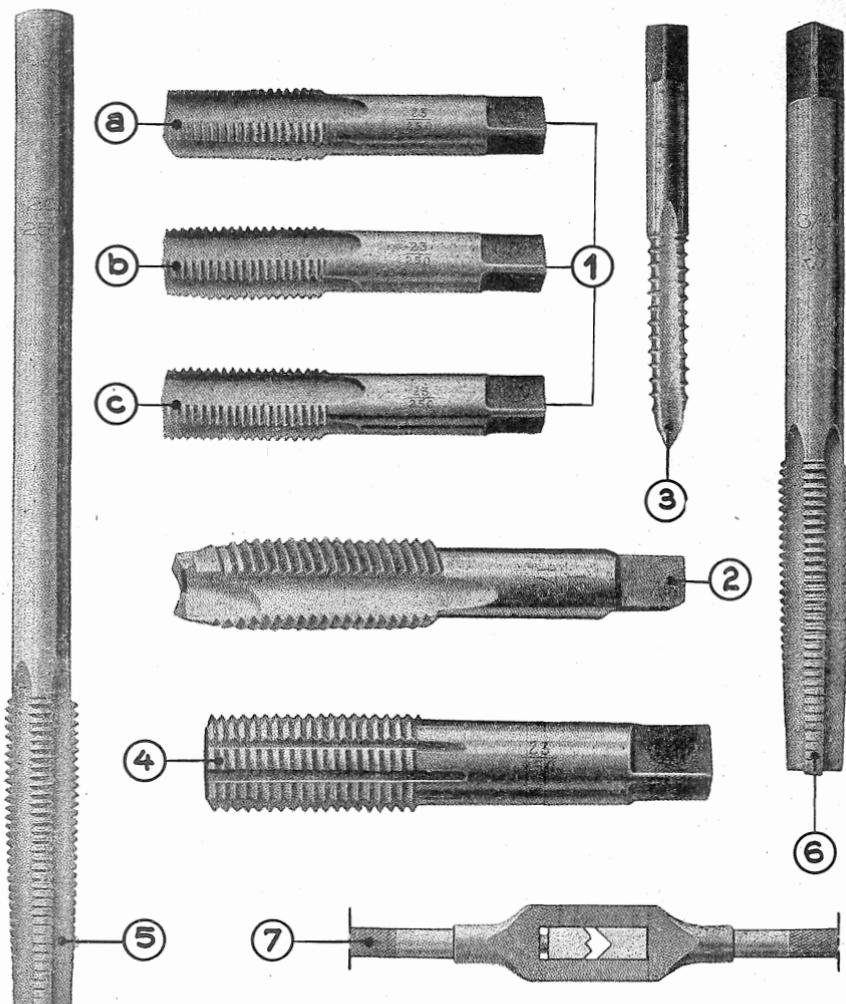


Fig. 126

1. Tarauds courts à main {
a Taraud ébaucheur.
b Taraud intermédiaire.
c Taraud finisseur.
2. Taraud à filets rectifiés.
3. Taraud « Echols ».
4. Taraud-mère.
5. Taraud pour machine à tarauder verticale ou taraud « enfilode »
6. Taraud pour machine à tarauder horizontale.
7. Tourne-à-gauche.

$$D' = D + 0,072 P.$$

D' = Diamètre du taraud.

D = Diamètre nominal.

P = Pas.

Le tournage exécuté, on taille à la fraise-molette convexe trois ou quatre **cannelures** suivant l'importance des diamètres. Ces cannelures créent un angle de pente d'affûtage d'autant plus grand qu'elles sont plus larges.

On pratique ensuite le **détalonnage d'entrée** suivant leur gamme de travail : 1, 2 ou 3, puis on procède au traitement thermique.

PRÉCAUTIONS A PRENDRE POUR TARAUDER UN TROU BORGNE

Les trous borgnes sont des trous ne débouchant pas, pour cette raison, leur taraudage doit être conduit avec méthode. Les copeaux détachés par l'outil sont en partie repoussés par celui-ci vers le fond du trou et y forment un petit tampon élastique empêchant de « sentir » la fin de l'opération. Il est donc indispensable de sortir fréquemment le taraud pour extraire ce matelas métallique et aboutir à une butée franche de l'outil en fin de taraudage. On a intérêt à terminer le travail avec le taraud n° 3 afin de produire une longueur de filetage aussi grande que possible.

TRAITEMENT THERMIQUE

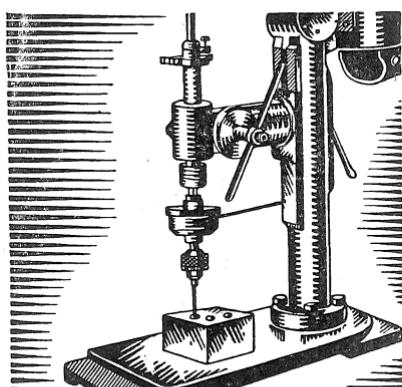
Chauder, avec beaucoup de précautions, jusqu'au rouge cerise (850 à 900°), puis tremper à l'huile **en bout**. Un polissage parfait des rainures facilitera l'observation du revenu **au jugé**. Le revenu sera conduit en utilisant une source de chaleur relativement faible remontant du collet vers la tête de l'outil, jusqu'à obtention du **jaune paille**. Si le taraud est dégagé derrière le filetage, faire revenir l'étranglement au **bleu**.

Le revenu peut également être pratiqué avec plus de régularité et d'homogénéité dans un **bain de sable ou de grès** porté à une température convenable (220°).

Appareils et machines à tarauder. — Dans les ateliers de fabrication et pour des travaux de série, on utilise avec avantage des **appareils à tarauder** s'adaptant sur les perceuses sensitives, et également des **taraudeuses mécaniques** horizontales et verticales qui sont de véritables machines-outils.

VITESSES DE COUPE ET LUBRIFIANTS RECOMMANDÉS
POUR LE TARAUDAGE SUR MACHINE

MATIÈRE A TARAUDER	VITESSE DE COUPE MÈTRES/MINUTE POUR TARAUDS			LUBRIFIANTS
	Acier fondu	Acier à coupe rapide	Acier à coupe rapide filets rectifiés	
Aciers de 40 à 50 kg...	3-7	12-15	20-30	Huile de coupe - Huile de colza
Aciers de 55 à 70 kg...	3-7	10-12	15-20	—
Aciers de 70 à 85 kg...	2-3	8-10	12-15	—
Aciers au-dessus de 85 kg	main	5-8	10-15	—
Acier au nickel-chrome...	main	3-5	7-9	Pétrole - Huile de coupe
Acier inoxydable				Térébenthine
Cuivre suivant alliage...	2-3	8-12	15-25	Huile de coupe spéciale - Lait
Bronze doux	5-10	15-20	25-30	Pétrole
Laiton doux	10-12	15-20	40-60	Huile de coupe
Laiton demi-dur	8-10	10-15	20-30	—
Aluminium	10-15	15-25	40-60	Pétrole
Alliages d'aluminium...	Variable	suiv. nature		
Fonte ordinaire douce...	5-10	10-12	15-20	A sec - Huile de coupe
Fonte malléable 1/2 dure	2-5	6-8	10-15	—
Fonte acierée dure....	main	3-5	10-15	—



11. FILETAGE A LA FILIERE

DÉFINITION

Le **filetage à la filière** consiste à former un filet hélicoïdal autour d'un cylindre pour en constituer une vis ou une tige filetée. Cette opération plus rudimentaire et beaucoup moins précise que le filetage au tour parallèle fournit cependant des résultats très acceptables pour tous les assemblages démontables.

PRATIQUE DE L'OPÉRATION

Préparer l'opération en ayant soin de tourner le cylindre à fileter à une **cote légèrement inférieure** au diamètre nominal :

$$d = D - \frac{20}{D}$$

d = Diamètre de filetage à la filière.

D = Diamètre nominal.

Cette diminution de diamètre compensera le **gonflement de métal** provoqué par le passage de la filière. Il sera nécessaire, d'autre part, d'exécuter à l'extrémité de la tige cylindrique une légère partie conique sur environ 10 mm de longueur pour faciliter l'entrée de la filière. (Utilisation des filières à diamètre fixe.) Si le cylindrage de la tige à fileter était effectué exactement au diamètre nominal, la troncature du filet n'existerait plus après le passage de la filière par suite du gonflement du métal, ce qui aurait pour effet d'arracher le sommet du filet.

Toute opération de filetage à la filière doit être précédée d'une **fixation énergique de la tige**, soit dans l'étau, soit dans un mandrin de tour. **S'assurer**, dans le cas d'utilisation d'une filière à coussinets, que ceux-ci correspondent bien au pas demandé, les approcher ensuite contre la tige et les faire mordre régulièrement en **huilant abondamment**, faire plusieurs passes successives pour de gros diamètres. Si les coussinets sont escamotables (filières Duplex et Unicum), les desserrer et remonter la filière à vide.

DIFFÉRENTES SORTES DE FILIÈRES

- 1^o Filières à diamètre fixe ;
- 2^o Filières à deux coussinets ;
- 3^o Filières automatiques.

1° Filières à diamètre fixe

Ce sont les plus communément employées dans notre profession. Elles se nomment **filières-truelles** ou **filières à lunette**.

Les **filières-truelles** ne sont guère utilisées que pour les petits diamètres ; de plus, leur forme par trop primitive les a fait délaissé presque complètement. Elles sont maintenant avantageusement remplacées par les **filières à lunette** qui sont à coussinets ronds ou prismatiques suivant la forme du porte-filière. Plusieurs trous cylindriques débordent latéralement dans le trou taraudé, créant ainsi l'**angle de pente d'affûtage**. Une fente peut être pratiquée sur le champ de la filière, la rendant ainsi légèrement expansible. Cette légère expansibilité évite l'utilisation d'un jeu de trois filières comparable au jeu de trois tarauds.

La position des centres des trous de dégagement joue un rôle très important dans la coupe de la filière ; une faible variation de l'entraxe a modifie de façon appréciable la valeur de l'angle

MODE D'ACTION D'UNE FILIÈRE A LUNETTE

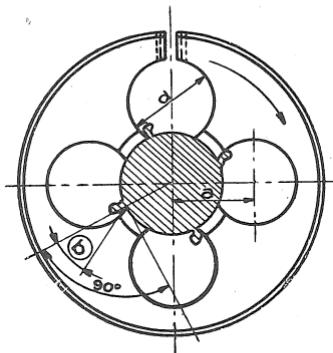


Fig. 127

de pente d'affûtage \hat{b} , aussi cette distance doit-elle être judicieusement établie. L'angle de pente d'affûtage étant d'autant plus grand que le trou de dégagement se rapproche de la **tangence** avec la circonference filetée.

2° Filières à coussinets

Dans ce genre de filière, les deux coussinets composant ses parties travaillantes se fixent à l'intérieur d'une monture, leur assurant une position invariable dans le sens transversal, tout en leur permettant un léger glissement dans le sens perpendiculaire à l'axe du cylindre.

Les **coussinets** sont en acier fondu trempé et revenu, ou en acier spécial au tungstène, ajustés à frottement doux dans la

cage de la filière. Ils sont percés et taraudés, puis ensuite rectifiés à l'aide d'un **taraud-mère** et séparés mutuellement après qu'ont été pratiqués les trous de dégagement des copeaux.

FILIÈRE A COUSSINETS

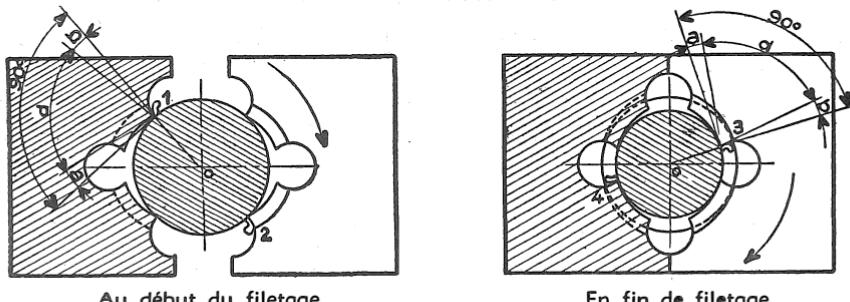


Fig. 128

Les arêtes tranchantes de ces coussinets travaillent dans d'excellentes conditions.

Au début du filetage ce sont les arêtes 1 et 2 qui détachent le copeau, alors qu'en fin d'opération ce sont les arêtes de coupe 3 et 4 qui terminent le travail (fig. 128).

Ce genre de filière peut permettre, à la rigueur, le filetage de tiges de diamètre légèrement supérieur ou inférieur au diamètre nominal et ceci avec la même paire de coussinets.

PORTE-FILIÈRES A COUSSINETS. — Les filières à coussinets exigent, pour leur entraînement, des montures spéciales dont les principaux types peuvent être classés comme suit :

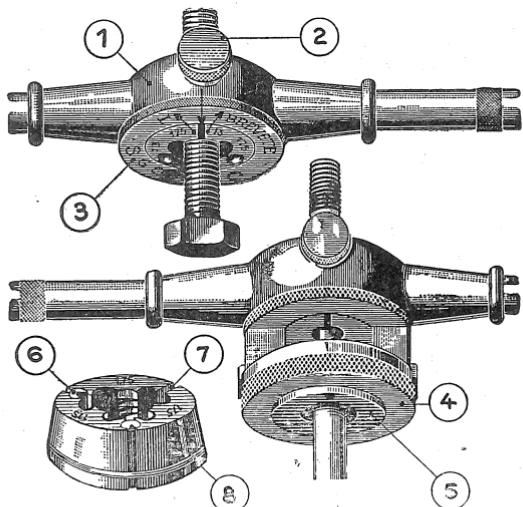
- a) **Porte-filière à plaque** pour coussinets prismatiques à champs inclinés.
- b) **Porte-filière à guide** avec bras de réglage.
- c) **Porte-filière à guide** avec cage inclinée et vis de réglage.
- d) **Porte-filière multiple** avec anneau et vis de réglage.
- e) **Porte-filière à deux vis** avec orientation des coussinets dans un plan perpendiculaire à la direction des bras.

3^o Filière « LC »

C'est un outil particulier qui tient de la filière à lunette par la forme et de la filière à coussinets par le mode d'action. Elle est constituée par **trois coussinets articulés** sur deux cylindres à bouts sphériques. Ces trois coussinets dont l'ensemble est **conique extérieurement** sont obtenus après usinage par des sciages à 120°.

Leur liaison est ensuite réalisée à l'aide d'un « **jonc** » en corde à piano.

L'**expansibilité** et l'**arrêt** des coussinets dans la cage du porte-filière sont obtenus par **vis pointeau**.



FILIÈRE « LC »

1. Cage du porte-filière.
2. Vis pointeau.
3. Ecrou moleté.
4. Guide spécial.
5. Canon amovible.
6. Cylindres d'articulation.
7. Encoche d'expansibilité.
8. Jonc de liaison.

Fig. 129

Un **écrou moleté, conique intérieurement**, est vissé dans cette cage en emprisonnant les coussinets ; il sert au réglage combiné avec la vis pointeau.

Un **guide spécial à canons amovibles** complète l'ensemble en s'adaptant sur le porte-filière pour faciliter le centrage en période de filetage.

RÉGLAGE DE L'OUTIL

Filetage au diamètre nominal. Orienter le cran des coussinets en regard de la vis pointeau, puis visser l'écrou moleté de réglage jusqu'à ce qu'il affleure les coussinets ; serrer ensuite la vis pointeau.

Filetage supérieur au diamètre nominal ou encore filetage en deux passes. Après avoir desserré la vis pointeau, dévisser l'écrou moleté de réglage (un tour pour 0,5 mm) jusqu'à ce qu'il désaffleure les coussinets ; resserrer ensuite la vis pointeau.

Filetage inférieur au diamètre nominal. Desserrer la vis pointeau, visser l'écrou moleté de réglage jusqu'à ce que les coussinets le désaffleurent ; revisser ensuite la vis pointeau.

DIFFÉRENTS TYPES DE FILIÈRES

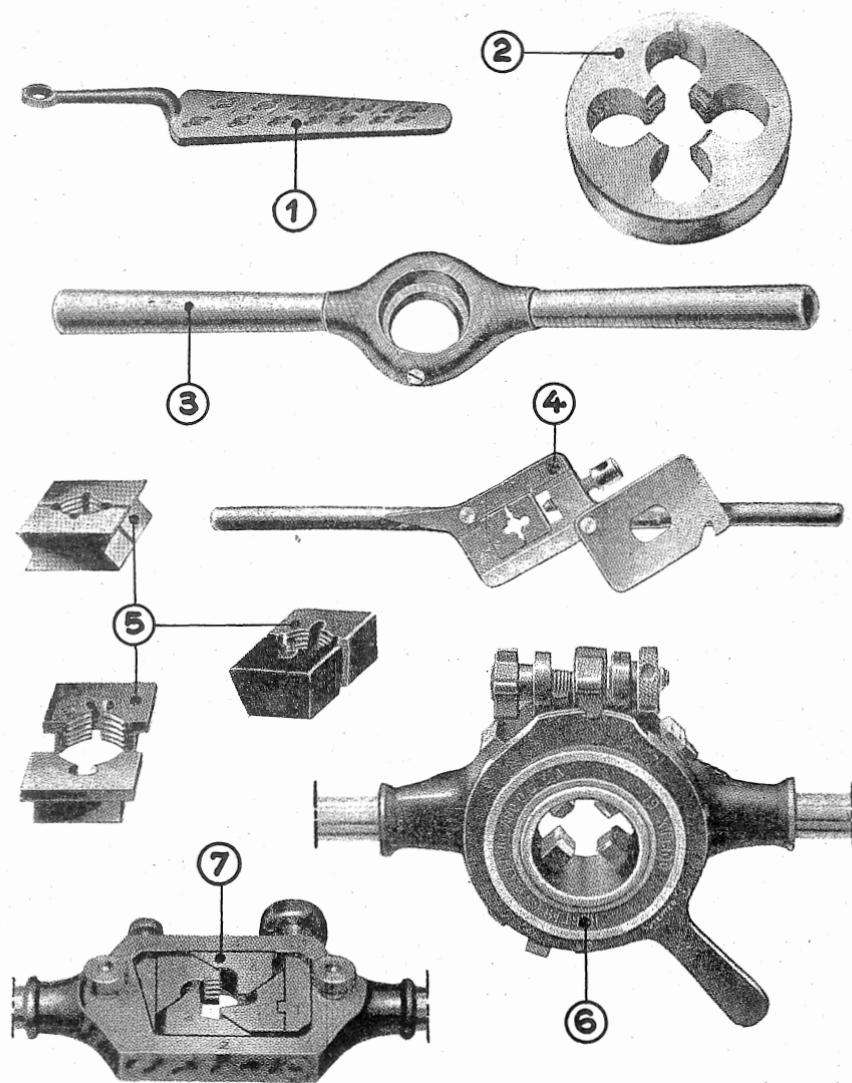


Fig. 130

1. Filière truelle.
2. Filière à lunette.
3. Porte-filière à lunette.
4. Filière à coussinets.
5. Différents types de coussinets.
6. Filière automatique du type « Duplex ».
7. Filière automatique du type « Unicum ».

AVANTAGES DE LA FILIÈRE « LC »

La filière « LC » possède trois avantages importants :

1^o **Affûtage facile** des trois coussinets séparés ;

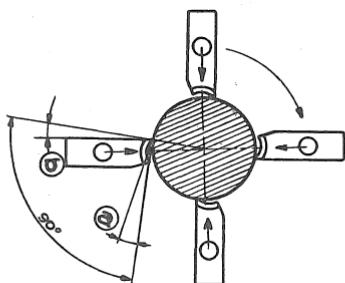
2^o **Expansibilité importante** de l'outil permettant des passes successives d'ébauche et de finition ;

3^o **Guidage judicieux** de la tige à fileter pour amorcer le sillon en hélice grâce à des canons amovibles ou à un dispositif de centrage en vé.

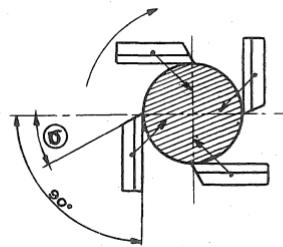
4^o Filières automatiques

Nous remarquons, dans ce genre de filière, que les quatre peignes réglables s'ouvrent et se centrent automatiquement. Pour les filières du type **Duplex**, chacun d'entre eux possède un petit talon cylindrique s'engageant dans quatre rampes hélicoïdales pratiquées sur la came réglant le dispositif (1).

FILIÈRES AUTOMATIQUES



Mode d'action
des filières du type DUPLEX



Mode d'action
des filières du type UNICUM

Contrairement aux filières du type **Duplex** dont les peignes sont taillés transversalement, les filières automatiques du type **Unicum** possèdent quatre peignes taillés longitudinalement. L'attaque de leurs arêtes tranchantes se fait toujours tangentiellement à la surface de la pièce à fileter.

Le choix très varié des peignes livrés avec les filières automatiques permet l'exécution d'une multitude de filetages (I.S.O., Whitworth, Sellers unifié, etc.) :

Duplex	Ø 4 à 5 mm. Pas 0,75
	Ø 6 à 7 mm. Pas 1,00
	Ø 8 à 9 mm. Pas 1,25
	Ø 10 à 11 mm. Pas 1,50
	Ø 12 à 13 mm. Pas 1,75

Unicum	Ø 3 à 11 mm. Pas 0,75
	Ø 4 à 12 mm. Pas 1,00
	Ø 5 à 12 mm. Pas 1,25
	Ø 6 à 13 mm. Pas 1,50
	Ø 7 à 13 mm. Pas 1,75

(1) Plusieurs marques se partagent actuellement cette fabrication ; la plus importante est vraisemblablement « **Virax** ».

Les filières à peignes présentent sur les filières à coussinets le gros avantage de couper plus correctement le métal en ne produisant qu'un gonflement négligeable.

Remarque. — Il est recommandé, dans l'utilisation des filières automatiques, de ne jamais revenir en arrière, mais de débloquer les peignes en fin de passe et de dégager complètement la filière.

AVANTAGES DES FILIÈRES AUTOMATIQUES

- 1^o **Exécution d'un même pas sur plusieurs diamètres différents ;**
- 2^o **Affûtage facile** des peignes, permis par leur démontage du corps de la filière ;
- 3^o **Possibilité d'amorcer le filetage** sur la périphérie du cylindre, grâce à l'extrême expansibilité de l'outil ;
- 4^o **Dégagement des peignes** en fin de passe pour retour à vide ;
- 5^o **Centrage parfait** de la tige à fileter soit à l'aide de **trois cylindres de guidage** commandés concentriquement, soit à l'aide de **deux vis** se rapprochant transversalement.

ENTRETIEN DES FILIÈRES

Il est indispensable, pour la bonne marche du filetage à la filière, de maintenir celle-ci dans un parfait état de propreté. Après usage, la débarrasser des copeaux qui pourraient s'être collés dans les creux de filets. Graisser ensuite légèrement après remontage.

VITESSES DE COUPE ET LUBRIFIANTS RECOMMANDÉS POUR LE FILETAGE A LA FILIÈRE SUR MACHINE

MATIÈRE A FILETER	Vitesse de coupe mètres-minute	LUBRIFIANTS
Aciers jusqu'à 0,6% de C	12-15	Huile de coupe - Huile de colza
Fonte et acier coulé....	12-15	Emulsion d'huile
Aciers à outils.....	10-12	Huile de colza - Stéarine - Huile de coupe
Acier inoxydable	6-8	Huile de coupe
Acier chrome-nickel....	6-8	Térébenthine - Emulsion
Cuivre	7-10	Térébenthine + céruse
Bronze	15-18	Huile de coupe spéciale - Lait
Laiton	15-18	{ Huile de colza - Emulsion
Aluminium	18-20	
Alliages d'aluminium...	18-20	Alcool - Pétrole - Pétrole + colza

12. VÉRIFICATION DES FILETS DE VIS

GÉNÉRALITÉS

Il arrive fréquemment que l'on rencontre de grosses difficultés pour **mesurer** ou **vérifier** avec précision le **diamètre nominal** d'une vis, d'un boulon ou d'un arbre fileté au système I.S.O. ou M.

Un certain degré d'usure peut gêner la lecture ; de plus, la **troncature** du filet peut ne pas avoir été exécutée suivant les normes I.S.O., c'est-à-dire d'une hauteur égale à 1/8 de la hauteur théorique.

CONDUITE DU CONTRÔLE

Une méthode simple est à la disposition de l'ajusteur et nous avons cru utile de l'indiquer dans ce manuel. Elle consiste à vérifier le filetage à l'aide de **cylindres d'acier calibrés** (acier stubs) d'un diamètre **d** tel que la lecture puisse avoir lieu au-dessus de la troncature (fig. 132).

FILETAGE I.S.O. OU M.

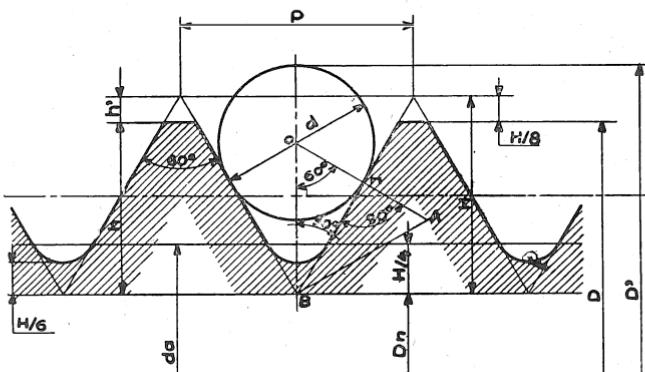


Fig. 132

$$D' = D_n + 3d$$

$$H = 0,866 P$$

$$h = \frac{0,866 P \times 14}{16} = 0,757 P$$

$$2h = 1,515 P$$

$$D_n = D - 1,515 P$$

P : Pas de la vis.

H : Hauteur théorique du filet.

D : Diamètre nominal de la vis.

D' : Diamètre de vérification.

D_n : Diamètre du noyau de la vis.

h' : Troncature I.S.O. ou M.

d : Diamètre des cylindres calibrés.

On procède toujours avec trois cylindres semblables, le premier perpendiculaire à une génératrice de la vis, les deux autres engagés dans les filets correspondant à la génératrice opposée (fig. 133).

VÉRIFICATION D'UNE VIS AU PALMER

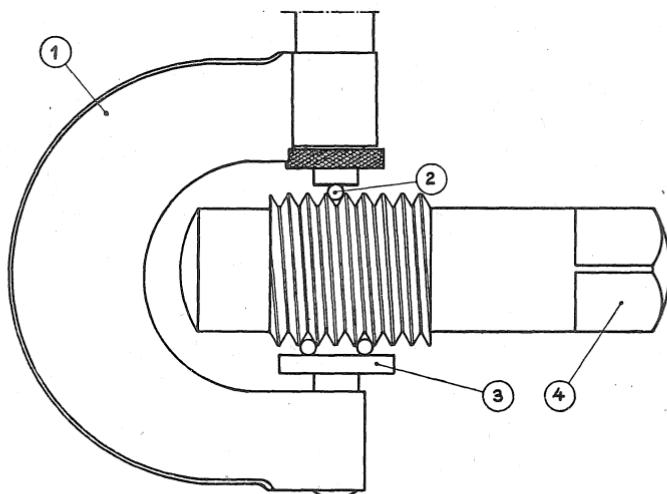


Fig. 133

1. Palmer.
2. Cylindres d'acier calibrés.
3. Cale Johannson.
4. Pièce à vérifier.

Si l'écartement des ces deux derniers est supérieur à la largeur de la butée fixe du palmer, rendant ainsi la lecture directe impossible, on sera conduit à interposer une **cale Johannson** dont on ajoutera l'épaisseur dans le calcul, calcul donné pour le filetage I.S.O. par la formule :

$$D' = D_n + 3d \quad D_n = D - 1,515 P$$

D = diamètre nominal de la vis.

D' = diamètre de vérification.

D_n = diamètre théorique du noyau de la vis.

d = diamètre des cylindres calibrés.

P = pas de la vis à contrôler.

Dans le cas d'un filetage « **Whitworth** » la formule s'établit comme suit :

$$D' = D_n + 3,165 d \quad D_n = D - 1,600 P$$

Pour le filetage **trapézoïdal normalisé** nous aurons :

$$D' = D_n + 4,864 d \quad D_n = D - 2,366 P$$

13 ALÉSAGE

GÉNÉRALITÉS

On appelle **alésage** l'opération qui consiste à agrandir ou à rectifier une surface cylindrique intérieure.

L'**alésage** peut se concevoir de plusieurs façons différentes :

1^o Avec lames et porte-lame sur une machine-outil spéciale appelée **alésouse**.

2^o Sur le tour à l'aide d'outils à aléser, de mèches à canons, de porte-lame ou de mèches-alésoirs.

3^o A la main à l'aide d'alésoirs de formes diverses.

ALÉSAGE SUR L'ALÉSEUSE

Les travaux susceptibles d'être exécutés sur une alésouse peuvent prendre les formes suivantes :

TRAVAUX D'ALÉSAGE SUR MACHINE A ALÉSER

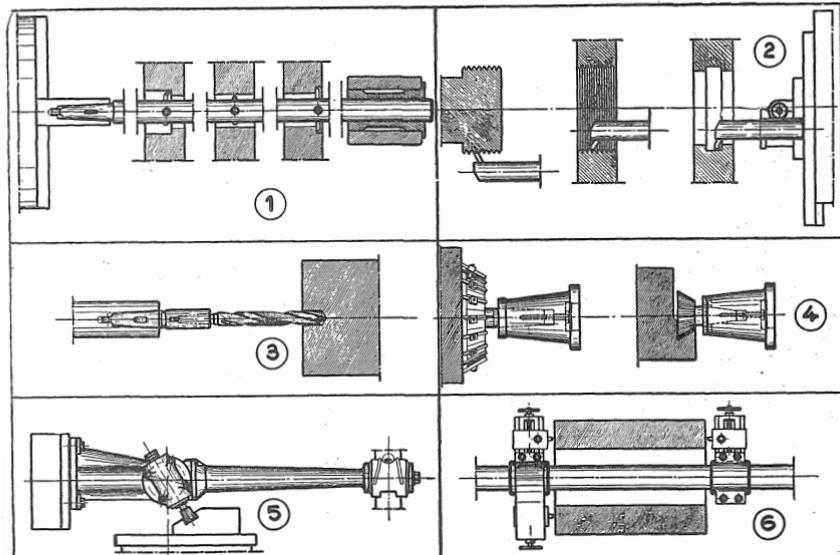


Fig. 134

1. Utilisation de la barre d'alésage avec lunette.
2. Filetage extérieur et intérieur, alésage en l'air.
3. Perçage.
4. Fraisage avec fraise à outils multiples et fraise à deux tailles d'angle.
5. Fraisage incliné avec tête universelle et lunette.
6. Dressage avec porte-outil double et simple à déplacement latéral.

- a) Alésage de pièces lourdes et encombrantes ne pouvant être équilibrées sur un tour ordinaire ;
- b) Alésage de pièces lourdes et irrégulières ne pouvant être fixées sur une autre machine-outil ;
- c) Alésages, fraisages, filetages et pointages de précision, difficilement réalisables sur le tour ou la fraiseuse.

CLASSIFICATION

Les aléseuses prennent les aspects suivants :

- 1^o Aléseuses à broche fixe en hauteur et table réglable en hauteur et direction ;
- 2^o Aléseuses à broche réglable en hauteur et table réglable en translation et direction ;
- 3^o Aléseeuse universelle dont tous les organes sont réglables.

DESCRIPTION

L'**aléseeuse universelle** ressemble d'une façon très approchée à un tour parallèle dont la poupée fixe et la contre-pointe seraient réglables en hauteur. Elle est donc constituée de la façon suivante :

- 1^o Un **bâti** formant banc à la partie supérieure ;
- 2^o Un **montant vertical fixe** supportant tous les organes moteurs : chariot porte-broche, broche, bâti de sélection des mouvements, moteur ;
- 3^o Un **montant vertical mobile** jouant le rôle de contre-pointe et guidant le support de barre réglable ;
- 4^o Une **table double pivotante** à commande manuelle ou mécanique.

MOUVEMENTS

Les mouvements de l'**aléseeuse** peuvent être énoncés comme suit :

- a) **Mouvement de rotation de l'outil** (lame encastrée dans la barre d'alésage) complété par un mouvement de translation de cette dernière, mouvement horizontal déterminé par vis et écrou ;
- b) **Mouvement vertical du chariot porte-broche** ;
- c) **Déplacement longitudinal et transversal de la table porte-pièces** ;

CHAINE CINÉMATIQUE D'UNE ALÉSEUSE

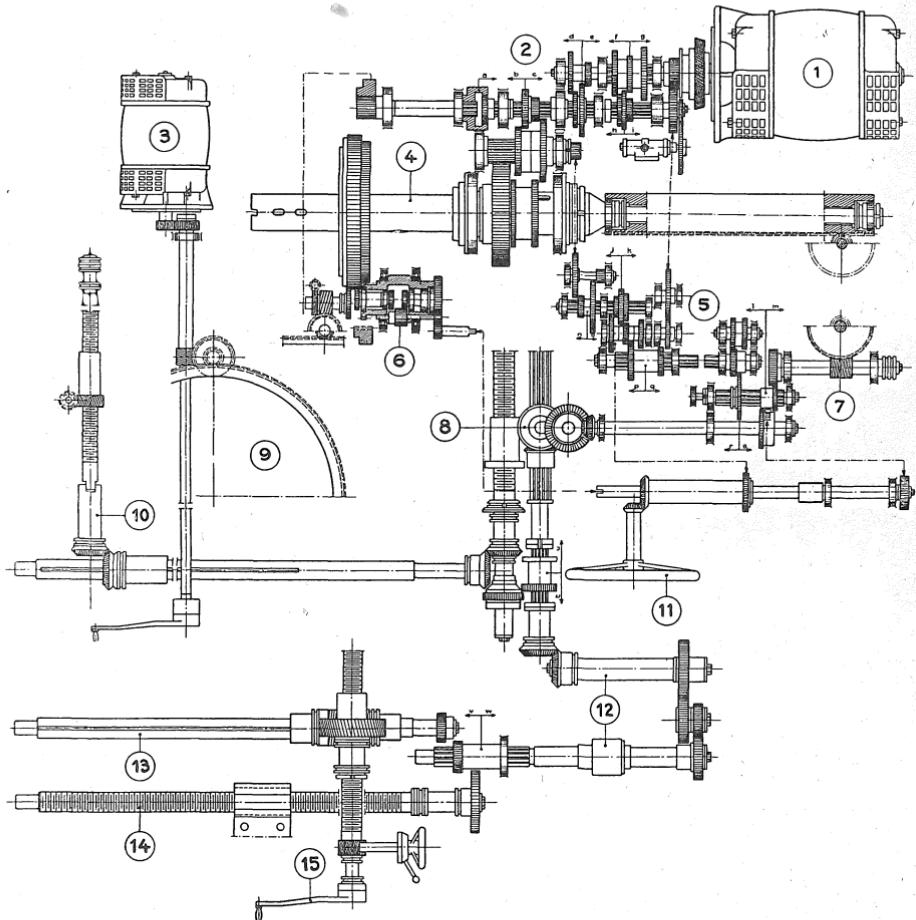


Fig. 135

1. Moteur de commande de la broche.
2. Boîte des vitesses de broche.
3. Moteur de commande de la table orientable.
4. Broche.
5. Boîte de commande des avances.
6. Commande du plateau de surfacage.
7. Commande du déplacement longitudinal de la broche.
8. Liaison de la boîte de sélection des avances avec les mouvements de la table et de la tête porte-broche.
9. Table orientable avec moteur.
10. Commande de la lunette.
11. Commande manuelle des avances de broche.
12. Montage de roues pour filetage.
13. Commande de la table par tringle pour alésage.
14. Commande de la table par vis mère pour filetage.
15. Commande manuelle de la table.

ALÉSEUSE UNIVERSELLE

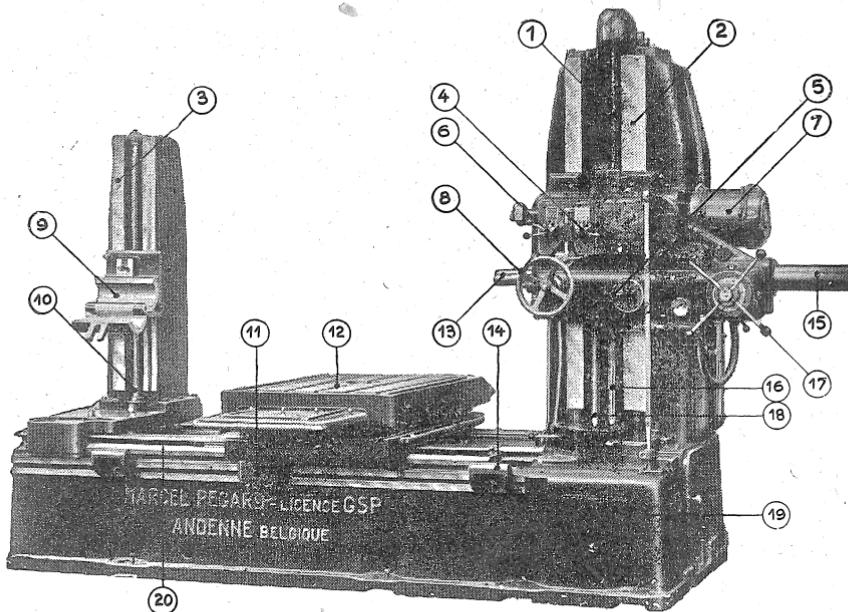


Fig. 136

- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1. Câble du contrepoids. | 11. Pompe de graissage du traînard. |
| 2. Montant fixe. | 12. Chariots porte-pièces. |
| 3. Montant mobile. | 13. Broche. |
| 4. Commande des avances. | 14. Butées de réglage des chariots. |
| 5. Levier de sélection. | 15. Fourreau de la broche. |
| 6. Commande des vitesses de broche. | 16. Tringle. |
| 7. Moteur de commande générale. | 17. Commande manuelle du fourreau. |
| 8. Volant de commande manuelle. | 18. Vis de commande du chariot porte-broche. |
| 9. Lunette de contre-pointe. | 19. Bâti. |
| 10. Vis de commande de la lunette. | 20. Banc. |

POSSIBILITÉS DE LA MACHINE

Les possibilités ou constantes de l'aléseuse sont les suivantes :

- a) **Diamètre de la broche** commandant toutes les autres caractéristiques et donnant à la machine son ordre de grandeur ;
- b) **Dimensions maxima des pièces à admettre**;
- c) **Amplitude maximum du surfacage** ;
- d) **Vitesses maximum et minimum de la broche** ;
- e) **Avances maximum et minimum** soit de la broche soit de la table.

ALÉSAGE SUR LE TOUR

Cette opération peut être conduite avec une assez grande précision à l'aide d'outils à aléser, de mèches à canons, de portelames et de mèches-alésoirs.

Dans chaque cas, il est nécessaire de percer un avant-trou à la mèche américaine, cet avant-trou pouvant ne pas être parfaitement centré ; puis ajuster l'extrémité de la mèche à canon ou de l'outil à aléser. Fixer ensuite la mèche dans le mandrin de la contre-pointe ou, pour obtenir plus de précision, la pousser avec celle-ci, maintenue par un entraîneur. Nous obtenons alors un alésage parfaitement concentrique à l'axe de la broche du tour.

Contrairement à l'aléseuse, dans ce genre de travail l'outil est fixe et la pièce est entraînée en rotation.

ALÉSAGE A LA MAIN

L'opération d'alésage s'exécute fréquemment à la main dans nos professions, la plupart du temps pour parfaire ou calibrer un trou préalablement exécuté au foret américain. Les différents alésoirs utilisés sont maintenus à l'aide de **tourne-à-gauche** ou de **roule-goupille**, la tête de l'outil ayant une forme appropriée permettant son entraînement.

LES ALÉSOIRS

Les différents types d'alésoirs, qui peuvent être soit en **acier fondu**, soit en **acier à coupe rapide**, sont les suivants :

1° **L'équarrisoir** (conicité 2 %) pour goupillage et piétage ;

2° **L'alésoir à goupilles**, ayant le même rôle que le précédent, mais étant plus précis ; ses rainures sont droites ou hélicoïdales ;

3° **L'alésoir façon Paris**, dont le taillage incomplet sur le pourtour laisse subsister un **dos** qui remédie dans une certaine mesure au **broutement**. Cet alésoir possède une conicité de 2 % sur un tiers de sa longueur pour faciliter sa pénétration, sa partie arrière cylindrique sert à parfaire le calibrage ;

4° **L'alésoir à taille droite** pour travaux divers ;

5° **L'alésoir torse**, possédant quatre cannelures à taille hélicoïdale ;

6° L'alésoir à sept dents avec bout fileté, permettant une pénétration régulière et parfaitement axée dans le perçage d'ébauche ;

7° L'alésoir américain à rainures droites ;

8° L'alésoir américain à rainures hélicoïdales, dont l'hélice est toujours orientée à gauche, alors que la rotation s'effectue à droite.

Ces deux alésoirs sont cylindriques sur toute leur longueur, avec une très légère entrée, et ne doivent prendre qu'une épaisseur de copeau voisine de 1/10 de millimètre. L'alésoir à taille hélicoïdale a la possibilité de rectifier des alésages présentant soit un évidement, soit une rainure de clavetage ;

DIFFÉRENTES SECTIONS D'ALÉSOIRS

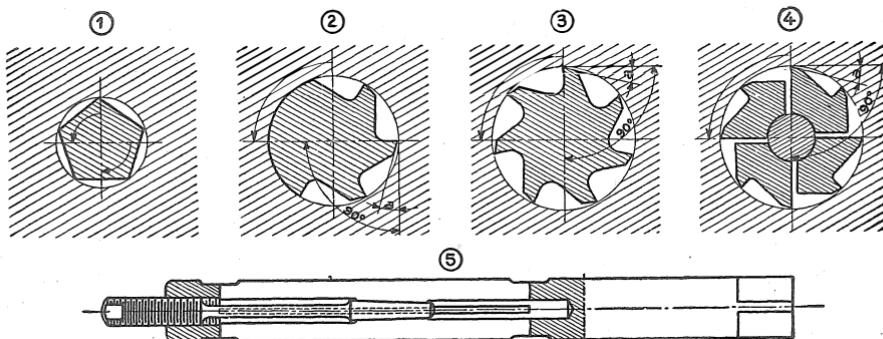


Fig. 137

- | | |
|------------------------------------|---|
| 1. Equarrissoir ou alésoir à pans. | 4. Alésoir expansible à lames flexibles. |
| 2. Alésoir « Façon Paris ». | 5. Coupe longitudinale d'un alésoir expansible. |
| 3. Alésoir à 7 dents. | |

9° L'alésoir expansible, à lames flexibles, pouvant se gonfler de quelques dixièmes, grâce à une vis à portée conique (fig. 137).

10° L'alésoir expansible à lames rapportées pour des diamètres plus importants. La disposition particulière de ses lames en permet le réaffûtage facile ; expansibilité : 1 mm.;

11° L'alésoir Twill, à lames rapportées, dont le mécanisme de réglage gradué assure des rectifications de précision ;

12° Les alésoirs coniques pour rectification des cônes d'emmanchement d'outils (Morse, Brown et Sharpe, Standard Américain, etc.) et de portées coniques pour robinetterie et chaudronnerie ;

DIFFÉRENTS TYPES D'ALÉSOIRS



Fig. 138

1. Ecurrisoir.
2. Alésoir conique pour cône « Morse ».
3. Alésoir « Façon Paris ».
4. Alésoir expansible à taille droite.
5. Alésoir « Twill » à lames rapportées graduées.

6. Alésoir en bout expansible.
7. Alésoir à goupilles à taille hélicoïdale (conicité 2 %).
8. Alésoir de robinetier à taille hélicoïdale (conicité 10 %).
9. Alésoir creux.

13° Les alésoirs creux pour dégrossissage de trous venus de fonderie.

MODE D'ACTION DES ALÉSOIRS

L'alésage à main est le résultat de deux mouvements simultanés, d'une part un **mouvement de rotation** de l'alésoir autour de son axe, mouvement généralement de même sens que celui des aiguilles d'une montre ; d'autre part un mouvement de **pénétration ou d'avance** exercé par l'ouvrier dans un sens parallèle à l'axe de l'outil.

Les alésoirs ne possèdent jamais d'angle de pente d'affûtage b afin d'éviter l'**engagement** dans les bronzes et les laitons.

L'**angle de dépouille a**, indispensable pour tout travail sérieux et précis, sera établi par affûtage d'autant plus grand que le diamètre de l'alésage à rectifier sera plus faible. C'est cet angle de dépouille qui oblige à un même sens de rotation aussi bien pendant la pénétration que pendant le dégagement.

PARTICULARITÉS DANS LA FABRICATION DES ALÉSOIRS

En période d'alésage et lorsque l'outil est à taille rectiligne, un grave défaut apparaît au début de l'opération : c'est le **broutement**, qui a pour effet de déformer et détériorer la paroi intérieure de l'alésage.

L'outil « broute » lorsque des vibrations s'amorcent pendant sa rotation, vibrations se répercutant et se reproduisant sur la surface de travail.

Les **causes** de ce grave inconvénient peuvent être les suivantes :

- a) Angle de dépouille trop important ;
- b) Arêtes de coupe rectilignes ;
- c) Conduite irrégulière de l'outil ;
- d) Nombre de dents trop important.

Les **moyens mis en œuvre dans la fabrication des alésoirs** pour remédier au broutement sont les suivants :

- a) **Taille incomplète** du pourtour de l'alésoir laissant subsister une partie lisse appelée **dos** (alésoir façon Paris) ;
- b) Exécution d'un **nombre impair** d'arêtes tranchantes évitant le « portage » sur des arêtes de coupe diamétralement opposées ;
- c) **Répartition irrégulière de la taille** ;
- d) **Taille hélicoïdale** suivant une **hélice à gauche**. Cette dernière particularité de fabrication, tout en évitant l'engagement, supprime totalement le broutement, car une seule arête explore

une grande partie des génératrices d'un alésage de moyenne longueur.

Lubrification. — Avoir soin, dans l'exécution d'alésages nécessitant une grande précision et un beau fini, d'utiliser le plus possible le suif pour tous les usages. A la rigueur, utiliser l'huile pour l'acier et l'essence de térébenthine pour les métaux légers. Le bronze et le laiton peuvent être travaillés à sec.

PRÉCAUTIONS A PRENDRE

- a) Ne jamais « dévisser » avec un alésoir, tourner toujours dans le sens du mouvement des aiguilles d'une montre, même pour le dégager ; les alésoirs à pans sont dispensés de cette précaution ;
- b) Ne jamais frapper sur la queue d'un alésoir pour l'engager, mais simplement appuyer fortement sur les bras du tourne-à-gauche.
- c) Maintenir constamment l'axe de l'alésoir dans l'axe du trou à rectifier.
- d) Dans le cas d'une résistance anormale en période de travail, en rechercher la cause plutôt que de provoquer une torsion exagérée de l'outil.
- e) Lorsqu'un alésoir ne « mord » plus, on peut le « raviver » en utilisant un prisme d'acier trempé et rectifié, que l'on frotte sur l'avant de l'arête coupante, en langage d'atelier c'est « redresser la coupe ».

TOURNE-A-GAUCHE

Le tourne-à-gauche est un outil indispensable pour l'exécution

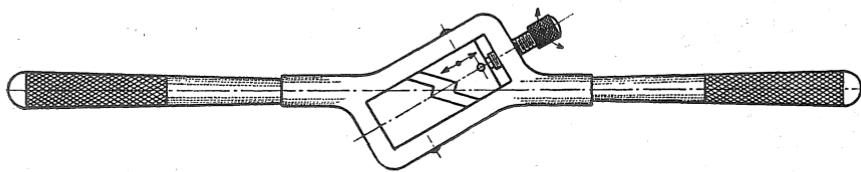


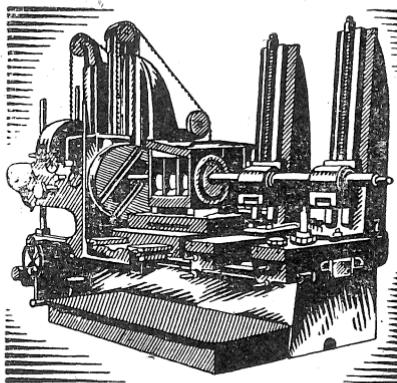
Fig. 139

de tout travail de taraudage ou d'alésage à main. Il assure l'entraînement positif de l'outil pendant son mouvement de coupe. Il est généralement constitué :

- a) Par une partie médiane appelée **corps** ou **cage**, suivant son

type ; dans le cas le plus simple, plusieurs trous carrés de dimensions différentes permettent de recevoir les têtes de tarauds ou d'alésoirs. Les tourne-à-gauche perfectionnés possèdent des **coussinets réglables** en vé (fig. 139).

b) Par des **bras** fixes ou mobiles, en rotation, prolongeant le corps à ses extrémités. Suivant leur longueur, ces bras permettent d'exercer un effort plus ou moins important, effort proportionnel au diamètre nominal de l'outil.



14. MANDRINAGE ET BROCHAGE

GÉNÉRALITÉS

Le mandrinage et le brochage sont des opérations mécaniques consistant en un **rabolage rectiligne** des parois intérieures ou extérieures d'une pièce à l'aide d'un **outil à dents multiples**. Ces mandrins ou ces broches légèrement coniques peuvent être exécutés par **jeux** et permettre ainsi l'agrandissement progressif jusqu'à des dimensions rigoureuses d'alésages préalablement ébauchés. Nous remarquerons que les formes très variées ainsi obtenues ne pourraient être exécutées ni sur une fraiseuse, ni sur une mortaiseuse avec autant de précision.

Le **mandrinage** est plus généralement exécuté à la main, **en poussant**, et pour des travaux peu importants, tandis que le **brochage**, dont la technique est maintenant très répandue, est pratiqué mécaniquement de deux façons différentes :

1^o **Par traction**, en utilisant des broches de grande longueur parfaitement étudiées pour brocher la plupart des profils en une seule passe ;

2^o **Par poussée**, en utilisant des broches courtes pour éviter le flambage. Ce procédé n'est vraiment intéressant que pour le brochage de profils peu importants, car il conduit à l'utilisation de plusieurs broches pour des travaux plus sérieux.

Le **brochage**, qui est maintenant un **procédé d'usinage normal**, a sa technique propre donnant des résultats vraiment surprenants au point de vue précision. Son succès est tel qu'actuellement aucune industrie métallurgique ne doit l'ignorer. Ses avantages sont nombreux et indiscutables : planéité parfaite, interchangeabilité assurée, rapidité d'exécution, etc.

Il est bien entendu que le mandrinage et le brochage sont toujours opérés en partant d'un **trou initial** bien perpendiculaire à la face d'appui.

MANDRINS

C'est l'outil primitif qui, après étude approfondie, a de nos jours donné naissance à la broche.

La figure 140 représente le travail d'un mandrin calibrant un trou carré. Il peut être en acier fondu, taillé à la fraise, trempé en bain d'huile, puis revenu à 260° (gorge pigeon), ou en

acier à coupe rapide. Les arêtes tranchantes sont inclinées suivant un certain angle et constituent ainsi un ou plusieurs filets taillés autour de l'outil ; la coupe en est alors grandement facilitée. Les faces de la **partie guide** du mandrin doivent être **parallèles** ; le **corps**, ou partie travaillante, légèrement **conique**, et l'extrémité supérieure, ou **tête**, dégagée pour recevoir les chocs du marteau ou la poussée du balancier.

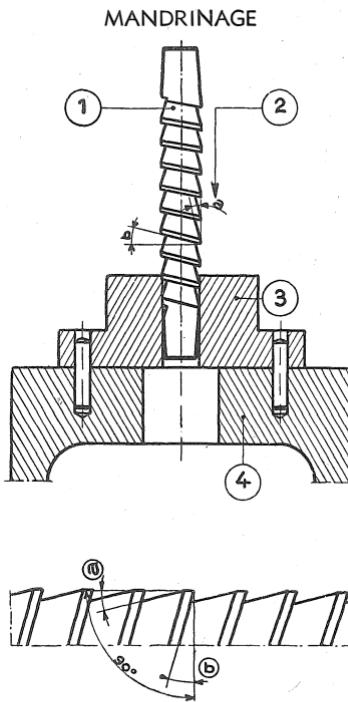


Fig. 140

ANGLES COMPOSANT LA COUPE D'UN MANDRIN

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1. Mandrin. | 4. Table de travail. |
| 2. Mode d'action du marteau ou du balancier. | a. Angle de dépouille. |
| 3. Pièce à mandriner. | b. Angle de pente d'affûtage. |

Pour que le mandrinage soit bien conduit, il importe que le trou soit convenablement préparé ; l'outil ébaucheur ne devant prendre au maximum que 0,3 mm à 0,4 mm, et l'outil de finition 0,1 mm.

Dans le cas de formes régulières et pour augmenter le degré d'interchangeabilité, le mandrin peut être passé dans son logement autant de fois que le polygone a de facettes, en changeant de position à chaque passage.

BROCHES

Les broches sont exécutées suivant le principe qui a présidé à l'établissement des mandrins, mais l'étude de leur denture a été beaucoup plus poussée, car elle est le fruit de nombreuses expé-

BROCHAGE UTILISATION D'UNE BROCHE PLATE (Procédé RBV)

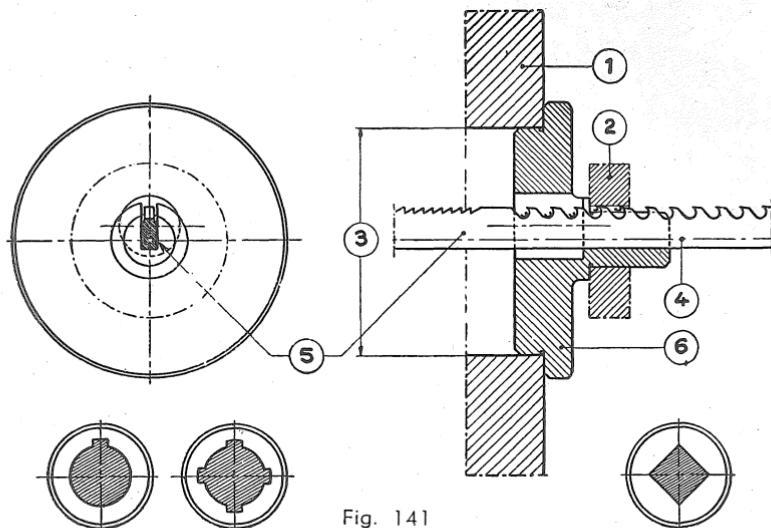


Fig. 141

- 1. Table de travail.
- 2. Pièce à brocher.
- 3. Centrage dans la table de travail.
- 4. Axe de la machine.
- 5. Broche.
- 6. Support guide.

riences. De plus, de l'acier à coupe rapide avec lequel on les fabrique dépendent, pour une large part, les succès obtenus.

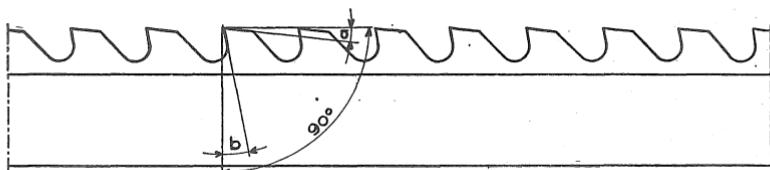


Fig. 142

La broche à mandriner possède à sa partie avant un **entraîneur** de forme particulière permettant de la saisir en période de traction, et à sa partie arrière une **zone de calibrage** assurant l'obtention de cotes et tolérances désirées de la première à la dernière pièce brochée.

Leur **traitement thermique** consiste en une trempe entre 1275° et 1300°, suivie d'un revenu à 600°.

MACHINES À BROCHER

Il en existe deux types différents : les **machines à brocher horizontales**, se prêtant parfaitement au brochage des pièces épaisses ou importantes, avec utilisation de broches longues, et les **machines à brocher verticales**, employant des broches plus courtes pour des pièces moins encombrantes ; ces machines permettent, de façon rationnelle, le **brochage extérieur**.

Les machines à brocher doivent assurer, en période de travail : d'une part, le **guidage rigoureux** de l'outil et, d'autre part, une **traction rectiligne**. Elles sont constituées par un long bâti en fonte semblable à celui des machines à étirer. Sur ce bâti, faisant corps avec lui, se trouve disposé le mécanisme de traction de la broche ; ce dispositif peut posséder deux principes différents :

a) **Dispositif mécanique** utilisant le système vis et écrou ; ce dernier, rotatif, est entraîné par poulie ; il est fixé longitudinalement et attire ainsi à lui la vis qui est l'organe de traction de la broche ;

b) **Dispositif hydraulique** basé sur le principe de la presse hydraulique et commandé par une **pompe à engrenages**. Ce dernier procédé est actuellement complètement généralisé en raison de la souplesse de ses mouvements. L'effort imposé à la machine par les broches est enregistré par un **manomètre**. Pendant l'effort de traction, un **régulateur automatique** assure la continuité du travail en supprimant les secousses ou emballements et en dosant l'énergie nécessaire à la puissance demandée.

Les machines à brocher modernes peuvent rendre possible le **brochage hélicoïdal** au moyen de montages particuliers provoquant l'entraînement en hélice de la pièce ou de la broche (rainurage des tubes d'armes à feu, cannelures hélicoïdales de certains pignons de boîtes de vitesses, etc.).

Les machines à brocher sont généralement munies d'un **retour rapide** diminuant sérieusement le temps mort de retour de la broche ; elles possèdent un **grand débit** et n'exigent, pour leur fonctionnement, aucun outillage spécial.

EXEMPLES DE BROCHAGE

Rainures de clavetage ; arbres et alésages à cannelures pour baladeurs de tours parallèles; dispositifs de glissement pour boîtes de vitesses de machines-outils et d'automobiles ; boutons et poignées de manœuvre, etc.

15. RABOTAGE

Raboteuses — Étaux-limeurs

GÉNÉRALITÉS

Le **rabotage** est un procédé d'usinage consistant à produire des surfaces planes et, exceptionnellement, des surfaces cylindriques et coniques par **déplacement rectiligne** d'un outil de coupe.

La formation du copeau est provoquée par une pression considérable de l'outil contre la matière à usiner, et ceci de deux façons différentes :

1^o **Par déplacement longitudinal de la pièce** au-dessous de l'outil, ce dernier n'étant animé que d'un mouvement transversal (**raboteuses**) ;

2^o **Par déplacement longitudinal de l'outil** au-dessus de la pièce, celle-ci animée également d'un mouvement transversal (**étaux-limeurs**) .

Généralement, les raboteuses usinent des organes importants, alors que les étaux-limeurs produisent des pièces de petites dimensions.

OUTILS DE RABOTAGE

Les outils les plus couramment utilisés en rabotage sont dits :

- a) à **dresser** (forme « col-de-cygne »);
- b) à **ébaucher**;
- c) **ravageur** ;
- d) de **surfâçage spécial** « Diacarb ».

Leur forme est donnée par le dessin ci-dessous (fig. 143).

OUTILS DE RABOTAGE

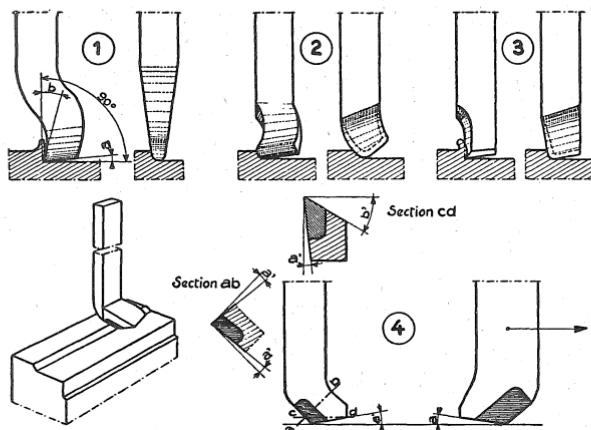


Fig. 143

1. Outil à dresser.
2. Outil à ébaucher.
3. Outil ravageur.
4. Outil de surfacage spécial «Diacarb».

- a : Angle de dépouille normale.
 a' : Angle de dépouille latérale.
 b : Angle de pente d'affûtage normale.
 b' : Angle de pente d'affûtage latérale.

Pris dans la barre, les outils forgés sont, par la difficulté même de leur exécution, très onéreux ; de plus, ils nécessitent une assez grande quantité d'acier ; aussi leur préfère-t-on, par mesure d'économie, des **porte-outil** spéciaux droits, à tête mobile ou renvoyés soit à droite, soit à gauche.

Un logement rond ou carré, pratiqué dans le corps du porte-outil, permet d'y maintenir, à l'aide d'un boulon de blocage, les outils à profil constant exigés par le travail.

Raboteuses

DESCRIPTION

Les raboteuses sont constituées essentiellement par :

1° Un **bâti** en fonte reposant sur le sol par de larges assises ; la partie supérieure de ce bâti est formée par deux glissières en V ou en queue d'hironde lesquelles sont destinées au guidage du

tablier porte-pièce. La longueur du bâti égale 1,5 à 1,75 fois la longueur du tablier. Son graissage est généralement assuré par des diabolos graisseurs ;

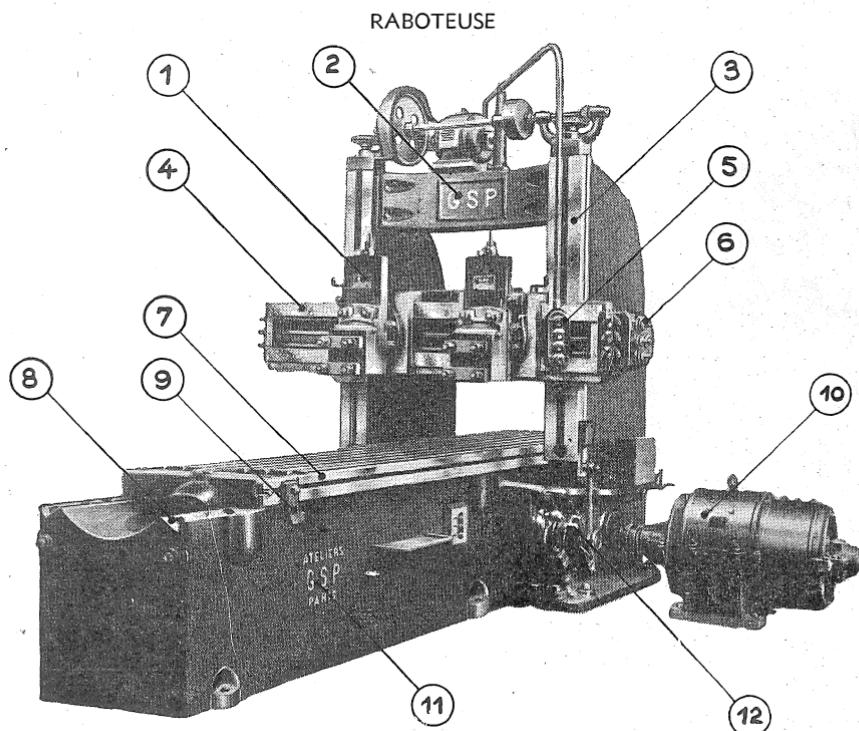


Fig. 144

- 1. Chariot porte-outil.
- 2. Traverse fixe.
- 3. Montants.
- 4. Traverse mobile.
- 5. Commande électrique générale.
- 6. Commande manuelle des chariots.
- 7. Table ou tablier.
- 8. Guides angulaires de la table.
- 9. Taquets de réglage de course.
- 10. Moteur réversible à courant continu.
- 11. Bâti.
- 12. Commande automatique des avances.

2^o Deux **montants** entretoisés à leur partie supérieure par une **traverse fixe**. Ces deux montants servent de guide à la **traverse mobile** qui supporte les **chariots porte-outil** ;

3^o Une **table** ou **tablier**, organe principal de la machine-outil, formé d'un bloc rectangulaire en fonte ajusté à frottement doux sur la partie guide du bâti. La face supérieure du tablier est rainurée pour permettre l'ablocage des pièces à usiner. L'une des faces latérales porte également un rainurage sur toute sa longueur

dans lequel coulissent les **taquets** de réglage de course. Enfin, sur la partie inférieure de la table, se trouve fixée la **crémaillère** de déplacement longitudinal.

L'engrenage de commande de cette crémaillère doit avoir un diamètre assez important afin d'augmenter l'arc d'engrènement. Cet engrenage de commande est actionné par un dispositif de poulies fixes et folles recevant le mouvement moteur par courroies droites et croisées. Le **changement de sens de marche** est assuré en outre par **taquets et fourchettes**.

Certaines raboteuses modernes sont équipées avec un **moteur réversible** à changement de sens de marche automatique alimenté en **courant continu**.

MOUVEMENTS

La raboteuse est caractérisée par deux mouvements principaux :

- a) **Mouvement rectiligne alternatif de la pièce** dans un plan horizontal par l'intermédiaire du tablier ;
- b) **Déplacement horizontal, vertical ou incliné de l'outil** par rapport à la pièce.

Remarque. — L'outil n'est animé d'un mouvement de translation horizontale correspondant à son **avance** qu'avant le début de chaque course-travail. Ce mouvement de translation est perpendiculaire au mouvement de coupe.

Après l'achèvement de chaque passe horizontale, l'outil se déplace perpendiculairement à la table d'une longueur correspondant au **serrage** ou à la **profondeur de passe**.

POSSIBILITÉS DE LA MACHINE

Les constantes ou possibilités de la raboteuse peuvent prendre cinq formes différentes :

- a) **Capacité maximum de la table porte-pièces** ;
- b) **Déplacement longitudinal maximum** du tablier ;
- c) **Déplacement transversal maximum** du ou des chariots porte-outil ;
- d) **Vitesses** de la table (travail et retour rapide) ;
- e) **Amplitude des avances** transversales et verticales automatiques.

DISPOSITIF DE RETOUR RAPIDE

Plus que dans les étaux-limeurs, il est indispensable que la course retour de la table se fasse dans un temps inférieur à celui

CHAI^NE CIN^MATIQUE D'UNE RABOTEUSE

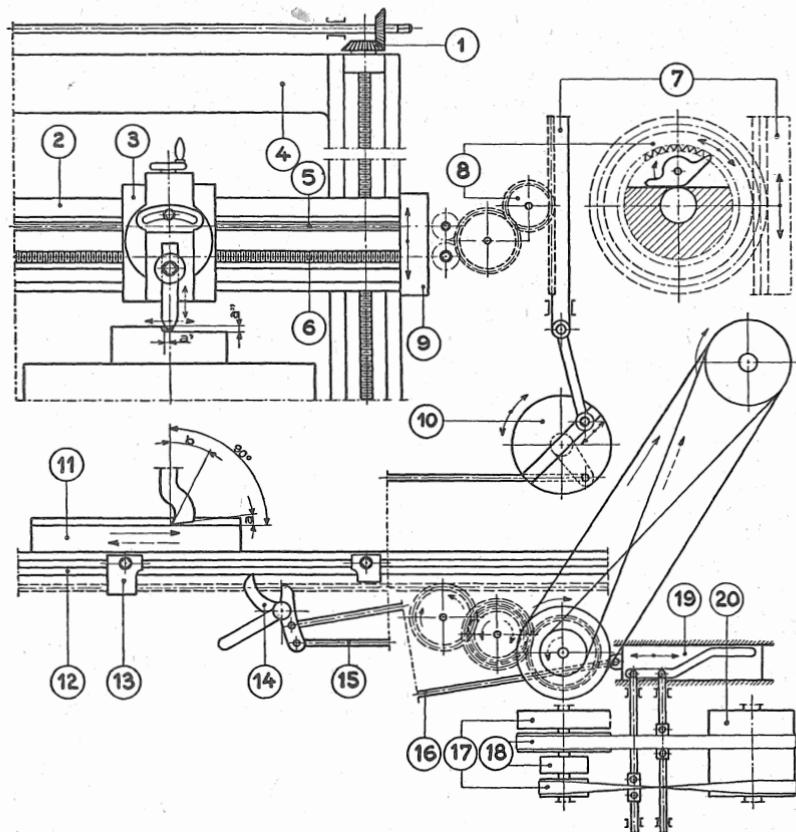


Fig. 145

1. Couple de pignons coniques permettant le déplacement vertical de la traverse sur les deux montants.
2. Traverse.
3. Chariot porte-outil.
4. Entretoise des montants.
5. Tringle commandant le mouvement vertical du chariot porte-outil.
6. Vis commandant le déplacement horizontal du chariot porte-outil.
7. Crêmaillère des avances.
8. Roue à cliquet de commande des avances.
9. Boîte des avances.
10. Plateau manivelle oscillant réglant l'ampleur des avances.
11. Pièce en cours de rabotage.
12. Table ou tablier.
13. Taquet de commande du renversement de marche de la table.
14. Leviers de changement de marche.
15. Tringle de commande des avances.
16. Tringle de commande du renversement de marche.
17. Poulettes folles.
18. Poulettes fixes.
19. Coulisseau de commande des fourchettes d'embrayage.
20. Tambour moteur.
 - a. Angle de dépouille.
 - a'. Avance transversale.
 - a''. Avance verticale.
 - b. Angle de pente d'affûtage.

de la course travail. Deux dispositifs mécaniques sont alors employés :

1^o Commande par **poulies fixes et folles de diamètres différents**, dans ce cas les poulies fixes clavetées sur l'arbre-moteur sont en alliage léger afin de diminuer l'inertie du changement de sens de marche ;

2^o Commande par **poulies de même diamètre attaquant deux couples de pignons coniques de rapports différents**.

Etaux-limeurs

CLASSIFICATION

Les différents types d'étaux-limeurs (anciens et modernes) sont les suivants :

1^o **L'étau-limeur à bielle extérieure ou limeuse**, dont le coulisseau se déplace transversalement au-dessus de la pièce maintenue fixe. Cette machine-outil est presque abandonnée au profit du type précédent ;

2^o **L'étau-limeur à crémaillère**, d'un modèle assez ancien ; le mouvement alternatif de va-et-vient du coulisseau est commandé par deux cônes tournant en sens inverse et dont les pignons entraînent une crémaillère solidaire du coulisseau.

3^o **L'étau-limeur à levier oscillant ou bielle intérieure**, le plus répandu actuellement et dont le dispositif de **retour rapide** permet un rendement satisfaisant. La bielle motrice fonctionne à l'intérieur du bâti.

4^o **L'étau-limeur à commande hydraulique**, qui vient d'apparaître sur le marché européen, semble posséder un avantage certain de souplesse et de précision sur les étaux-limeurs actuels à commande mécanique.

Ces deux dernières machines-outils feront l'objet, dans cet ouvrage, d'une étude particulière.

MOUVEMENTS

Les mouvements propres à tous les étaux-limeurs sont les suivants :

a) **Mouvement rectiligne alternatif de l'outil** (automatique) qui peut être uniforme (étaux-limeurs à crémaillère et hydraulique) ou varié (étaux-limeurs à bielles extérieure et intérieure) ;

ÉTAU-LIMEUR A LEVIER OSCILLANT OU BIELLE INTÉRIEURE

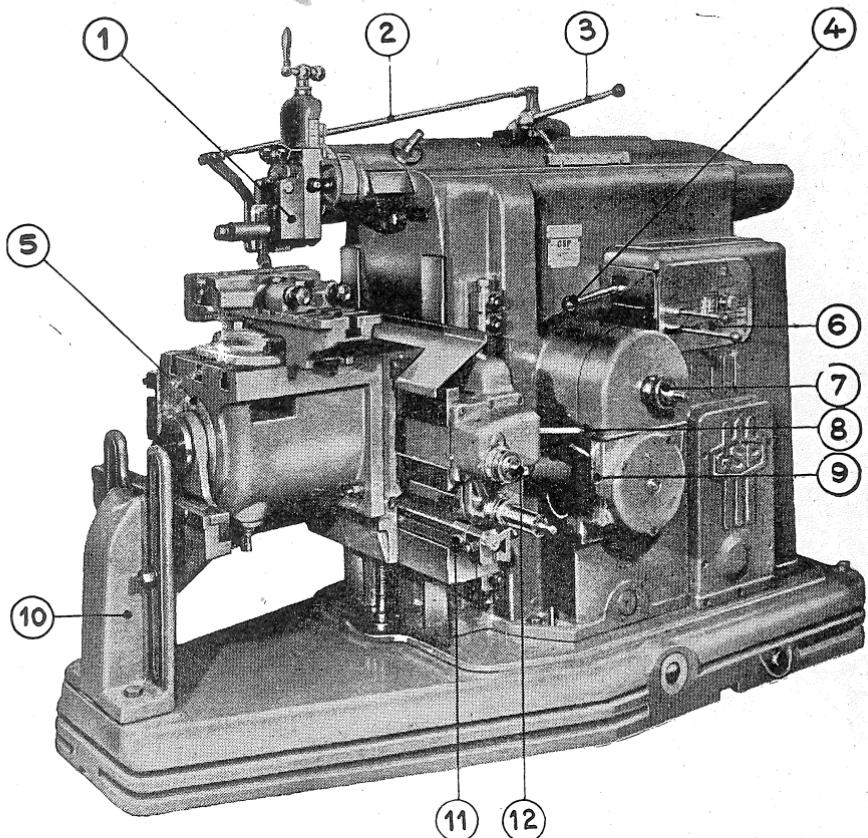


Fig. 146

1. Porte-outil à double inclinaison.
2. Relevage automatique du porte-outil.
3. Blocage du positionnement du coulisseau porte-outil.
4. Sélection de l'embrayage et des déplacements rapides de la table.
5. Table universelle de grande surface.
6. Obtention et lecture directe des vitesses de coupe.
7. Réglage de la course du coulisseau.
8. Déplacements rapides verticaux et horizontaux de la table.
9. Avances automatiques verticales et horizontales.
10. Support de table avec dispositif de rattrapage de jeu.
11. Butées de précision pour réglage des courses horizontales et verticales de la table.
12. Sélection par un seul levier des quatre mouvements verticaux et horizontaux de la table.

b) **Déplacement transversal et vertical de la pièce** (manuel et automatique), parfois **déplacement circulaire** à l'aide d'un montage particulier (plateau circulaire) ;

c) **Déplacement vertical ou incliné de l'outil** suivant une trajectoire parallèle à la glissière de tête ; celle-ci pouvant occuper des inclinaisons maxima de 30 à 45°. La translation verticale de l'outil est toujours commandée manuellement.

POSSIBILITÉS DE LA MACHINE

- a) **Course maximum de l'outil** ;
- b) **Déplacements maxima de la table** dans les deux sens (latéral et vertical) ;
- c) **Vitesses maximum et minimum de coupe** ;
- d) **Avances maximum et minimum des chariots** ;
- e) **Puissance du moteur** ;
- f) **Encombrement et poids**.

DESCRIPTION DE L'ÉTAU-LIMEUR A BIELLE INTÉRIEURE

Il se compose :

- a) D'un **bâti** à l'intérieur duquel se trouvent logés le dispositif d'entraînement alternatif et la boîte de vitesses ;
- b) D'un **coulisseau** portant à son extrémité avant la **tête pivotante** porte-outil. Le coulisseau peut être décalé en longueur suivant les exigences du travail, sans que sa course en soit modifiée ;
- c) D'une **table porte-pièces** orientable, munie du mécanisme d'avance transversale.

La **tête porte-outil**, orientable également, se déplace verticalement grâce à une vis de manœuvre ; elle a une particularité importante : son porte-outil est oscillant et permet d'éviter, pendant la course retour, le contact trop brutal de l'outil avec la rugosité de la pièce ou les copeaux non évacués.

Dans ce type de machine-outil, le mouvement alternatif longitudinal est communiqué au coulisseau par une **bielle oscillante** articulée à l'une de ses extrémités et dont l'amplitude du mouvement est modifiée par un maneton réglable.

SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT D'UN ÉTAU LIMEUR A BIELLE INTÉRIEURE

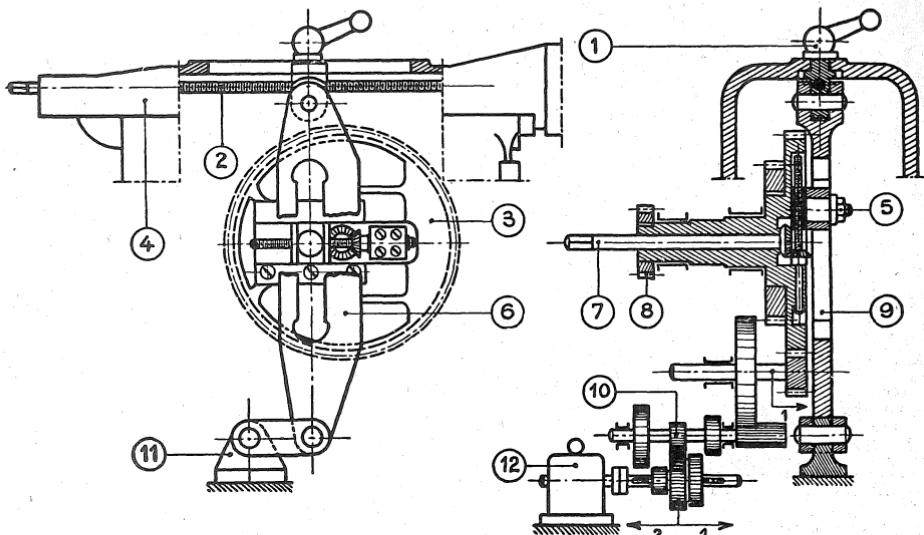


Fig. 147

1. Arrêt de positionnement du coulisseau porte-outil.
2. Vis de réglage du positionnement de la course.
3. Grande couronne dentée motrice.
4. Coulisseau porte-outil.
5. Tourillon d'entraînement du levier oscillant.
6. Levier oscillant.
7. Réglage de la course du coulisseau porte-outil.
8. Engrenage de commande des avances.
9. Boutonnière de glissement du tourillon.
10. Train d'engrenages de la boîte de vitesses.
11. Pied d'articulation du levier oscillant.
12. Moteur.

COURSE ET RETOUR RAPIDE DE L'ÉTAU-LIMEUR

La figure 148 représente schématiquement le **dispositif de retour rapide** pour deux courses différentes du coulisseau porte-outil : en (1) un **décalage maximum** du maneton pour une course importante et, en (2), un **décalage minimum** du même maneton pour une faible course.

La rapidité de retour de l'outil par rapport à sa période travail nous sera fournie par l'observation des arcs parcourus par le maneton **M**, dans l'un et l'autre cas. Celui-ci étant animé d'un mouvement circulaire uniforme, l'arc **M'GM** correspond à la course-

travail et l'arc **MHM'** à la course-retour. La comparaison de ces deux arcs fait apparaître immédiatement, pour une même course de l'outil, des temps très différents de déplacements.

Dans le cas le plus commun, avec retour deux fois plus rapide que l'aller, l'arc **M'GM** doit être deux fois plus grand que l'arc **MHM'**. Toutefois, une certaine diminution de rapidité de retour

COURSE ET RETOUR RAPIDE D'UN ÉTAU-LIMEUR A BIELLE INTÉRIEURE

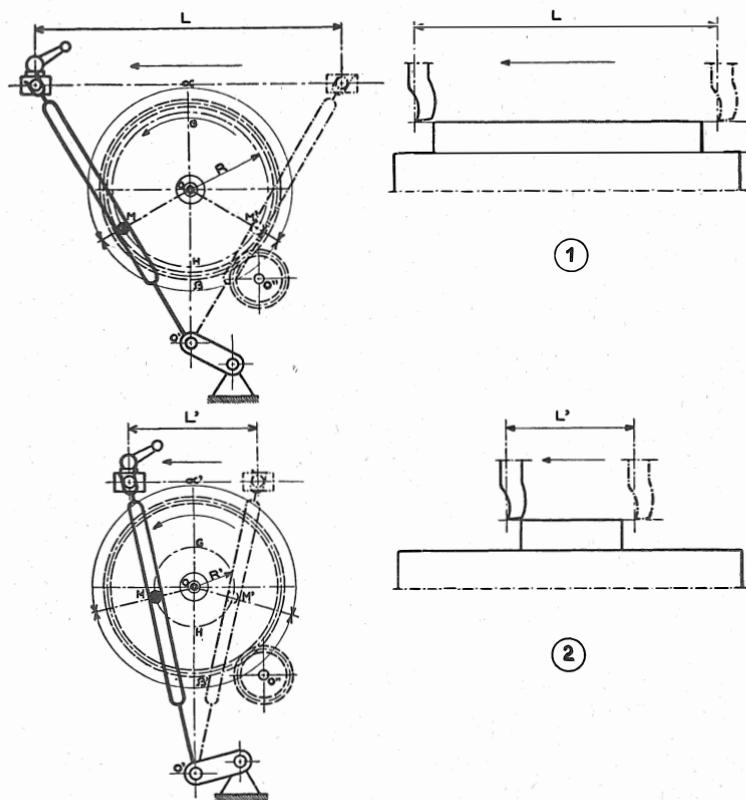


Fig. 148

1. Grande course du coulisseau porte-outil.
2. Faible course du coulisseau porte-outil.

α et α' . Angles mesurant la course travail.
 β et β' . Angles mesurant la course retour.
 L et L' . Chemins parcourus par l'outil.

Arc **MGM'**. Arc parcouru par le maneton pendant la course travail.

Arc **M'HM**. Arc parcouru par le maneton pendant la course retour.

O. Axe d' entraînement du levier oscillant.

O'. Pied d' articulation du levier oscillant.

O''. Axe d' entraînement de la couronne dentée.

R. Grand rayon du maneton.

R'. Petit rayon du maneton.

est à remarquer lorsque la course de l'outil est très réduite (deuxième cas de la figure 148).

Cette particularité du retour rapide en période de rabotage permet un gain de temps appréciable pour l'exécution de pièces de grande longueur.

Nota. — Si le déplacement du maneton d'un étau-limeur à bielle intérieure est régulièrement uniforme, il n'en est pas de même du déplacement rectiligne de l'outil qui est **uniformément accéléré** dans la première moitié de la course-travail et **uniformément retardé** dans la **seconde moitié**.

POSITIONNEMENT DU COULISSEAU PORTE-OUTIL

Le positionnement du coulisseau porte-outil en **réglage avancé** ou en **réglage reculé** sur la table de montage des pièces à raboter fait appel à un mécanisme particulier équipant tous les étaux-limeurs à bielle intérieure. Le dispositif utilisé consiste à articuler la tête du levier oscillant sur une **noix** réglée à l'aide d'une vis dont l'extrémité déborde à l'arrière du chariot. Une poignée de

POSITIONNEMENT DU COULISSEAU PORTE-OUTIL

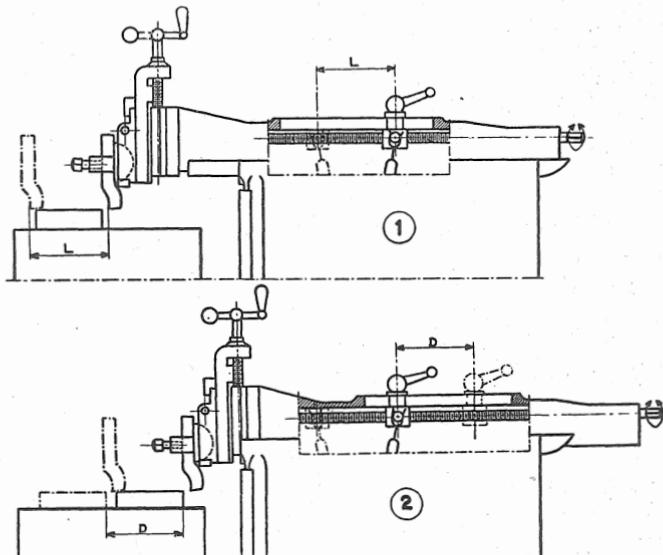


Fig. 149

1. Position avancée.
2. Position reculée.
- D. Décalage du positionnement de la course.
- L. Chemin parcouru par l'outil.

blocage l'immobilise après réglage des deux positions extrêmes de la course (fig. 149).

DISPOSITIF D'AVANCE AUTOMATIQUE

En dehors des **avances manuelles** communes à tous les types d'étaux-limeurs, deux mécanismes d'**avance automatique** totalement différents sont utilisés sur les étaux-limeurs à **crémaillère** et à **bielle intérieure** :

COMMANDÉE DES AVANCES

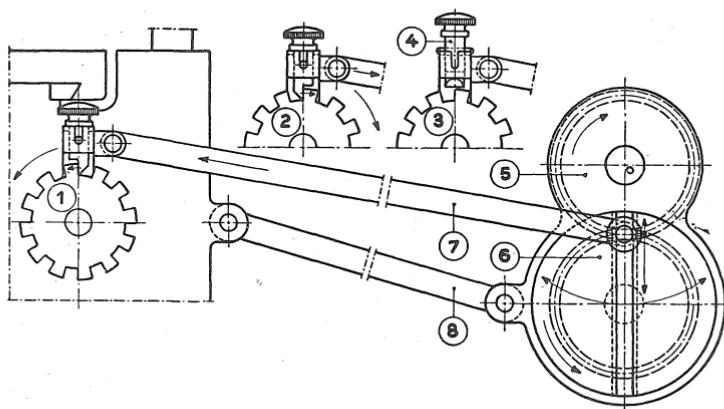


Fig. 150

- 1. Encliquetage avant.
- 2. Encliquetage arrière.
- 3. Désencliquetage.
- 4. Cliquet.
- 5. Engrenage de commande du plateau manivelle calé sur la couronne dentée motrice.
- 6. Plateau manivelle.
- 7. Barre de transmission du mouvement alternatif.
- 8. Barre de liaison entre le carter du plateau manivelle et le chariot porte-table.

a) **Avance par plateau-manivelle et friction** sur les **étaux-limeurs à crémaillère** où l'on ne dispose pas du mouvement circulaire continu.

b) **Avance par plateau-manivelle et cliquet réversible oscillant** sur les **étaux-limeurs à bielle intérieure** (fig. 150). Un **accessoire indispensable** complète ce dernier type d'entraînement de la vis de table pour **positionner verticalement** le cliquet face à la roue à rochet, c'est une **barre de liaison** entre le carter du plateau-manivelle et le chariot porte-table. Son inextensibilité procure toujours un entraînement positif avant ou arrière, quelle que soit la hauteur de ce dernier sur sa glissière.

ÉTAU-LIMEUR A COMMANDE HYDRAULIQUE

Principe

L'étau-limeur à commande hydraulique est basé sur le principe de transmission de puissance à l'aide d'un **fluide incompressible**. Les mouvements mécaniques (pignon et crémaillère ainsi que levier oscillant et maneton) sont ici remplacés par le simple mouvement alternatif d'un piston à l'intérieur d'un cylindre. Le fluide moteur est essentiellement **l'huile**.

Description

En examinant la figure 151, nous remarquons que l'**organe moteur** est une **pompe à haute pression** commandée par moteur

ÉTAU-LIMEUR A COMMANDE HYDRAULIQUE

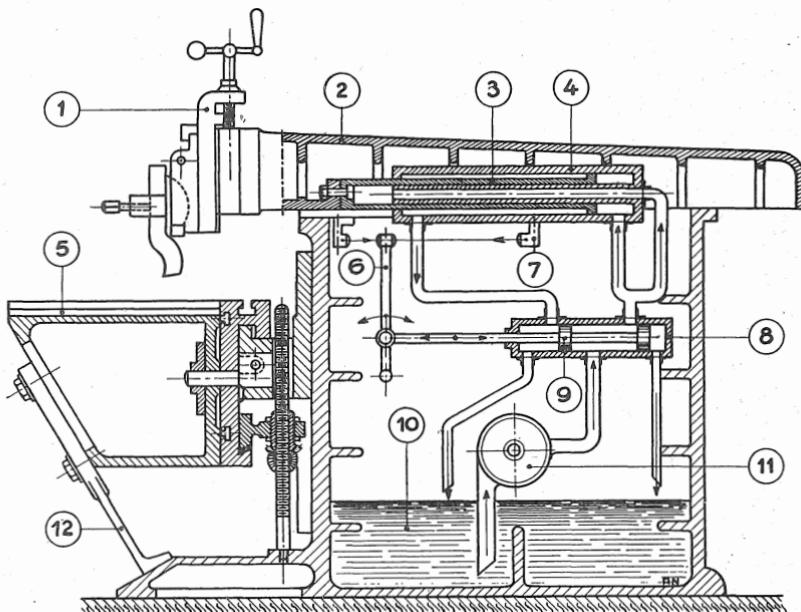


Fig. 151

1. Porte-outil inclinable.
2. Coulisseau commandé hydrauliquement.
3. Piston moteur solidaire du coulisseau.
4. Cylindre solidaire du bâti.
5. Table porte-pièce.
6. Levier d'inversion de marche.
7. Butée réglable de fin de course.
8. Cylindre de distribution alternative.
9. Piston du distributeur.
10. Réserve hydraulique de l'étau-limeur.
11. Groupe électro-pompe à haute pression.
12. Support de table.

électrique aspirant l'huile dans une réserve ménagée à la partie inférieure de la machine et l'injectant dans un **distributeur à piston**. Ce distributeur est commandé par un levier oscillant recevant son pivotement des deux **butées** de limitation de course du coulisseau porte-outil.

L'huile sous pression distribuée à partir du cylindre de distribution arrive à l'intérieur du **cylindre moteur**, organe essentiel de la machine. Ce cylindre est solidaire du bâti alors que le **piston moteur** est solidaire du coulisseau porte-outil. Des tubulures en chicane, d'admission et d'échappement, permettent, lorsque l'huile motrice arrive sur une paroi du piston, de libérer l'huile emprisonnée dans la chambre voisine vers la réserve inférieure.

Le **retour rapide**, dans ce genre de machine-outil, peut être envisagé de deux façons différentes : soit par une différence de section des parois réceptrices d'huile à l'aller et au retour ; soit par une différence de diamètre des tubulures de distribution.

Avantages de la commande hydraulique

Les avantages de la commande hydraulique ont déjà fait leur preuve dans plusieurs catégories de machines-outils (rectifieuses, fraiseuses, appareils de reproduction pour tours et fraiseuses). Ils sont les suivants :

- a) Grande **souplesse** de mouvement et **travail précis**.
- b) **Puissance maximum** transmise au coulisseau **dans l'axe de son déplacement**, assurant à la pièce usinée une excellente qualité de surface.
- c) **Vitesse de coupe constante** et uniforme pouvant atteindre sans à-coups **42 m/mn.**
- d) Renversement de marche du coulisseau doux et sans heurt.
- e) **Silence de fonctionnement** appréciable.

FIXATION DES PIÈCES A USINER

Les pièces à usiner peuvent être fixées par bridage, soit directement sur la semelle du tablier, soit sur la table-support montée sur cette semelle et qui est parfois inclinable.

Les pièces peuvent également être maintenues à l'aide **d'étaux parallèles**, la plupart du temps orientables à 90° pour permettre le serrage de pièces de grande longueur que la petite ouverture des mâchoires de l'étau ne pourrait contenir.

ÉCHAPPÉES DE RABOTAGE

On appelle **échappées** en période de rabotage, les espaces réservés, à l'avant et à l'arrière de la pièce, pour permettre à l'outil soit d'acquérir sa vitesse de coupe normale pour l'attaque de la pièce, soit de se dégager plus lentement à la sortie de celle-ci.

Il est recommandé de réserver, pour l'**attaque**, un plus grand espace que pour le **dégagement**; en effet, à la sortie de la pièce, si la vitesse de coupe était trop grande, il se produirait, pour certains métaux, un **arrachage** de l'arête terminale de la surface rabotée.

RABOTAGES VERTICAUX OU INCLINÉS

Pour l'exécution sur l'étau-limeur de rabotages verticaux ou inclinés, une précaution importante doit être prise dans l'inclinaison de la tête porte-outil. Sur la figure 152, on remarquera que l'axe autour duquel pivote le porte-outil lorsqu'il se soulève pendant la course retour doit toujours faire un **angle aigu** avec la face attaquée afin de créer une **trajectoire dégagante** du bec de l'outil.

RABOTAGES VERTICAUX ET INCLINÉS

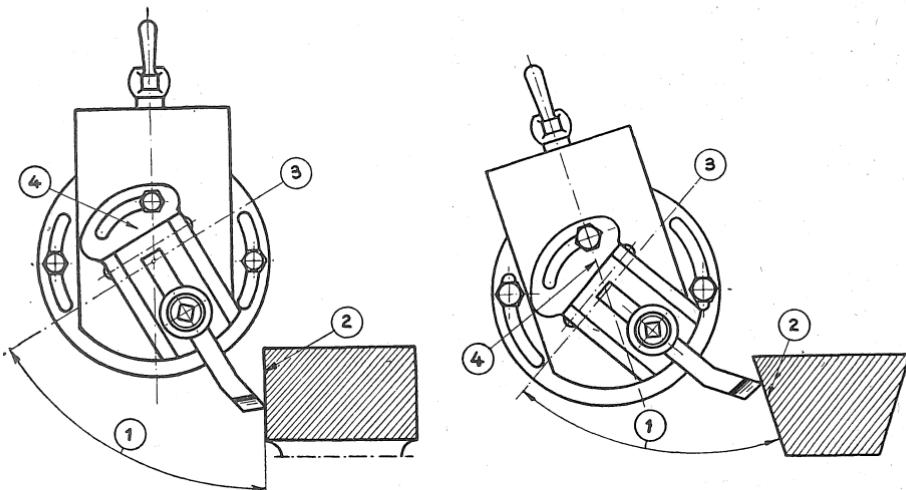


Fig. 152

Dressage vertical

1. Angle de dégagement.
2. Face verticale à usiner.
3. Axe de pivotement.
4. Porte-outil inclinable.

Dressage incliné aigu

1. Angle de dégagement.
2. Face inclinée à raboter.
3. Axe de pivotement.
4. Axe de déplacement du coulisseau.

PRÉCAUTIONS A PRENDRE

1^o **Avoir soin de bien serrer la pièce** en la maintenant solidement dans les mors de l'étau ; son rabotage devant être exécuté dans le sens de la plus grande longueur (orientation particulière de l'étau) ;

2^o **Bloquer énergiquement l'outil** sur son support en évitant qu'il ait trop de porte-à-faux ;

3^o **Attaquer la pièce doucement** pour éviter l'engagement de l'outil, ce qui aurait pour effet de provoquer sa rupture ;

4^o **Observer la vitesse de coupe moyenne** correspondant au métal à travailler ;

5^o **Eviter de modifier la course du coulisseau** pendant la marche d'un étau-limeur à crémaillère ;

6^o **Ne pas retirer les copeaux avec les doigts** pendant la course retour.

PROBLÈMES D'ÉTAUX-LIMEURS

1^o Calcul de la vitesse de coupe moyenne

On veut raboter sur un étau-limeur à bielle intérieure un parallélépipède de longueur **312,5 mm**. Le nombre de courses de l'outil (aller + retour) est de **16** par minute. Sachant que la période retour est deux fois plus rapide que la course aller, fournir la **vitesse de coupe moyenne**. (C.A.P. Ajusteurs, Paris.)

Solution

a) Distance parcourue par l'outil pendant la période travail :

$$0,3125 \text{ m} \times 16 = 5 \text{ mètres}$$

b) Calcul du temps de travail par minute :

$$\frac{60 \text{ s} \times 2}{3} = 40 \text{ secondes}$$

c) **Vitesse de coupe moyenne en m/mn :**

$$\frac{5 \text{ m} \times 60 \text{ s}}{40 \text{ s}} = 7,50 \text{ m/mn}$$

Formule usuelle :

$$V \text{ m/mn} = \frac{A + R}{A} \times \frac{L \times Z}{1.000} = \frac{3 L \times Z}{2.000}$$

A = Course aller ;

R = Course retour ;

L = Longueur de rabotage ;

Z = Nombre de courses travail.

2^e Calcul du nombre de courses travail et du temps d'usinage

On doit raboter sur ses deux grandes faces une pièce en acier de **210 mm × 106 mm**. La vitesse moyenne de coupe recommandée est de **V = 12 m/mn** et l'avance par coupe de **0,4 mm**. Sachant que les courses travail sont deux fois plus lentes que les courses retour, on demande de calculer :

a) Le **nombre de courses travail par minute** ;

b) Le **temps d'usinage** des deux grandes faces si on prévoit une échappée totale de **40 mm** en neutralisant le changement de face.

Solution

a) De la formule précédente fournissant la vitesse de coupe moyenne on peut en extraire le **nombre de courses travail Z** :

$$\begin{aligned} Z &= \frac{1.000 V}{L} \times \frac{A}{A + R} = \frac{1.000 V}{L} \times \frac{2}{3} \\ &= \frac{12.000}{(210 + 40)} \times \frac{2}{3} = 32 \text{ courses travail/mn} \end{aligned}$$

$$\text{Formule simplifiée : } Z = \frac{1.000 V}{1,5 L}$$

b) **Temps d'usinage :**

Nombre de coupes pour 2 faces : $\frac{106 \times 2}{0,4} = 530$ coupes (on rabote sur la plus grande longueur possible).

$$\text{Temps de rabotage : } \frac{530 \text{ c}}{32 \text{ c}} = 16 \text{ mn } 33 \text{ s.}$$

16. MORTAISAGE

DÉFINITION

Le **mortaisage** est un rabotage rectiligne intérieur ne pouvant s'exécuter ni sur un étau-limeur, ni sur une raboteuse. Il est opéré à l'aide d'une machine-outil particulière sur laquelle le déplacement de l'outil a lieu **verticalement**.

MODE D'ACTION DES OUTILS DE MORTAISAGE

Les **outils de mortaisage** travaillent en bout par pénétration. Les angles déterminant la coupe sont les mêmes que pour le rabotage, mais disposés perpendiculairement à la direction de ces derniers.

ANGLES COMPOSANT LA COUPE D'UN OUTIL A MORTAISER

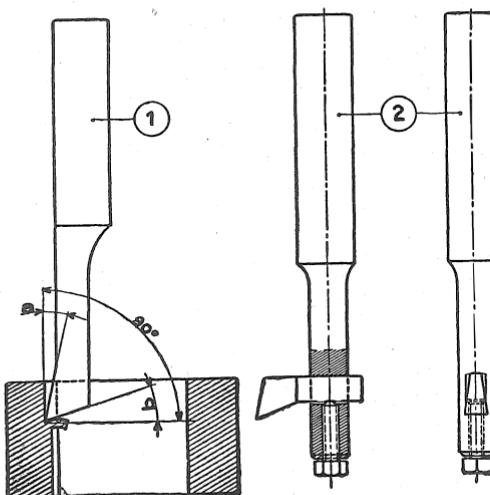


Fig. 153

1. Outil à mortaizer forgé.
2. Porte-lame à mortaizer.

- a. Angle de dépouille.
- b. Angle de pente d'affûtage.

Ils peuvent être à **charioter** ou à **rainurer** suivant leur mode d'utilisation.

Pour tous travaux de rainurage, une dépouille latérale doit être pratiquée sur les outils afin d'éviter le talonnage (fig. 150).

Dans ce genre d'opérations, il faut avoir soin de prendre des passes successives légères, car l'outil, généralement de faible dimension, aurait tendance à fléchir, état de choses susceptible d'en provoquer la rupture à brève échéance. Cette flexion de l'outil

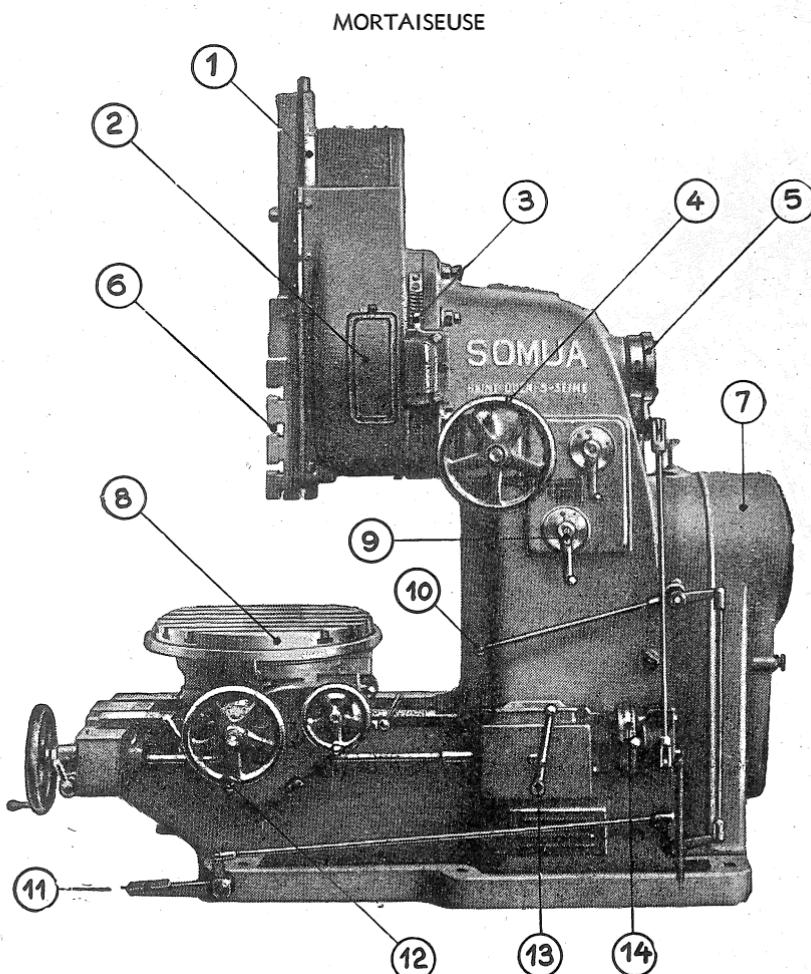


Fig. 154

1. Chariot porte-outil.
2. Tête inclinable.
3. Réglage angulaire de la tête.
4. Volant de réglage manuel.
5. Came des avances.
6. Rainure d'ablocage des outils.
7. Boîte monopoulie.
8. Plateau porte-pièce.
9. Commande des vitesses.
10. Embrayage à main.
11. Embrayage au pied.
12. Commande manuelle des chariots.
13. Inverseur de marche.
14. Commande des avances.

augmentant avec sa longueur ne peut permettre le mortaisage que sur des pièces de faible et moyenne épaisseur.

DESCRIPTION DE LA MORTAISEUSE

La mortaiseuse ressemble, au point de vue conception, à une raboteuse dont le déplacement serait vertical. L'outil, monté sur un chariot, décrit un mouvement rectiligne alternatif dont la période travail a lieu pendant la descente. Contrairement à l'étau-limeur, le porte-outil n'est pas pivotant.

La mortaiseuse se compose :

1^o D'un **bâti** en forme de « col de cygne », constitué à sa partie supérieure par une **glissière verticale** et, à sa partie inférieure par une **plate-forme dressée**, le tout fondu d'une seule pièce.

2^o D'un **block porte-outil** permettant de donner à l'outil toutes les positions utiles. Un dispositif mécanique par **plateau et manivelle** transforme le mouvement circulaire en mouvement alternatif longitudinal, de vitesse et de course variables.

3^o Des **chariots** coulissant sur la plate-forme inférieure et destinés à supporter la pièce, tout en lui communiquant ses différents mouvements de translation.

MOUVEMENTS

Les mouvements de la mortaiseuse sont de deux sortes :

a) **Mouvement de coupe** assuré par le déplacement rectiligne alternatif de l'outil fixé au coulisseau de la machine-outil. La **course-travail** correspond seulement à la période de descente de ce coulisseau ; aucun rabotage n'a lieu pendant la période de remontée.

b) **Mouvement d'avance** fourni à la pièce par les déplacements variés des chariots au-dessus desquels elle est abloquée. Ce mouvement d'avance est opéré à la fin de chaque course-retour au moment précis où l'outil est au **point mort haut**.

POSSIBILITÉS DE LA MACHINE

Les possibilités d'une mortaiseuse peuvent faire l'objet d'un classement en six variantes :

- a) **Course maximum de l'outil** fournie par l'amplitude extrême du rayon de réglage du maneton ;
- b) **Déplacement maximum du chariot longitudinal** ;
- c) **Déplacement maximum du chariot transversal** ;

- d) Capacité maximum du plateau circulaire ;
- e) Vitesses de coupe moyennes maximum et minimum de l'outil ;
- f) Avances maximum et minimum des chariots ;
- g) Encombremens, poids et puissance.

COUPE D'UNE MORTAISEUSE

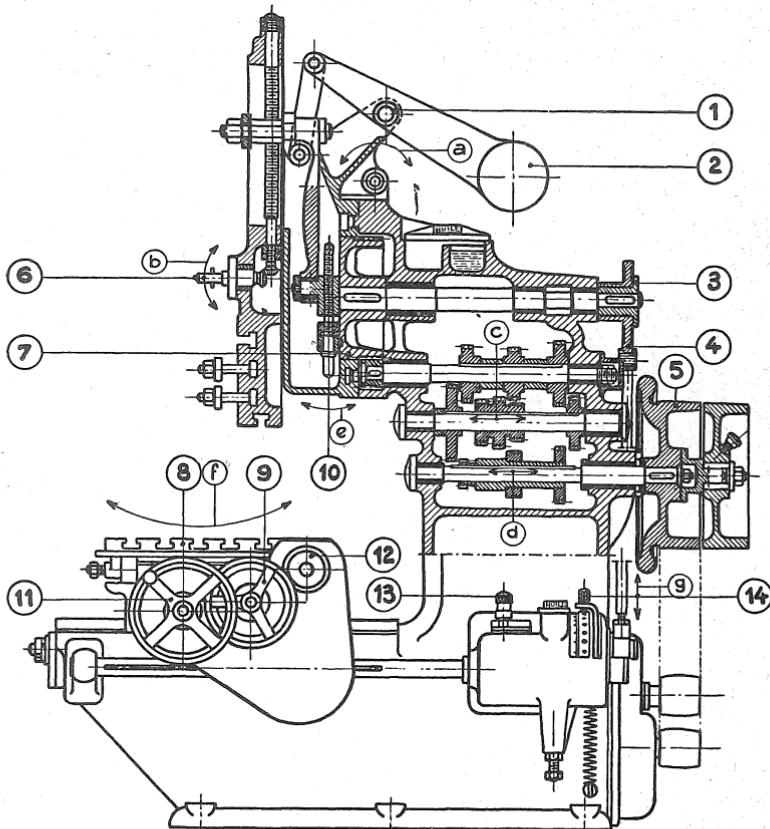


Fig. 155

- 1. Secteur et vis sans fin pour réglage de l'inclinaison.
 - 2. Contrepoids.
 - 3. Plateau de correction des avances.
 - 4. Came des avances.
 - 5. Poulie volant.
 - 6. Réglage du positionnement de l'outil.
 - 7. Plateau de commande de la bielle.
 - 8. Table circulaire graduée.
 - 9. Commande du mouvement transversal.
 - 10. Réglage de la course.
 - 11. Commande du mouvement longitudinal.
 - 12. Commande du mouvement circulaire.
 - 13. Levier de changement de sens des avances.
 - 14. Levier de réglage des avances.
- a. Mouvements du réglage d'inclinaison.
 - b. Mouvements du réglage de positionnement de l'outil.
 - c et d. Mouvements des baladeurs de boîte de vitesses.
 - e. Mouvements des réglages de course de l'outil.
 - f. Mouvements du plateau circulaire.
 - g. Mouvements de la commande des avances.

TRAVAUX DE MORTAISAGE

Différents travaux peuvent être exécutés sur la **mortaiseuse**, en particulier les **rainures de clavetage** de formes variées sur des organes différents (engrenages, cônes, poulies, etc.). Des opérations mécaniques spéciales peuvent également y être pratiquées, telles que des chambrages et des détournages intérieurs. Nous remarquerons que tous ces usinages sont d'un genre bien particulier, nécessitant de grandes précautions.

PRÉCAUTIONS A PRENDRE

Beaucoup de soin et d'habileté sont indispensables pour conduire à bien toute opération de mortaisage.

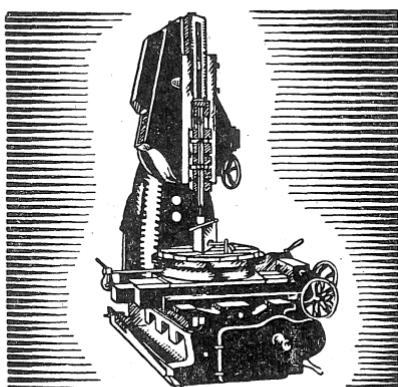
1° **Vérifier** si l'ampleur de la course du chariot n'est pas trop importante, afin que l'outil, en débouchant, ne vienne heurter le plateau porte-pièce.

2° **Eviter de prendre de trop fortes passes** pour ne pas provoquer la rupture de l'outil ou le calage de la machine.

3° **Ne pas retirer les copeaux avec les doigts** pendant la remontée de l'outil.

4° **Vérifier** si le **blocage de la pièce** est énergique et s'il n'y a pas danger de flexion ou de vibration.

Le **bronze** et la **fonte** doivent être mortaisés **à sec** et les **acières** à l'**huile soluble**.



17. RECTIFICATION

DÉFINITION

La rectification consiste à **dresser** avec une grande précision des surfaces de toutes formes douces ou ayant été trempées préalablement ; dans les deux cas, ces pièces nécessitent toujours un fini impeccable obtenu très facilement à l'aide de **meules**.

La rectification a donc pour but d'attaquer et de travailler la surface d'un métal avec une infinité de petits outils tranchants appelés **abrasifs**, rendus solidaires les uns des autres à l'aide d'un ciment spécial que l'on nomme **agglomérant**.

L'ensemble constitue un véritable outil de travail qui prend l'appellation de **meule**.

Les meules

Les meules sont divisées en deux catégories distinctes : les **meules naturelles** et les **meules artificielles**. Ces dernières faisant l'objet d'une étude plus détaillée.

Meules naturelles

Elles sont constituées par un **grès naturel** dont les grains plus ou moins gros créent une dureté plus ou moins importante. C'est un produit pour lequel la nature de l'agglomérant ne peut rentrer en ligne de compte comme celui des meules artificielles. En mécanique générale, on utilise plus spécialement les meules de grès pour l'**affûtage** et la **finition** des arêtes de coupe des **outils fragiles**, car elles leur communiquent un poli plus accentué. De plus, l'arrosage de la meule de grès et sa **faible vitesse de rotation** évitent la détérioration du tranchant d'outils particuliers en **acier fondu**, tels que : outils à fileter, à graver, outils de forme, etc.

Les meules naturelles sont classées en trois grandes catégories, suivant leur lieu d'extraction ou pays d'origine :

1° **Meules Vosges**, à grains demi-fins et demi-tendres, pour menuisiers et tonneliers.

2° **Meules Lorraine** ou **Saverne**, à gros grains très durs, pour limes, outils, travaux de maréchalerie.

3° **Meules ou roues anglaises**, très dures, blanches ou grises, pour l'optique, verres de montre, pierres précieuses, etc.

Meules artificielles

CONSTITUTION

Les meules artificielles sont constituées essentiellement par des **grains abrasifs** très durs, rendus solidaires les uns des autres par une matière agglomérante souple ou rigide appelée **liant**. Les interstices séparant ces deux composants déterminent sa **structure**.

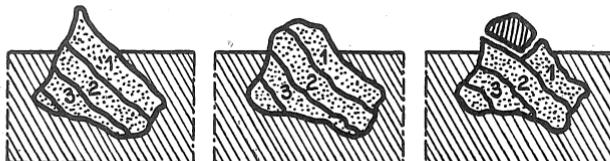
MODE D'ACTION D'UNE MEULE

Le rôle des arêtes et sommets des grains abrasifs est de **gratter** et **d'user** le métal tout comme le ferait une lime ou une rape ; ce genre d'action est bien différent de celui des outils de coupe qui procèdent par tranchage de la matière.

USURE ET RÉGÉNÉRATION

En usant la pièce à meuler, les arêtes vives des grains abra-

RÉGÉNÉRATION PAR CLIVAGE

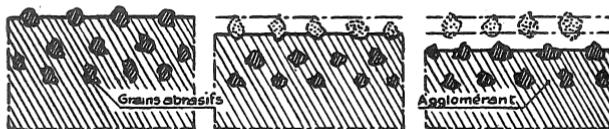


Taillant initial

Usure
de la couche 1

Quand l'usure atteint la couche 2,
la couche 1 éclate
et laisse à découvert le taillant neuf
de la couche 2.

RÉGÉNÉRATION PAR ARRACHEMENT



Aspect initial

Usure de la 1^{re} couche de grains abrasifs et de l'agglomérant.

Continuation de l'usure mettant à jour la 2^e couche de grains abrasifs.

Fig. 156

sifs s'émoussent ; il faut qu'elles soient remplacées par des arêtes vives nouvelles ; cette régénération se produit de deux façons :

- 1^o Par **clivage** ;
- 2^o Par **arrachement**.

1^o Régénération par clivage. — Certains grains abrasifs, Corindon et Carborundum, ont une structure cristalline dont les cristaux ont une aptitude à se séparer en feuillets parallèles (plans de clivage). Cette séparation est provoquée par une retouche de la meule soit au « diabolo », soit au diamant, afin de lui redonner du mordant.

2^o Régénération par arrachement. — La pression de la pièce à meuler finit par arracher les grains abrasifs émoussés du serrage que forme l'agglomérant, mais ce dernier, plus tendre, s'use à son tour et met à jour une nouvelle couche de grains abrasifs à taillants neufs. (Les outils à dresser et à repiquer les meules seront étudiés page 334.)

FABRICATION DES MEULES

Deux fabrications différentes président à l'obtention des meules artificielles.

1^o Fabrication à froid. Dans ce cas, l'agglomérant est toujours un ciment.

2^o Fabrication à chaud :

a) **A basse température** : L'agglomérant est du caoutchouc, de la gomme laque ou de la bakélite, la température de cuisson correspondant au point de fusion de chacune de ces matières.

b) **A température moyenne** : L'agglomérant est un silicate, la température de cuisson variant de 250° à 700°.

c) **A haute température** : La température de cuisson étant très élevée, de 1.350° à 1.500°, l'agglomérant se trouve vitrifié et acquiert ainsi une très haute résistance.

DIFFÉRENTES SORTES D'ABRASIFS

1^o Silice : C'est un oxyde de silicium, composant du grès, du quartz et du silex ; sa dureté est assez faible et son clivage difficile. Les meules à base de silice sont généralement appelées : **meules composition** (Echelle Moh : 7).

2^o Alumine (Symbole A) : C'est un oxyde d'aluminium constituant la partie dure et mordante de l'émeri et du **corindon naturel**. On l'obtient artificiellement par synthèse électrique. La dureté de ces corps varie avec la teneur en alumine (Echelle Moh : 8).

a) **Emeri naturel** (îles de la mer Egée) : 50 à 65 % d'alumine, ne se clive pas, les grains sont plus solides, mais, par contre, moins mordants ;

b) **Corindon naturel** (U.S.A., Madagascar, Ceylan, Canada) : 65 à 75 % d'alumine. Couleur rose saumon avec points noirs ;

c) **Corindon artificiel** (Al_2O_3) : Préparé au four électrique en partant de la bauxite, 75 à 99 % d'alumine, abrasif excellent dont la température de fusion varie entre 1.350° et 1.500° ;

L'**alundon** « Norton » est également un corindon artificiel qui possède un aspect extérieur blanchâtre ;

3^o **Carborundum** (SiC) (Symbole C) : Carbure de silicium; produit obtenu au four électrique, il se clive facilement et possède une dureté intermédiaire entre celle de l'alumine et celle du diamant ; **c'est le plus dur des abrasifs** avant le diamant (travail du verre, de la nacre, de l'ivoire, de la fibre, exécution de cylindres en fonte trempée, de certains carbures métalliques, affûtage (Echelle Moh : 9).

Le **carborundum** résulte de la fusion au **four électrique** de 45 % de charbon de cornue avec un mélange de chaux, de silice et de sel marin.

Le mélange **chaux-silice** s'appelle encore sable blanc.

a) Le **crystolon** est aussi un carbure de silicium, mais beaucoup plus fragile que le carborundum ;

b) Le **carbonite** est un abrasif électrique employé dans la fabrication des meules américaines de la « Safety Emery Company » ;

c) Le **carbolite** est un abrasif électrique utilisé pour le meulage des métaux tendres et aussi du cuir et du caoutchouc.

4^o **Diamant** (Symbole D) : **Le plus dur des abrasifs** (Echelle Moh : 10) est surtout utilisé à l'état pulvérulent dans la fabrication des **meules diamantées** ; celles-ci servent à l'**affûtage des carbures métalliques** (1). Lieux d'extraction : Brésil, Cap et Congo.

ÉCHELLE MINÉRALOGIQUE DE MOH

L'échelle de dureté minéralogique de **Moh** est basée sur le classement de dix corps naturels, dont **l'un d'entre eux raye celui qui le précède**.

	Matière	HB
ABRASIFS		
Corindon (Al_2O_3)	1. Talc	3
Quartz (Grès)	2. Gypse	12
	3. Calcite	53
	4. Fluorine	64
	5. Apatite	137
	6. Feldspath	147
	7. Quartz	178
	8. Topaze	304
	9. Corindon	766
	10. Diamant	> 1.800
MÉTAUX		

Fig. 157

(1) Pour l'étude du **diamant** se reporter à « **La Stellite, les Carbures métalliques, la Céramique et le Diamant** », page 107.

GRAIN DE L'ABRASIF

La grosseur du grain est désignée par des numéros universellement adoptés et indiquant le nombre de mailles par **pouce anglais** (25,4 mm) des tamis qui servent à classer les grains après concassage :

6	14	36	Moyens
8	16	46	
10	20	54	
12	24	60	
180	30	70	Poudre
90	180	400	
100	220	500	
120	240	600	
150	280	miroir	
	320		

TRÉMIE 10 FILS PAR POUCE

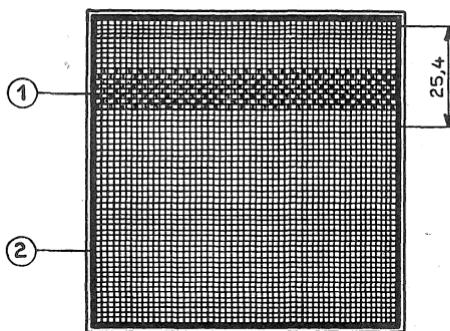


Fig. 158

1. Grosseur du grain. 2. Nombre de mailles par pouce.

- Les grains abrasifs **très gros** et **gross** sont utilisés pour l'**ébauche**.
- Les grains **moyens** et **fins** servent à l'**affûtage** et à la **finition**.
- Les grains **très fins** et la **poudre** sont réservés pour la **superfinition**.

NATURE DES AGGLOMÉRANTS OU LIANTS

1° **Meules fabriquées à froid.** Le liant est un **ciment magnésien**, le mélange liant et abrasif est moulé, séché et étuvé.

Composition du liant. — Silicate de soude ou oxychlorure de magnésie. Le procédé de séchage supprime la bague en plomb

pour le trou d'axe car les meules ne se déforment pas pendant la prise du ciment. Leur prix de revient relativement peu élevé est leur principal avantage.

2^e Meules fabriquées à chaud :

a) **A basse température.** Le liant est, comme nous l'avons vu précédemment, du **caoutchouc**, de la **gomme laque** ou de la **bakélite**. Le mélange est chauffé et pressé dans des moules, puis cuit à basse température. Ces meules ont une grande résistance et possèdent une certaine flexibilité. Leur résistance à l'éclatement permet de les faire tourner à de très grandes vitesses de l'ordre de **4.200 mètres-minute** pour le tronçonnage, de **2.000 mètres-minute** pour les travaux d'ébarbage.

b) **A température moyenne.** Le liant est un **silicate**. Le mélange est pressé dans des moules et cuit à une température de **250 à 700°**; cette température peut même être accrue et atteindre la vitrification.

c) **A haute température** (meules vitrifiées ou céramiques). Le liant est un **silicate double naturel** allant de l'argile au kaolin. Les propriétés des fondants et des agglomérants permettent d'obtenir différentes duretés de meules. La cuisson est lente et dure de **8 à 15 jours** à une température variant de **1.350° à 1.500°**. A cette chaleur, l'agglomérant fond, enrobe l'abrasif et se vitrifie. Ces meules sont garnies de bagues de plomb. Les **meules vitrifiées** sont insensibles aux intempéries, à l'eau, à l'huile, aux solutions acides et alcalines. Elles s'emploient à sec ou avec un léger arrosage pour leur refroidissement.

NORMALISATION DES AGGLOMÉRANTS

Les symboles universels permettant de classer les agglomérants sont les suivants :

B Agglomérant résinoïde à base de bakélite, fournit une certaine élasticité pour le tronçonnage à grande vitesse.

E Agglomérant Shellac à base de gomme laque, très grande élasticité.

M Agglomérant métallique.

R Agglomérant Rubber à base de caoutchouc, limite élastique élevée, résiste aux chocs et aux grandes vitesses.

S Agglomérant silicate à base de silicate de soude, travaux de rectification plane avec grande surface de contact.

V Agglomérant vitrifié analogue au verre, est utilisé pour l'ébarbage à petite vitesse et la rectification.

GRADE

Si les grains abrasifs s'arrachent aisément, la meule est **douce** ou **tendre**. Dans le cas contraire, elle est dite « **dure** ». Une meule trop dure se glace, lustre et ne mord pas. Le **grade** est la force de cohésion retenant les grains abrasifs. Pour caractériser le « **grade** » de l'agglomérant, l'appellation la plus employée est celle des Etablissements Norton.

La **dureté d'une meule** est donc fonction de son **grade** et non de la dureté des grains abrasifs. Elle s'exprime par des lettres allant de **D** (très tendre) à **Z** (très dure).

D		L		T	
E	{	M	{	U	
F	Très tendre	N	Moyen	W	
G		O		Z	
H		P			
I	{	Q	{		
J	Tendre	R	Dur		
K	}	S			

Seul l'agglomérant est plus ou moins tendre, l'**abrasif** ne variant pas de dureté. On devrait plutôt énoncer, au lieu et place de meule tendre et meule dure : meule **friable** et meule **tenace**. Lorsque le volume de matière à enlever est important, il est préférable d'utiliser une **meule ouverte à gros grains**.

STRUCTURE

STRUCTURE POREUSE DES MEULES VITRIFIÉES

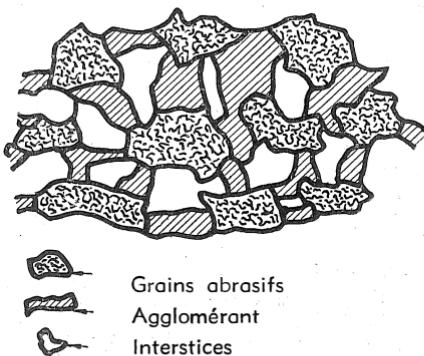


Fig. 159

La **structure** d'une meule est le **coefficient d'espacement de ses grains abrasifs**. Elle est définie par le rapport entre son volume

total et le volume des abrasifs. Les chiffres caractérisant la structure s'étagent de 0 à 12 :

0 à 3 : Grains très serrés (travaux de grand débit). **Meule fermée.**

4 à 6 : Espacement moyen (affûtage et finition).

7 à 12 : Grains très espacés (travaux de rectification). **Meule ouverte.**

FORME DES MEULES

Nous remarquerons dans le tableau représentant les formes les plus communes des meules, que la meule en **disque cylindrique** est la plus employée ; c'est la forme la plus simple à obtenir, donc la moins chère ; elle convient dans la majorité des cas, l'ouvrier la taillant lui-même au diamant et aux formes désirées **2, 3, 4**. La forme **7** permet d'approcher des grandes faces, la rondelle et l'écrou de serrage ne débordant pas de la meule.

Les formes **8** et **9** correspondent à des fixations de sécurité évitant l'éclatement. Les formes **10, 11** et **12** sont surtout employées sur les machines à affûter les fraises, les alésoirs et les scies circulaires.

Les meules de face **13, 14, 15** ne diffèrent que par leur mode de fixation ; il est nécessaire, pour la sécurité du compagnon, qu'elles soient collées sur un plateau.

Les **disques abrasifs**, vulgairement appelés « **lapidaires** », sont obtenus en collant des grains abrasifs sur une toile, elle-même adhérente à un plateau en fonte tournant à grande vitesse.

Dans les ateliers de polissage, on utilise également un dispositif particulier appelé **tapis roulant** et constitué par une bande de toile émeri circulaire entraînée par deux rouleaux dont l'un est tendeur et l'autre moteur. Il est bien spécifié que les travaux exécutés sur de telles machines ne peuvent être que des opérations d'ébarbage ou de polissage sans précision.

ACHAT DES MEULES

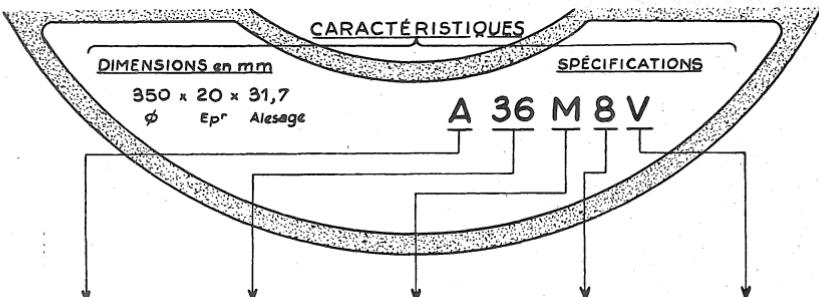
L'acquisition d'une meule conduira toujours l'ouvrier à noter les indications suivantes :

1^o Nom et adresse du fournisseur ;

2^o Forme de la meule avec croquis de préférence ;

- 3^e Diamètre extérieur, épaisseur et diamètre de l'alésage ;
 4^e Nature de l'abrasif, grosseur du grain, grade, structure et agglomérant, se reporter à la désignation « Norton » suivant le schéma ci-après.

DÉSIGNATION DES MEULES D'APRÈS « NORTON »



The diagram shows a cross-section of a grinding wheel with a characteristic code "A 36 M 8 V" embossed on it. Arrows point from the code to specific parts of the wheel: "DIMENSIONS en mm" points to the overall size "350 x 20 x 31,7", "φ Ep° Alesage" points to the bore diameter, and "CARACTÉRISTIQUES" points to the code itself.

Nature de l'abrasif	Grosseur de grain d'abrasif		Grade		Structure	Agglomérant	
	Très Gros	gros	Tendre	Moyen			
Abrasif alumineux ou Corindon	6	14	D	I	Fermée	0	
	8	16	E	J		1	
	10	20	F	K		2	
	12	30	G	L		3	
Corindon	Moyen	Fin	H	M	Moyenne	4	
	36	80				5	
	46	90				6	
	54	100				7	
Abrasif siliceux ou Carborundum	60	120	Dur	Très dur	Ouverte	8	
	70	150				9	
	Carborundum	Très fin	Poudre	N		S	10
		180	400	O		T	11
220		500	P	U	12		
240		600	Q	W			
Diamant	280	miroir	R	Z			
	320						

Fig. 160

USINAGE PAR ABRASION

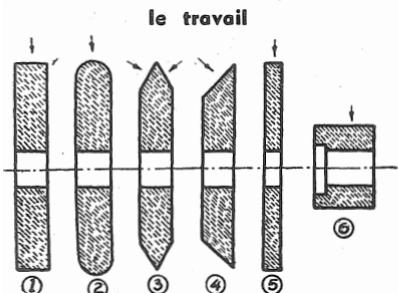
Règles à observer

- 1^o On dresse et rectifie des surfaces dures avec des meules tendres et des surfaces tendres avec des meules dures.

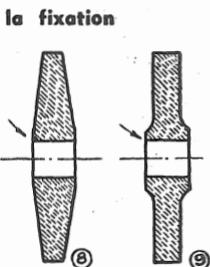
FORME DES MEULES

MEULES TRAVAILLANT PAR LA PÉRIPHÉRIE

Formes déterminées par :



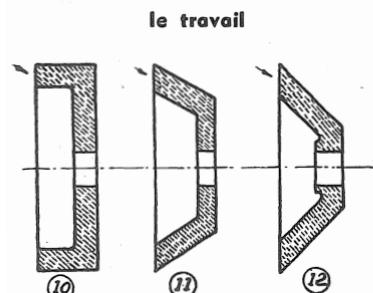
1. Meules disques cylindriques.
2. — — demi-rondes convexes.
3. — — à double biseau.
4. — — à simple biseau.
5. — — à tronçonner.
6. — — à rectifier intérieurement.



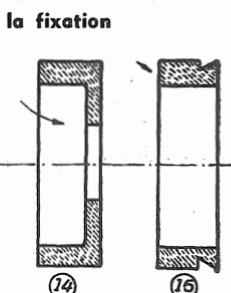
7. Meules déportées (rectification).
8. Meules à faces coniques (forme augmentant la résistance).
9. Meules à bourrelet central (forme augmentant la résistance).

MEULES TRAVAILLANT PAR LA FACE

Formes déterminées par :



10. Meule boisseau droite.
11. — — conique.
12. — de face assiette.
(Machines à affûter les fraises,
alésoirs, etc.)



13. Meules de face.
14. — cylindriques.
15. — anneau.

2^o Une meule débitera d'autant plus qu'elle sera plus tendre car, dans ce cas, elle se retaille d'elle-même.

3^o Une meule trop dure se glace, s'encrasse et ne mord pas, elle ne produit plus aucun travail et lustre la pièce en la détériorant.

4^o Une meule doit être d'autant plus tendre que la surface en contact avec elle est plus grande.

5^o Pour le travail à l'eau, il faut une meule dure.

6^o Une meule juste assez tendre pour ne pas lustrer donne d'excellents résultats.

VITESSE DES MEULES

Si pour usiner par détachement du copeau, la vitesse de contact entre pièce et outil s'appelle **vitesse de coupe** et s'exprime en **mètres/minute**, la vitesse de contact entre meule et pièce pourra s'appeler **vitesse d'abrasion** et s'exprimera en **mètres/seconde** par suite des grandes vitesses exigées.

La vitesse périphérique des meules est le plus souvent comprise entre **20 et 30 mètres/seconde**, soit **1.200 à 1.800 mètres/minute**.

La limite supérieure est surtout imposée par une condition de sécurité prévenant l'éclatement, car on a intérêt à augmenter la vitesse des meules en utilisant des meules tendres. Cette vitesse joue un très grand rôle pour le rendement.

Exemple. — Une meule vitrifiée qui à 25 mètres/seconde donne 80 fois son poids de limaille, a vu son rendement diminué à 6 fois pour une vitesse réduite de moitié.

VITESSES D'ABRASION ET VITESSES DE ROTATION DES MEULES ARTIFICIELLES

Le terme **vitesse d'abrasion** remplacera désormais la dénomination vitesse circonférentielle beaucoup trop vague et ne situant aucunement l'usinage. Elle s'exprimera en **mètres par seconde** et la **vitesse de rotation en nombre de tours par minute**.

TABLEAUX

VITESSES D'ABRASION LIMITES EN MÈTRES/SECONDE

Type des meules	Grosseur de grain	AGGLOMÉRANT					
		Vitrifié			Résines synthétiques		
		Grade Tendre	Moyen	Dur	Tendre	Moyen	Dur
Plates et Assiettes	24-20-16 30 et plus fin	23 m/s 28 m/s	25 m/s 30 m/s	33 m/s 33 m/s	30 m/s	40 m/s	50 m/s
Boisseaux droits et coniques	24-20-16 30 et plus fin	25 m/s 25 m/s	25 m/s 28 m/s	28 m/s 30 m/s	25 m/s 30 m/s	35 m/s 40 m/s	40 m/s 45 m/s

VITESSES DE RENDEMENT MAXIMUM EN TOURS/MINUTE

Vitesse d'abrasion	23 m/s	25 m/s	28 m/s	30 m/s	33 m/s	35 m/s	40 m/s	45 m/s	50 m/s	80 m/s
Diamètre en mm	tr/mn									
100	4.400	4.750	5.400	5.700	6.300	6.700	7.600	8.600	9.600	
125	3.500	3.800	4.300	4.600	5.050	5.600	6.100	6.900	7.600	
150	2.950	3.200	3.600	3.800	4.200	4.450	5.100	5.700	6.400	
180	2.430	2.650	3.000	3.200	3.500	3.800	4.250	4.750	5.300	8.500
200 à 203	2.160	2.350	2.620	2.820	3.100	3.300	3.750	4.250	4.700	7.500
250 à 254	1.720	1.880	2.100	2.230	2.500	2.650	3.000	3.400	3.750	6.000
300 à 305	1.440	1.570	1.750	1.880	2.070	2.190	2.500	2.800	3.150	5.000
350 à 355	1.240	1.350	1.500	1.610	1.780	1.890	2.160	2.400	2.700	4.300
400 à 406	1.080	1.180	1.320	1.410	1.550	1.650	1.880	2.120	2.350	3.750
450 à 457	960	1.050	1.170	1.250	1.380	1.470	1.680	1.880	2.090	3.350
500 à 508	870	940	1.050	1.130	1.240	1.320	1.500	1.700	1.880	3.000
600 à 610	720	780	880	940	1.030	1.090	1.250	1.410	1.570	
750 à 760	580	630	700	750	830	880	1.000	1.130	1.260	

VITESSES D'ABRASION COURANTES

- 1° Meules vitrifiées ou céramiques : 25 mètres/seconde.
 2° Meules au caoutchouc ou gomme laque : 30 mètres/sec.
 3° Meules bakélite : { Tronçonnage : 80 mètres/seconde.
 Ebarbage : 40 mètres/seconde.

La Société « Norton » a essayé des vitesses de 100 mètres/seconde sans accident, ce qui fait que la rupture n'a pu être fixée.

Comme exemple de force centrifuge à 45 mètres/seconde, la pression par pouce carré est de 113 kg (6,45 cm²), soit 17 kg au centimètre carré.

CALCUL DE LA VITESSE DE ROTATION DES MEULES

Sachant que cette vitesse de rotation s'exprime en **nombre de tours par minute**, il suffira de calculer d'abord la longueur de

la circonference extérieure de la meule, soit à l'état neuf, soit pendant son usure, cette valeur sera donnée en **mètres**.

Longueur circonférentielle = πD ou $\pi D'$ ou $\pi D''$.

Connaissant maintenant la **vitesse d'abrasion** transformée en **mètres/minute Va**, à laquelle on doit faire tourner les différentes sortes de meules, on divisera cette quantité par πD , $\pi D'$ ou $\pi D''$ suivant l'usure ; le résultat obtenu sera une vitesse de rotation en **tours/minute** :

$$N = \frac{Va}{\pi D \text{ ou } \pi D' \text{ ou } \pi D''}$$

Exemple. — Calculer la vitesse en tours/minute à laquelle on devra faire tourner une meule vitrifiée de $\emptyset 125$ mm :

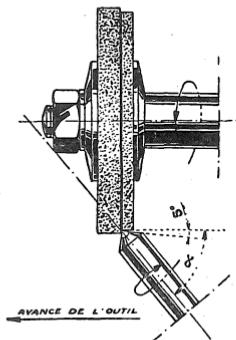
$$N = \frac{25 \text{ m/s} \times 60 \text{ s}}{\pi D_m} = \frac{1.500 \text{ m}}{0,392 \text{ m}} = \mathbf{3.826 \text{ tours/minute}}$$

DRESSAGE DES MEULES

Pour le meulage à main, on se sert en général, pour redresser les meules et aussi pour les repiquer, c'est-à-dire leur redonner du mordant, soit d'une molette constituée par une petite meule en carborundum appelée « **diabolo** », soit de molettes à dents aiguës ou ondulées montées libres sur un arbre, ces dernières faites de fonte blanche. Quant au dressage des meules sur les machines à rectifier, un **diamant** est nécessaire pour obtenir de bons résultats.

UTILISATION DU DIAMANT

1° Utiliser sur la machine un montage rigide pour éviter les vibrations ; laisser le moins de porte-à-faux possible au support.



Grain très fin : $\alpha = 45^\circ$

Grain fin : $\alpha = 30^\circ$

Grain moyen : $\alpha = 20^\circ$

Gros grain : $\alpha = 15^\circ$

Fig. 162

2° **Incliner l'axe du porte-diamant d'un angle** à qui variera suivant le grain des meules employées :

Tourner fréquemment le porte-diamant dans son montage de façon à toujours présenter à la meule une pointe au lieu d'une surface plane.

3° **Eviter rigoureusement les chocs**, ne jamais faire pénétrer brutalement le diamant dans la meule. Ralentir à son minimum la vitesse de la meule pour la **diamanter**.

4° **Ne jamais employer les diamants à sec**; arroser abondamment le point de contact et ouvrir le jet avant la mise en route.

5° **Prendre des passes très légères** et les répéter aussi souvent que cela est nécessaire.

NOTA. — Sur certaines machines à rectifier modernes, le diamant est à demeure sur la machine et son réglage vertical et transversal est obtenu par manivelle.

ARROSAGE EN COURS DE RECTIFICATION

L'eau doit toujours s'écouler, le long de la meule tournante, par capillarité. Le tuyau d'arrosage doit avoir son extrémité pointue et légèrement recourbée vers la meule. On pourra utiliser avec d'excellents résultats des **huiles solubles additionnées de carbonate de potasse** qui ont l'avantage d'empêcher la rouille et qui décrassent les meules d'une façon parfaite.

MONTAGE ET ENTRETIEN DES MEULES

L'éclatement d'une meule est un accident grave qui peut mettre en danger la vie de l'ouvrier; aussi est-il nécessaire de prendre de grandes précautions, soit pour leur **montage**, soit pour leur **entretien**, soit pour leur **utilisation**. Il faut avoir soin de :

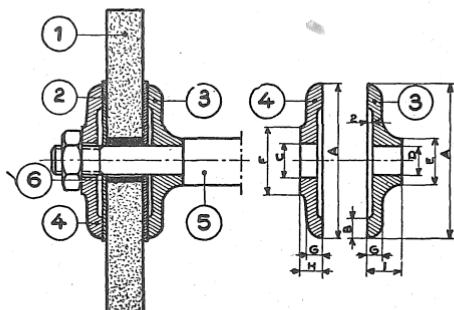
1° **Employer des meules de bonne fabrication.**

2° **Sonner la meule avant montage** (avec une pièce métallique elle doit rendre un son clair).

3° **Centrer parfaitement** la meule sur son axe.

4° **Les flasques de serrage doivent plaquer par le bord** et non par le centre, les félures s'amorçant le plus souvent par le bord du trou; interposer entre les flasques et la meule des rondelles de carton compressible qui répartissent la pression. Ces rondelles sont parfois collées par le fabricant lui-même.

MONTAGE DES MEULES



\emptyset : Diamètre de la meule.

A : $\emptyset/2$.

B : $\emptyset/15$.

C : $\emptyset/10 + 0,2$ mm.

D : $\emptyset/10$.

E : 2 C.

F : 2,5 C.

G : C/4.

H : C/2.

I : C.

Fig. 163

1. Meule.
2. Rondelle de buvard ou carton.
3. Flasque ajustée sur l'arbre.
4. Flasque libre sur l'arbre.
5. Arbre de la meule.
6. Rondelle de plomb.

5° **Serrer assez fort** pour assurer l'entraînement ; on évite ainsi le desserrage en marche par les vibrations ; l'écrou de serrage doit toujours tendre à bloquer la meule par rotation. L'arbre porte-meule doit donc avoir son extrémité filetée suivant un **pas à droite** pour une meule orientée **à droite**, et suivant un **pas à gauche** pour une meule orientée **à gauche**.

La flasque recevant la meule doit être serrée sur l'axe.

La flasque recouvrant la meule doit posséder un certain jeu pour éviter le gauchissement ; de plus, la meule doit jouer légèrement sur son axe. Si, après montage, celle-ci ne tourne pas rond, la retoucher, soit au diamant, soit au « diabolo ».

6° **Éviter de produire des chocs trop brutaux** sur la meule, soit avec des pièces à ébarber, soit avec des pièces à dresser. Avoir soin de placer le support assez près de la meule afin que la pièce ne puisse venir se coincer dans l'espace intermédiaire, ce qui aurait pour effet de provoquer un accident par éclatement.

Extrait du décret du 10 juillet 1913

« Toute meule tournant à grande vitesse devra être montée ou enveloppée de telle sorte que, en cas de rupture, ses fragments soient retenus soit par les **organes de montage**, soit par des **enveloppes spéciales**. »

Conduite de la rectification

Toute opération de rectification fait appel à des sens de rotation bien définis entre la meule de travail et la pièce en mouvement.

SENS DE ROTATION DES MEULES

Règles

- Pour toute opération de **rectification circulaire**, le sens de rotation de la meule et de la pièce doit être tel qu'à leur point de contact les génératrices de l'une et de l'autre arrivent en sens inverse ;
- Pour toute **rectification plane** le sens d'avancement de la pièce peut être quelconque.

Premier cas

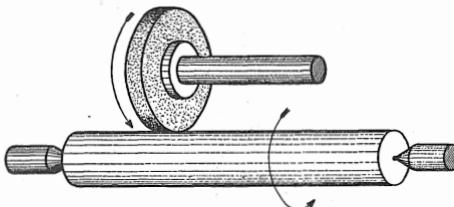


Fig. 164

Rectification extérieure. — La meule et la pièce doivent tourner dans le même sens (fig. 164).

Rectification intérieure. — La meule et la pièce doivent tourner en sens inverse (fig. 165).

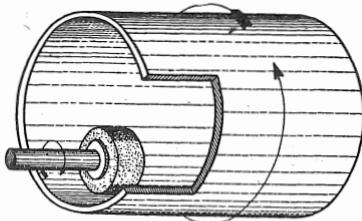


Fig. 165

Remarque. — L'ouvrier rectifieur devra veiller à ce que, de toutes façons, les étincelles produites par la meule se dirigent toujours vers le sol pour éviter, d'une part, son aveuglement, et, d'autre part, des fausses manœuvres dues à cet aveuglement.

Deuxième cas

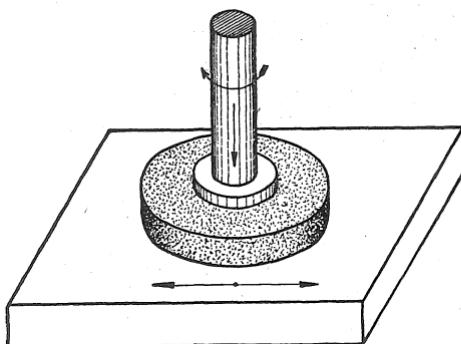


Fig. 166

Rectification plane. — Pour un sens déterminé de rotation de la meule, l'avancement de la pièce peut avoir lieu de gauche à droite ou de droite à gauche (fig. 166).

MÉTHODES DE RECTIFICATION CONIQUE

Première méthode

Inclinaison de la tête. — Cette méthode permet d'incliner la tête porte-meule à l'angle demandé et d'exécuter avec celle-ci plusieurs passes successives en gradin (voir fig. 167). Dans le cas d'une seule passe, il est nécessaire d'utiliser une meule plus large que la partie à rectifier.

Deuxième méthode

Orientation de la poupée sur base tournante. — Dans ce cas particulier, on est conduit à orienter tout d'abord la poupée inclinable à l'angle demandé, puis, à l'aide du chariot longitudinal, de rectifier la partie conique par translation de la meule (fig. 168).

INCLINAISON DE LA TÊTE

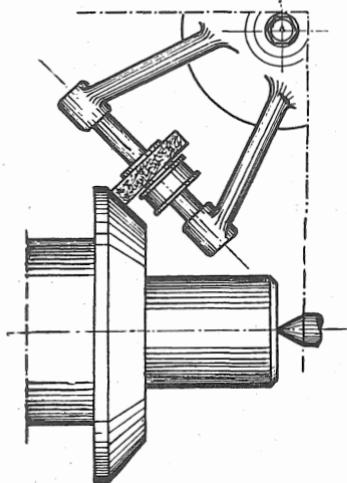


Fig. 167

ORIENTATION DE LA POUPÉE

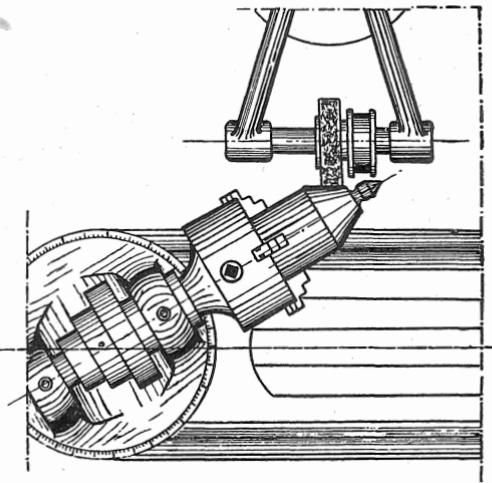


Fig. 168

Troisième méthode

Complément d'angle. — Cette méthode reméde au déplacement angulaire trop réduit du chariot longitudinal.

a) Inclinant la tête porte-meule d'un angle déterminé (cas de la figure 169) $\alpha = 30^\circ$, on chanfreinera la meule à l'aide du diamant.

COMPLÉMENT D'ANGLE

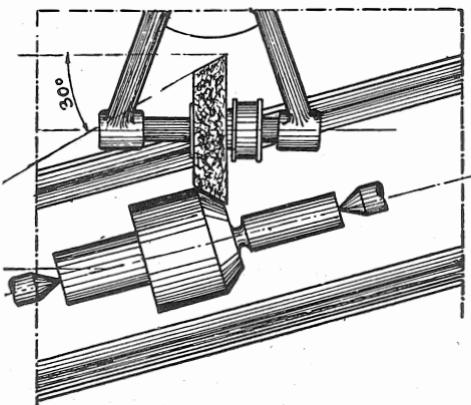


Fig. 169

b) Remettant la tête porte-meule au zéro, on inclinera la table porte-pièce d'un angle $\beta = 15^\circ$, complément de l'angle que l'on veut obtenir $90^\circ = 2 \times (30 + 15^\circ)$. La rectification sera ensuite conduite par translation de la table.

CHOIX DES SPÉCIFICATIONS

TRAVAIL	MEULE	TRAVAIL	MEULE
Affûtage Outils de tour { Ebauche Finition	A 36 - N 8 VBE A 60 - L 8 VBE (1) Forets Fraises	Rectification cylindrique Acer doux Acer trempé	A 46 - N 5 VBE 38 A 60 - L 5 V
Outils en carbure { Ebauche Finition	39 C 801 - K 7 V 39 C 120 - J 7 V		
TRAVAIL	MEULE	TRAVAIL	MEULE
Rectification intérieure		Rectification plane Acer à coupe rapide Acer trempé Fonte	(meule à profil cylindrique) 38A46 - H8VBE 38A46 - I8VBE 37 C 36 - J 8 V
Acier trempé Fonte	38 A 60 - M 5 V 37 C 36 - J 5 V		

(1) Le **nombre** précédent la première lettre est une désignation particulière « Norton ».

RÈGLES A OBSERVER DANS L'USINAGE PAR ABRASION

Sur toutes les machines à rectifier par révolution, les deux pointes supportant la pièce sont fixes, c'est une condition essentielle pour que ses différentes portées soient rigoureusement concentriques.

Dans le cas de **rectification de partie cylindrique aboutissant à une face** et demandant par conséquent un **angle très vif**, on n'aura aucun intérêt à employer une meule tendre se régénér-

rant facilement ; en effet, la meule ne se dégageant pas de la pièce côté face, pourra laisser subsister un arrondi nuisible à son utilisation et parfois même une légère partie conique à fond de course. Dans ce cas bien spécial, l'utilisation d'une meule relativement dure sera recommandée.

Dans tous les cas de rectification extérieure, il est nécessaire que le diamètre de la meule soit supérieur à celui de la pièce.

Pour exécuter une rectification extérieure ou intérieure, il est indispensable que la vitesse de rotation de la meule soit supérieure à celle de la pièce.

MEULES DIAMANTÉES

Généralités. L'usinage des corps très durs et l'affûtage d'outils modernes ont conduit les fabricants de meules à prévoir des éléments abrasifs susceptibles de satisfaire toutes les exigences. Des types de meules à agglomérants différents ont donc été prévus pour chaque opération.

Usinage de corps durs. Les meules prévues pour ce travail sont à agglomérant métallique ; elles permettent des opérations d'ébau-

MEULE DIAMANTÉE

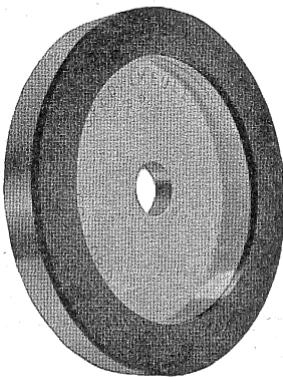


Fig. 170

che pour l'usinage de matières dures et fragiles : tungstène, verre, quartz, etc. L'outil à une forte teneur en diamant **4,40 carats au cm³** sur des épaisseurs de **0,5, 0,8 ou 1 mm**, la durée de service est remarquable.

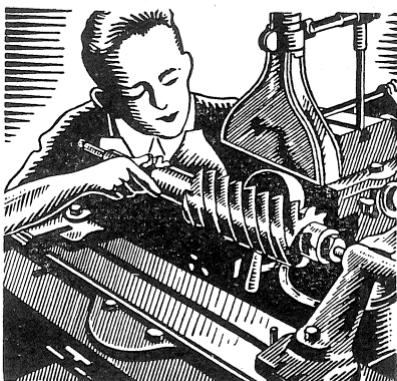
Affûtage des outils modernes. Les meules prévues pour cet usage sont à agglomérant résinoïde et sont plus particulièrement

employées pour l'affûtage des outils à mise rapportée en carbure de tungstène, mais elles permettent également des travaux de finition et de superfinition sur corps très durs.

La teneur en diamant se situe autour de **2,20 carats au cm³** sur une épaisseur de **1,5 mm**.

Les vitesses d'utilisation peuvent atteindre **20 à 25 mètres/seconde**.

Décrassage. Au cours de l'affûtage d'une plaquette de carbure si la meule entre en contact avec le corps de l'outil, sa partie active peut se « cirer ». Son décrassage se fera à l'aide d'une plaquette de fonte légèrement recouverte de poudre de carborundum (grain 80), ce qui aura pour effet de faire ressortir les particules de diamant.



MACHINES A RECTIFIER

Classification et utilisation

Les machines à rectifier les plus couramment employées dans l'industrie mécanique peuvent être classées en sept groupes distincts :

PREMIER GROUPE

Dans cette catégorie sont groupées les machines à rectifier les surfaces cylindriques et coniques extérieures et intérieures,

MACHINE A RECTIFIER LES SURFACES CYLINDRIQUES ET CONIQUES (1^{er} groupe)

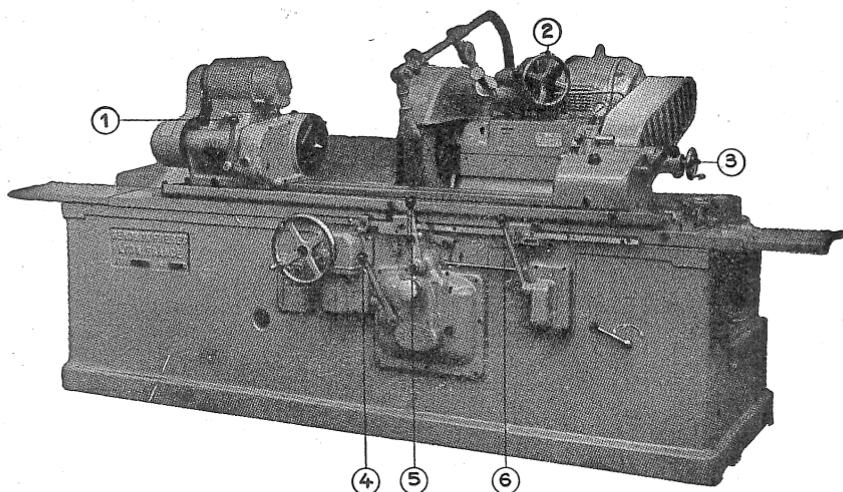


Fig. 171

1. Commande de la poupée porte-pièce.
2. Avance manuelle de la meule.
3. Réglage de la contre-poupée.
4. Commande automatique de la table.
5. Inversion des avances de table.
6. Commande générale.

permettant la rectification de tous les solides de révolution. À celles-ci s'ajoutent également les machines à rectifier les cylindres de moteurs à explosion, les machines à rectifier spéciales pour vilebrequins, roues de wagon, cylindres de laminoir, etc.

DEUXIÈME GROUPE

Celui-ci comprend les machines à rectifier les **surfaces planes** :

MACHINE A RECTIFIER LES SURFACES PLANES

(2^e groupe)

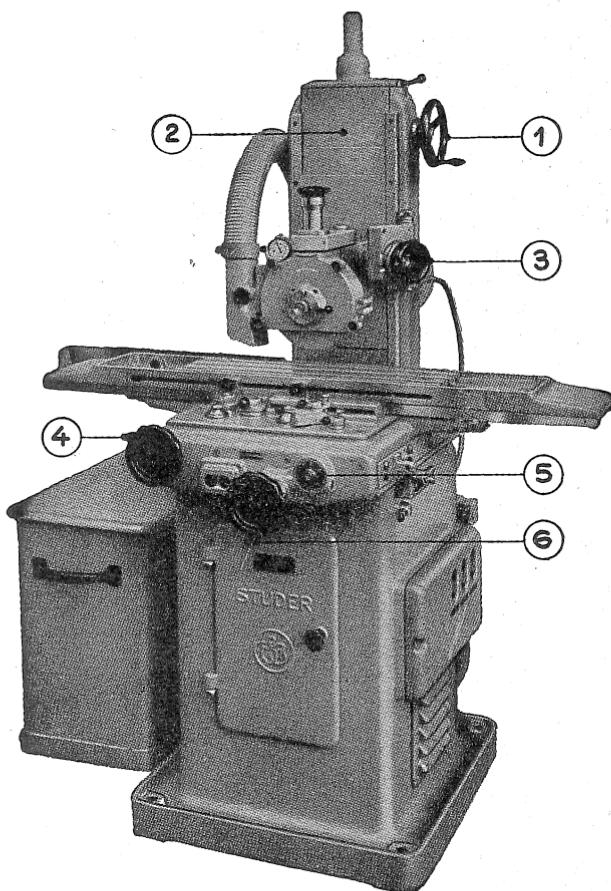


Fig. 172

1. Commande rapide de la poupée porte-meule.
2. Poupée porte-meule.
3. Commande micrométrique.
4. Commande manuelle du longitudinal.
5. Indicateur des déplacements.
6. Commande manuelle du transversal.

a) Pour des **surfaces horizontales**, utilisation d'une **meule-disque** cylindrique montée sur un arbre horizontal, la pièce étant maintenue sous le mordant de la meule par une table à mouvement alternatif (mouvement transmis, soit mécaniquement, soit hydrauliquement). Sur cette même table peuvent être disposés, soit un **étau à semelle tournante**, soit une **poupée diviseur**, soit un **plateau magnétique**; c'est la machine à rectifier type **rabo-teuse**;

UTILISATION DU PLATEAU MAGNÉTIQUE

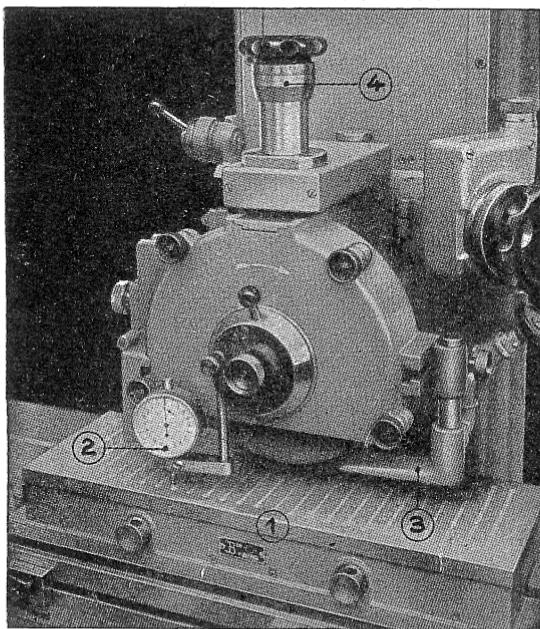


Fig. 173

1. Plateau magnétique.
2. Dispositif de contrôle du parallélisme.
3. Aspiration des éléments d'usure.
4. Appareil de retouche de la meule.

b) Pour des **surfaces verticales**, utilisation d'une **meule boisseau**;

c) Pour les opérations de **rectification en bout**, on utilisera avec succès une **meule anneau** également montée sur un arbre horizontal;

d) Rectification des **segments de pistons** à l'aide de montages spéciaux.

RECTIFIEUSE PLANE

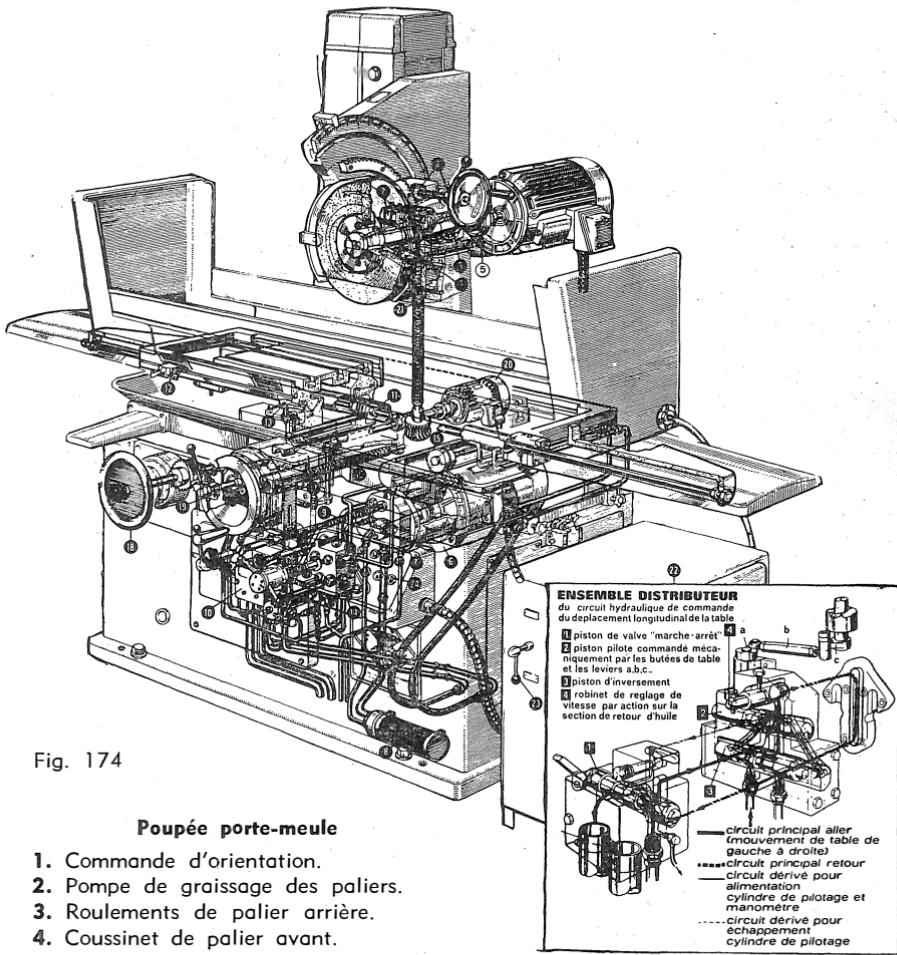


Fig. 174

Poupée porte-meule

1. Commande d'orientation.
2. Pompe de graissage des paliers.
3. Roulements de palier arrière.
4. Coussinet de palier avant.
5. Accouplement classique.

Groupe moteur des commandes hydrauliques

6. Moteur électrique de commande de pompe.
7. Pompe double à engrenages.
8. Filtre d'aspiration.
9. Ressort du by-pass réglant la pression du circuit longitudinal.

Commande hydraulique longitudinale

10. Vue de gauche de l'ensemble distributeur.
11. Cylindre longitudinal avec demi-pistons.
12. Butée d'inversion de gauche.
13. Taquet d'inversion.

Commande hydraulique transversale

14. Distributeur et by-pass de réglage de pression.
15. Cylindre transversal avec piston.

Commande manuelle du transversal

16. Vis de commande.
17. Ecrou débrayable.

Commande verticale de la tête porte-meule

18. Volant à double positionnement : Commande électrique - Commande mécanique.
19. Microcontacts de commande électrique.
20. Moteur électrique de commande d'abrasion.
21. Vis et écrou de commande.

Equipement électrique

22. Armoire renfermant l'appareillage électrique.
23. Sectionneur général.
24. Pupitre de commande à boutons-poussoirs.

TROISIÈME GROUPE

Cette catégorie de machines à rectifier comprend tous les dispositifs susceptibles de **donner du tranchant aux arêtes de coupe des outils.**

- a) Machines à affûter les lames planes ;
- b) Machines universelles servant à l'affûtage des fraises, alésoirs, tarauds, etc.

MACHINE A AFFUTER LES OUTILS
(3^e groupe)

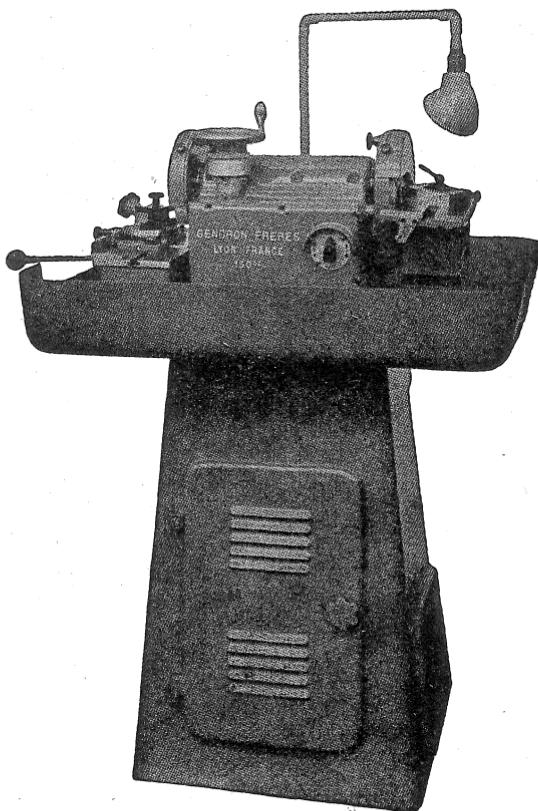


Fig. 175

- c) Machines spéciales utilisées pour l'affûtage des forets hélicoïdaux.

QUATRIÈME GROUPE

Ce groupe comprend les **machines à rectifier portatives**, celles-ci étant elles-mêmes divisées en deux catégories :

MACHINE A RECTIFIER PORTATIVE (4^e groupe)

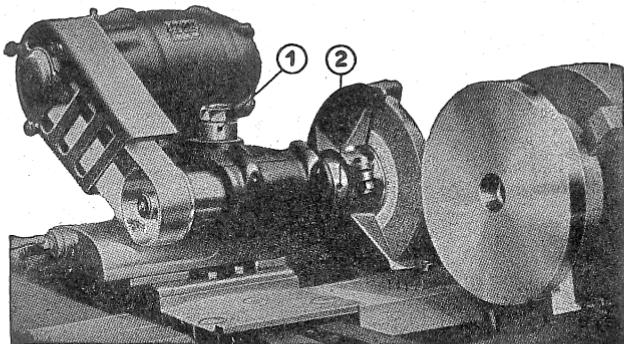


Fig. 176

1. Dispositif de fixation sur le chariot supérieur du tour.
2. Broche porte-meule d'extérieur ou d'intérieur.

- a) Les machines électriques portatives à moteur indépendant ;
- b) Les machines portatives commandées par poulies.

CINQUIÈME GROUPE

Comportant toutes les machines simples **servant à ébarber les pièces de fonderie**. Ces machines peuvent être suspendues dans les ateliers de mécanique ou plus commodément, fixées sur le sol.

SIXIÈME GROUPE

Ce groupe réunit toutes les **rectifieuses universelles** ; ce sont des machines-outils perfectionnées ayant l'avantage de rassembler sur un seul bâti tous les dispositifs de rectification propres aux machines à rectifier précédentes. Ces dispositifs sont étudiés spécialement pour le dressage des surfaces planes, la rectification des cylindres et des cônes, l'affûtage des outils, etc.

MACHINE A RECTIFIER UNIVERSELLE
(6^e groupe)

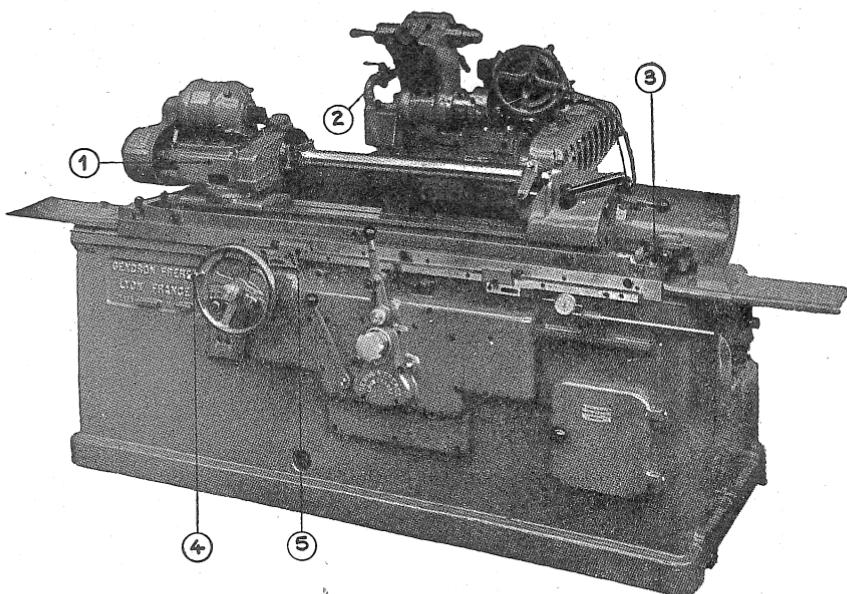


Fig. 177

1. Poupée universelle à embase tournante.
2. Dispositif de rectification intérieure.
3. Orientation de la coulisse longitudinale.
4. Commande manuelle de la table.
5. Butée d'inversion de marche.

SEPTIÈME GROUPE

Cette catégorie est réservée aux **machines à rectifier sans centres** rectifiant des pièces de révolution, cylindriques, coniques ou de forme, par leur passage ou leur maintien entre deux meules. Pendant son usinage, la pièce est maintenue dans sa position de travail par l'ensemble : **réglette, meule d'entraînement**.

Les principaux organes de la machine et leurs fonctions respectives sont les suivants :

- 1^o La **meule de travail** dont le rôle est d'effectuer la rectification proprement dite ;
- 2^o La **meule d'entraînement** servant d'appui à la pièce et lui imprimant par friction soit un mouvement de rotation seul, soit un double mouvement de rotation et de translation conjuguées face à la meule de travail ;

3° La réglette sur laquelle repose la pièce à rectifier sur sa partie inférieure.

MACHINE A RECTIFIER SANS CENTRES

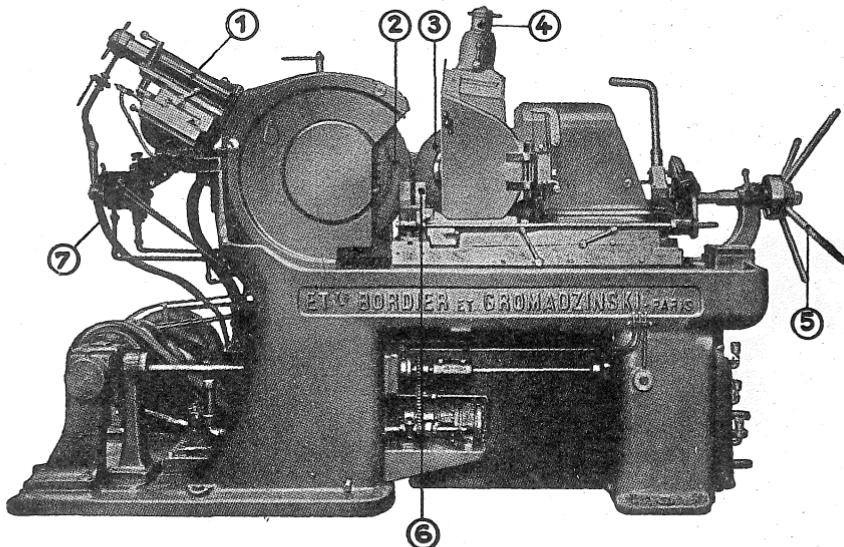


Fig. 178

1. Dispositif de diamantage de la meule de travail.
2. Meule de travail.
3. Meule d'entraînement.
4. Appareil à diamanter la meule d'entraînement.
5. Commande manuelle de la meule d'entraînement.
6. Support-réglette.
7. Dispositif d'arrosage pour le diamantage.

Deux méthodes de travail peuvent être appliquées sur ces machines-outils :

- a) **Rectification à l'enfilade** avec alimentation continue ;
- b) **Rectification en plongée** avec alimentation discontinue.

Dans le premier cas, les pièces, introduites manuellement ou mécaniquement entre les meules, sont saisies par celles-ci et chevauchent les unes derrière les autres pendant la période de rectification jusqu'à leur sortie. Ce procédé n'est applicable qu'aux pièces cylindriques ne présentant ni embase ni tête. Toutefois, avec un montage spécial, les galets de roulements et les goupilles coniques peuvent être rectifiés à l'enfilade.

Dans le second cas, le procédé ne tolérera que l'introduction d'une seule pièce à la fois qui sera rectifiée et éjectée pour laisser

la place à la suivante qui subira le même cycle. Un dispositif automatique d'avance et de recul du système régllette-meule d'entraînement en assure l'alimentation. La rectification en plongée est utilisée pour toutes sortes de pièces : cylindriques à embase et à tête, coniques et de forme.

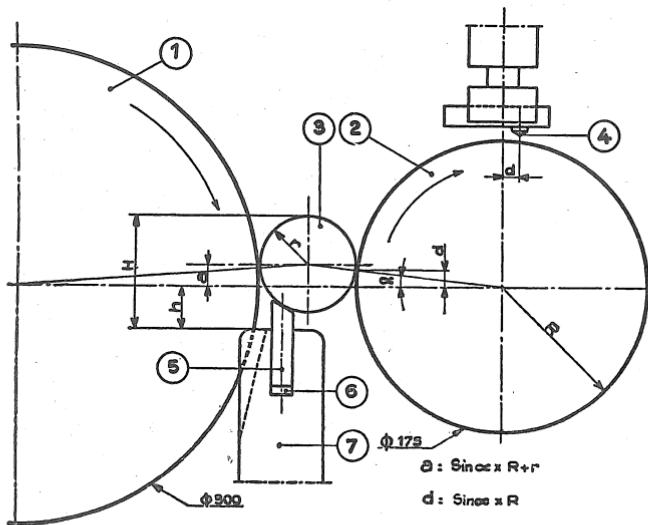


Fig. 179

RECTIFICATION SANS CENTRES

- a. Décalage de la pièce au-dessus de l'axe des meules.
- d. Cote de diamantage.
- h. Hauteur de la face supérieure du support-régllette à l'axe des meules.
- H. Hauteur de la face supérieure du support-régllette au point le plus haut de la pièce en position de travail.

$$H = h + r + \left(\frac{d \times (R+r)}{R} \right)$$

- R. Rayon de la meule d'entraînement.
- r. Rayon de la pièce à rectifier.
- α . Angle de décalage en hauteur de la pièce.
- 1. Meule de travail.
- 2. Meule d'entraînement.
- 3. Pièce à rectifier.
- 4. Diamant.
- 5. Régllette.
- 6. Cale d'appui de la réglette.
- 7. Support-régllette.

Avantages de la rectification sans centres. — Suppression de la confection des centres ; suppression de la poussée axiale pour pièces longues ; temps morts extrêmement réduits ; production intensive dans les travaux de grande série.

18. GRATTAGE

GÉNÉRALITÉS

Le **grattage** est une opération consistant à dresser ou parfaire à la main une surface plane ou courbe à l'aide d'un outil tranchant appelé **grattoir** et dont les arêtes forment un biseau permettant d'enlever de minces copeaux de métal. Le rôle du grattage est donc de faire disparaître, dans une certaine mesure, les imperfections de dressage que laisse subsister l'outil à main ou la machine-outil.

GRATTOIRS DROIT ET TRIANGULAIRE

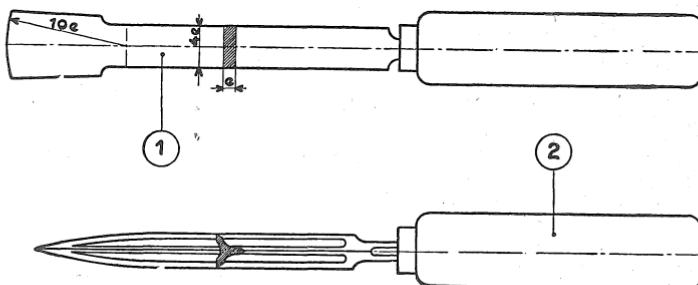


Fig. 180

Le **marbre** et les **calibres rectifiés** sont les précieux auxiliaires des opérations de **grattage plan**. Il suffit de les enduire d'une mince couche de sanguine; par glissement mutuel de la pièce ou du calibre apparaissent les taches de **portée** nécessitant la retouche.

Un grattage correct est la conséquence :

- D'un **grand nombre de portées** ;
- De la **répartition régulière de ces portées**.

Cette multiplicité de cavités et de bosses favorise la circulation du lubrifiant et rend possible le glissement **gras** exigé par de nombreux organes de machine. On admet, en mécanique de précision, 9 à 12 points de contact au centimètre carré.

DIFFÉRENTS TYPES DE GRATTOIRS

1^o Les **grattoirs plats**, droits ou à crochet, utilisés pour le dres-
sage des surfaces planes, **en poussant** ou **en tirant**; ce dernier
mode de grattage est moins précis que le précédent.

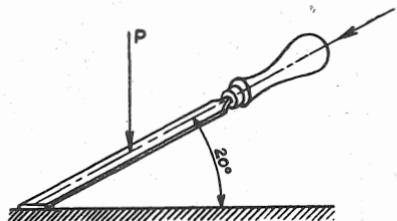
2^o Les **grattoirs triangulaires**, pleins, évidés ou à cuiller, voient
leur emploi réservé au grattage des surfaces de révolution.

3^o Les **grattoirs spéciaux**, possédant des sections rondes, demi-
rondes, dos d'âne, feuille de sauge, utilisés pour la finition de sur-
faces particulières.

Les grattoirs sont généralement en **acier fondu**, trempés et
revenus jaune clair.

LES GRATTOIRS

MODE D'ACTION DU GRATTOIR DROIT



DIFFÉRENTS GRATTOIRS

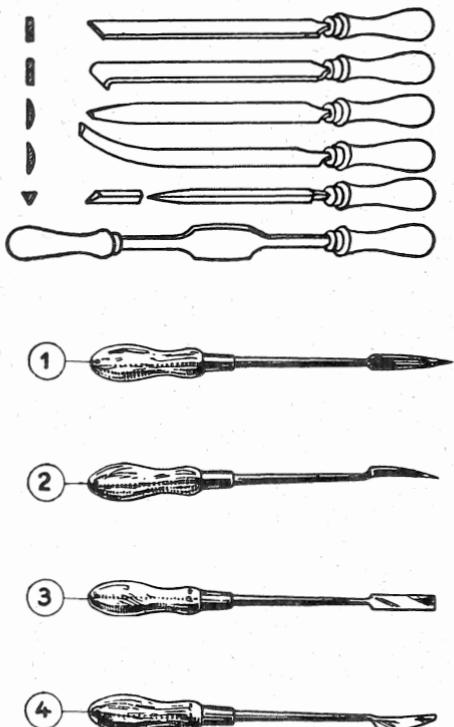


Fig. 181

Entretien des grattoirs. — Tous les grattoirs doivent être affûtés à la **meule de grès**, puis rectifiés sur une **pierre à huile**. La finesse de la surface grattée est toujours fonction de la grosseur du grain de la pierre ayant servi à parfaire les arêtes de l'outil.

CONDUITE DE L'OPÉRATION DE GRATTAGE

Grattage plan. — Il est effectué sur la surface usinée, suivant des **directions parallèles**, dans deux sens perpendiculaires, de façon à composer une sorte de **trait croisé**. L'inclinaison du grattoir sur la surface à parfaire doit être d'environ 20° (voir fig. 177). Il doit être saisi de la main droite à la manière d'une lime ; la main gauche entretenant constamment une certaine pression sur le dos de l'outil.

Le détachement du copeau est alors provoqué par la succession de courts déplacements de va-et-vient de l'arête tranchante sur le plan de grattage.

Grattage courbe. — Ce mode de rectification est réservé plus spécialement aux **coussinets** de paliers, aux **portées** de vilebrequins, aux bielles de moteurs à explosion, etc. Il est toujours effectué à l'aide de grattoirs à **section triangulaire**. Ceux-ci peuvent être conduits suivant un déplacement perpendiculaire à leur axe, mais un travail plus soigné est obtenu par glissement suivant des directions inclinées provoquant un **trait croisé** tout comme dans le grattage plan. Ce glissement doit s'effectuer en faisant porter deux lèvres sur la surface à travailler.

La **vérification** des portées est bien souvent effectuée en utilisant l'arbre lui-même, surtout lorsqu'il est de faible longueur.

Enduit également d'une faible couche de sanguine, on le fait tourner dans son logement pour localiser les surépaisseurs.

L'ajusteur ayant une certaine habileté pourra obtenir, à l'aide du grattoir, divers **quadrillages** ou **mouchetages** du plus heureux effet.

NOTA. — De nos jours, certains organes de machines (chariots de tours, coulisseaux de machines-outils, etc.), dont les surfaces doivent être réellement parfaites, sont, par souci de précision et mesure d'économie, dressés sur des **machines à rectifier**, le grattage n'intervenant, d'une part, que pour faciliter la lubrification et, d'autre part, pour accentuer le **cachet** et la **présentation**.

19. RODAGE ET BRUNISSAGE

RODAGE

Le **rodage** est une opération qui consiste à parfaire, à l'aide d'un produit spécial (**abrasif**), deux surfaces planes, cylindriques, coniques ou de forme particulière, étant appelées à se déplacer l'une par rapport à l'autre.

Pratique de l'opération

Pour la conduite d'une opération de rodage, il faut avoir soin de bien lubrifier les deux parties frottantes afin de ne pas occasser de « **grippage** ». Démonter plusieurs fois les pièces assemblées afin de les nettoyer parfaitement, à l'essence ou à l'aide d'un produit dissolvant les matières grasses. Puis remettre un **abrasif neuf** pour chaque nouveau rodage.

Pour roder des **engrenages**, éviter que la **potée d'émeri** ne pénètre dans les alésages.

Pour le rodage de **soupapes de moteurs à explosion**, l'opération doit être pratiquée par rotation, à l'aide d'une chignole à main, de la soupape imprégnée d'émeri, sur son siège, ou plus simplement à l'aide d'un tournevis.

Cette opération est en effet rendue obligatoire dans l'industrie automobile par suite du dépôt de calamine sur les sièges de soupapes et sur les soupapes elles-mêmes.

Le rodage des **alésages des cheminées** pour calibres de perçage se pratique au moyen d'un cylindre extensible de laiton sur lequel adhère l'émeri.

Roder plus spécialement deux surfaces en **acier** ou en **fonte**, mais éviter le rodage des surfaces de bronze ou de laiton, car l'abrasif se sertit et continue l'usure même en période d'utilisation.

Produits à roder

Les différents produits utilisés en rodage sont l'**émeri** proprement dit, la **potée d'émeri** (poudre d'émeri très fine), le **rouge**

d'Angleterre, sorte de poudre rouge impalpable ; ce dernier est plutôt utilisé pour le polissage.

La **fleur de soufre** additionnée d'huile.

Le **suif** rode également les métaux avec douceur.

Une composition de **pâte à roder** donnant d'excellents résultats peut être établie comme suit :

Poudre d'émeri 0 - 00 - 000 suivant les cas, additionnée de **suif** ou de **pâte « Oméga »** dans des proportions variables suivant le degré de finition à obtenir.

Généralement, tous les **produits de nettoyage des cuivres** sont de très bons rodants.

NOTA. — Dans l'**industrie automobile**, la période de rodage d'un moteur est le laps de temps pendant lequel il doit être « ménagé ». Pendant cette période, sa vitesse de rotation est réduite dans une large proportion afin de ne pas provoquer d'échauffement exagéré dans les parties ajustées avec précision ; cet échauffement déterminerait à brève échéance le **grippage ou arrachement** des métaux en contact.

Dans l'**aviation**, où le risque de panne doit être absolument proscrit, le rodage des moteurs est exécuté pendant de nombreuses heures au **banc d'essai**.

BRUNISSAGE

Le **brunissage mécanique** est une opération consistant à faire disparaître par **frottement** toutes les traces ou aspérités susceptibles d'altérer le poli d'une surface de glissement. Ce travail est exécuté à l'aide d'outils spéciaux appelés **brunissoirs**, dont la forme variée affecte généralement celle des limes.

Le brunissage est donc un **polissage poussé** résultant du contact forcé de la pièce avec la surface de l'outil préparée spécialement. Cette surface peut être obtenue par un meulage exécuté perpendiculairement à la direction du frottement. Les fines rayures laissées par la structure de la meule suffisent pour faire disparaître la moindre **rugosité** de la pièce.

Le brunissage est actuellement d'un précieux secours pour l'obtention de **surfaces de glissement absolument parfaites** qui toléreront des vitesses de contact excessivement élevées. Un exemple nous en est donné par les **tourillons de vilebrequins** des moteurs à explosion en contact avec des coussinets régulés.

20. POLISSAGE — VERNISSEAGE

GÉNÉRALITÉS

Dans la profession d'**ouvrier en instruments de précision**, le **polissage** et le **vernissage** ont une très grosse importance, tant du point de vue utilitaire que commercial. En effet, les appareils construits doivent, par leur fini impeccable et leur aspect chatoyant, frapper la vue du client, sans tomber toutefois dans le grave défaut du « tape-à-l'œil ».

Les défauts de polissage sont nombreux. Tout d'abord dans les opérations d'ajustage il a tendance, s'il est mal conduit, à arrondir les surfaces et les angles des pièces ; s'il est fait grossièrement et sans précautions, les reflets de la lumière en amplifient sérieusement les imperfections.

De plus, si la surface, après polissage, est laissée telle quelle, elle s'oxyde rapidement au contact des doigts. Nous verrons plus loin le moyen d'y remédier.

POLISSAGE

Polissage à la lime. — Le polissage à la lime est, pour ainsi dire, le travail d'ébauche de l'opération elle-même.

Il s'exécute, en général, **en long** sur la plus grande longueur de la surface, à part quelques exceptions, et en « **tiré de long** » **seulement pour les surfaces convexes ou concaves**.

Suivant l'aspect primitif de la pièce, on débute par la lime bâtarde ou demi-douce, en ayant soin de ne prendre une lime plus fine que seulement au moment où tous les traits de la lime précédente ont disparu. On termine alors avec la lime extra-douce.

Polissage au papier émeri. — Le papier émeri collé sur un bois à polir à l'aide « **d'arcanson** » (cire et résine) ne doit venir qu'en dernier lieu dans l'opération de polissage (1). Son rôle ne doit consister qu'à **parfaire** la surface déjà préparée par les différentes limes. Le papier émeri ne doit jamais servir à faire disparaître les traces profondes sous peine de détruire la **planéité**.

(1) Les bois à polir du commerce, recouverts de papier émeri, s'appellent **cabrons**.

Ne jamais, en aucun cas, faire de polissage en roulant du papier émeri autour d'une lime, c'est le meilleur moyen de détruire une surface plane.

Avoir soin, en polissant à l'aide du **bois à polir**, de soulever légèrement celui-ci en fin d'opération, pour éviter l'apparition de traits non parallèles aux bords de la surface.

Le degré de finesse du papier émeri sera en rapport avec le degré de « **cachet** » demandé. Toutefois, il ne faut pas exagérer celui-ci, sous peine de voir apparaître brusquement des traits que l'on n'avait pas soupçonnés précédemment.

Polissage rotatif ou bufflage. Une autre méthode de polissage consiste à polir les pièces à l'aide de **buffles circulaires** enduits d'une poudre spéciale abrasive ; ce procédé, employé surtout pour raviver les pièces nickelées et chromées, n'est pas indiqué en **instruments de précision** ou en **petite mécanique**.

Polissage par voie électrolytique. Le terme « **polissage** », dans ce cas, n'est pas parfaitement adapté, mais la **brillance** obtenue par morsure d'acide est comparable aux polis les plus poussés fournis par frottement.

Le polissage par **voie électrolytique** est tout indiqué pour les pièces dont le polissage mécanique est, ou impossible en raison d'une forme trop complexe, ou d'un prix de revient trop élevé ; les grilles de calandres d'automobiles en sont un exemple frappant.

Il s'agit, dans ce cas, d'une **dissolution superficielle du métal** dans un bain d'acide concentré à une température de **90°**, et cela sous l'action d'un **courant électrique continu**.

Cette opération dure environ 4 minutes après un dégraissage préalable. Un lavage et un séchage terminent le traitement.

Ce polissage est plus spécialement réservé à des **acières inoxydables** à 18 % de chrome (voir page 72).

VERNISSAGE

Vérification de la régularité d'une surface polie

Le moyen de vérification le plus simple est évidemment le **règlet**. Mais, en faisant jouer la pièce à la lumière en cours de polissage, les **reflets** de cette lumière sur la **surface polie** en rayons

non parallèles indiquent très nettement les irrégularités de ce polissage. Ces reflets lumineux se trouvent encore accentués dans la vérification des **surfaces convexes ou concaves** où les jets de lumière prennent des directions différentes quand la surface n'est pas nettement arrondie.

Si nous laissons la surface des pièces polies au contact de l'air ou des doigts, elle s'oxyderait très rapidement ; il faut donc la recouvrir d'un produit spécial appelé **vernis**, composé d'un **solvant** et d'un **produit isolant** en dissolution qui se dépose en une mince pellicule après évaporation du solvant. Cette légère pellicule donne à la pièce un aspect brillant ou mat, suivant les vernis, qui plaît à l'œil et qui évite l'oxydation.

Les différents constructeurs d'instruments de précision ont recherché, chacun dans leur sphère, diverses utilisations du vernis, souvent du plus heureux effet.

VERNIS UTILISÉS EN INSTRUMENTS DE PRÉCISION ET EN PETITE MÉCANIQUE

1^o Le **vernis à chaud**, composé ainsi pour 1.000 grammes :

Laque en grains.....	140 gr.	Sang-dragon	27 gr.
Succin fondu.....	47 gr.	Safran	2 gr.
Gomme-gutte	5 gr.	Alcool pur.....	778 gr.
Extrait de santal rouge 1 gr.			

Ce vernis, relativement peu résistant, était couramment employé autrefois en instruments de précision, mais tend à disparaître à notre époque, en raison de la difficulté même de son emploi et du prix de revient élevé des pièces vernies de cette façon. Il peut être obtenu sous différentes teintes (jaune, vert, rose, etc.).

Ne pas oublier, malgré tout, que c'est ce vernis qui a donné leur plus beau cachet aux premiers instruments de précision.

2^o Le **vernis à froid** (cellulosique) est déposé sur les pièces sans chauffage préalable, il a une odeur forte de bonbon anglais et est composé de cellulose et d'acétate d'amyle.

3^o Les **vernis japonais**, ou vernis noirs, sont obtenus avec des **copals** (1) et du goudron de bouleau ; ces derniers sont également

(1) **Copal** : Résine du copalier ('Madagascar').

très utilisés en carrosserie automobile, leur diluant est l'**alcool**, et peuvent être étendus soit au pinceau, soit au pistolet pneumatique.

4^o Le **vernis cellulosique** (nitrocellulose + dilutif) est résistant et sèche rapidement ; ses teintes peuvent être les suivantes : noir, gris artillerie, marron, blanc, etc. Le diluant utilisé est l'acétone. Il est étendu au pistolet sur des **surfaces préparées** (sablage), puis séché à l'air ou cuit au four.

5^o Le **vernis gras** (huile de lin + essence + résine) est résistant, mais sèche lentement.

6^o Le **vernis craquelé** ou « **givré** », d'aspect très recherché en instruments de précision, est utilisé, en général, pour le vernissage de bâts. Ce vernis est déposé en deux couches successives, de composition différente. Le retrait varié des deux dépôts provoque le givrage sous l'influence de la chaleur du four.

Un moyen primitif consiste, d'autre part, à recouvrir d'une légère **couche d'huile** la surface polie.



21. RECOUVREMENT DES MÉTAUX

Méthodes de protection des métaux contre l'oxydation et la corrosion

GÉNÉRALITÉS

Les différents procédés de **recouvrement des métaux** possèdent, à des degrés différents, d'appréciables qualités d'**isolement** et de **protection** contre les agents de **corrosion** ou d'**oxydation**. Un autre facteur important est lié à cette protection, c'est l'**aspect agréable** fourni par certains dépôts métalliques qui en accentuent le **cachet**.

Facteurs guidant le choix d'une protection

Certains éléments importants sont à l'origine de tel ou tel procédé de protection. Cinq d'entre eux nous ont paru les plus sérieux.

1^o **Métal de base.** C'est le métal composant la pièce à protéger.

- a) **Fer** et alliages ferreux.
- b) **Cuivre** et alliages de Cu.
- c) **Aluminium** et alliages d'Al.
- d) **Zinc** et alliages de Zn.
- e) **Magnésium** et alliages de Mg.

2^o **Modes de fabrication**, dont les plus importants sont l'**emboutissage**, le **chaudronnage**, le **soudage** et le **rivetage**.

3^o **Volume des pièces à traiter**, depuis les pièces de précision jusqu'aux charpentes métalliques en passant par la visserie, les petits emboutis et la menuiserie métallique.

4^o **Atmosphère d'utilisation :**

- a) Climat rural.
- b) Climat industriel.
- c) Climat tropical ou équatorial.
- d) Climat marin.

5^o **Température d'utilisation.** Si elle est **inférieure à 90°**, il y a possibilité de **revêtement plastique** et supérieure à 90° obligation de **revêtement métallique**.

Nous envisagerons dans cette étude **quatre formes** de protection :

- 1^o Revêtements métalliques.
- 2^o Procédés d'oxydation (parkerisation et phosphatation).
- 3^o Sherardisation.
- 4^o Peintures.

1^o REVÊTEMENTS MÉTALLIQUES

C'est la forme la plus commune de protection. Pour chacun des métaux protecteurs : **zinc, cadmium, cuivre, nickel, chrome, étain**, nous énumérerons trois types de dépôts différents :

- a) **Trempe à chaud** (immersion).
- b) **Electrolyse**.
- c) **Projection**.

Le **premier dépôt** est effectué par immersion dans le métal protecteur fondu après dégraissage et décapage.

L'**electrolyse** est obtenue dans des cuves spéciales alimentées en courant continu de **forte intensité** et de **faible différence de potentiel**. Les pièces ayant subi un prétraitement chimique sont immergées et reçoivent leur dépôt métallique soit par décomposition du bain (sel métallique dissous), soit par transport de particules métalliques de l'anode (+) vers la cathode (-).

La **projection** est une forme de **métallisation** obtenue par **pistolage** de fines gouttelettes de métal fondu provenant d'un fil métallique défilant devant un chalumeau. La **base d'accrochage** devant être préalablement **sablée**.

PROTECTION DU FER ET DE SES ALLIAGES

Par le **zinc** :

Trempe à chaud, galvanisation. Tôles, bandes, fils, tubes, boulonnerie ou pièces sans tolérances mécaniques. Bonne tenue à la corrosion. Rural, ville, marin.

Electrolyse. Pièces terminées avec cotes précises. Bonne tenue en atmosphère rurale, ville, marine. Moyenne tenue en atmosphère tropicale.

Projection. Pièces importantes ou susceptibles de se déformer par galvanisation à chaud. Protection en atmosphère rurale, ville, marine, mais à déconseiller en atmosphère tropicale.

Par le **cadmium** :

Protection décorative pour l'acier en tous milieux. Les sels de cadmium étant toxiques, pas d'utilisation pour les objets à usage alimentaire.

Electrolyse. Mêmes applications que pour le Zn.

Projection. Toute opération susceptible de volatiliser du cadmium doit être évitée, même pour la soudure autogène ou à l'arc, des pièces cadmiées.

Par le **cuivre** :

Le Cu, étant sensible à la corrosion atmosphérique, n'est jamais utilisé seul dans un but de protection.

Utilisations diverses. Sous-couche avant un autre revêtement. Amélioration de la soudabilité. Réserves de cémentation, etc.

Electrolyse. Dépôts minces, car il ne reproduit pas exactement la forme de la pièce.

Projection. En décoration, après polissage et patine. Revêtement à haute conductibilité électrique. Réalisation de masses sur des ensembles électriques.

Par le **nickel** (1) :

Applications principales. Protection et décoration sur tous métaux avec traitement ultérieur de **chromage** : Automobile, cycle et appareils ménagers, précédé d'un polissage.

Electrolyse. Sensibilité à la corrosion plus importante du nickel brillant. Procédé de double couche : dépôt semi-brillant niveling terminé par une couche plus mince très brillante. Excellente résistance en presque toute atmosphère.

Par le **chrome** :

Le chrome est utilisé en raison de ses hautes propriétés chimiques (résistance à de nombreux agents corrosifs, oxydation à température élevée) et de ses excellentes propriétés mécaniques (dureté, résistance à l'usure, faible coefficient de frottement).

Electrolyse. Deux utilisations sont à signaler :

- Chrome mince ou décoratif exécuté sur couche de nickel ;
- Chrome dur, revêtement épais pour recharge de pièces usées, suivi d'une rectification. (Blocs cylindres de moteurs à explosion).

Projection sous forme d'alliage Ni-Cr. Résistance à la corrosion à haute température (900° à 1000°).

(1) L'invention du **recouvrement électrolytique de nickel** est due à **Rudolph Boettger** (Allemagne) qui l'expérimenta en 1843.

Par l'étain et ses alliages :

Le recouvrement d'étain est depuis longtemps utilisé pour la protection du fer en contact des **produits alimentaires** (fer blanc). Si le **trempé à chaud** était la seule méthode de réalisation, actuellement l'**étamage par électrolyse** est universellement utilisé (train d'étamage à bande).

Trempe à chaud. Immersion dans l'étain fondu à **250°**. Lissage ultérieur par refusion s'il y a lieu.

Electrolyse. Dépôts plus mats que par trempé, mais refusion des revêtements par immersion dans l'huile portée à **250°**.

Dépôts d'alliages de Sn : étain-plomb de 93/7 à 60/40 et étain-nickel (dépôt brillant).

Projection. Même utilisation que les autres procédés pour réalisation de couches antifriction (segments).

PROTECTION DU CUIVRE ET DE SES ALLIAGES

Les méthodes de traitements sont identiques aux précédentes.

Par le zinc :

Assez peu utilisé en raison du **couple électrolytique** cuivre-zinc assez important.

Par le cadmium :

Revêtement possible pour la protection des assemblages fer-cuivre et fer-aluminium.

Par le nickel :

Comme pour le fer, le nickel est le revêtement idéal pour la **protection** et la **décoration** avec des épaisseurs moindres (10 à 15 microns).

Par le chrome :

En électrolyse, mêmes spécifications que pour le **fer**.

Par l'étain et ses alliages :

Excellente protection pour le Cu, même en couches minces (électronique et industrie chimique).

PROTECTION DE L'ALUMINIUM ET DE SES ALLIAGES

Buts du revêtement : décoration, protection, préparation à la soudure, conductibilité superficielle, augmentation de la dureté.

Par le **zinc** :

Protection utilisée lorsque l'on désire une conductibilité de surface.

Electrolyse. Epaisseur 10 à 20 microns avec finition chromique pour augmenter la tenue en atmosphère tropicale.

Projection. Seule méthode utilisée pour la protection des grands ensembles métalliques (antennes et radars) en climat marin ou tropical.

Par le **cadmium** :

Electrolyse. Pour la protection du matériel électrique et radio construit en métal léger et destiné aux régions humides. Epaisseur : 7,5 à 15 microns.

Par le **cuivre** :

Electrolyse : Le cuivre n'est utilisé seul que rarement, il précède toujours un autre dépôt. **Utilisation** : couche favorisant la soudure à l'étain ; couche de laiton facilitant l'adhérence du caoutchouc. (Suspension d'organes de l'industrie automobile.)

Projection. Seule méthode utilisée pour la réalisation de dépôt de Cu sur de grandes surfaces avec une sous-couche de Zn.

Par le **nickel** :

Utilisé généralement en **décoration** sur des pièces préalablement polies et servant de sous-couche au chrome.

Par le **chrome** :

La seule méthode utilisée est l'**electrolyse** 0,25 à 1 micron sur sous-couche de Ni pour **dépôts minces**. Les **dépôts épais** (chrome dur) améliorent sérieusement la résistance.

Par l'**étain** :

L'étain déposé par **électrolyse** sur sous-couche de cuivre ou de nickel facilite d'une façon importante la soudure.

PROTECTION DU ZINC ET DE SES ALLIAGES

Le Zn étant un métal peu sensible à la corrosion, ses revêtements auront surtout un **but décoratif**.

Par le **cuivre** :

Electrolyse. Sous-couche avant nickelage, épaisseur 7 microns. Revêtements décoratifs sur alliages de Zn, épaisseur 7 microns. Laitonnage sur cuivrage au moins égal à 7 microns.

Par le nickel :

Electrolyse pour finition décorative sur sous-couche de cuivre ou de laiton ; épaisseur 5 à 30 microns.

Par le chrome :

Electrolyse sur nickel avivé ou brillant ; épaisseur de 0,6 à 2 microns.

PROTECTION DU MAGNÉSIUM ET DE SES ALLIAGES

Le couple électrolytique formé par le Mg avec les autres métaux, excepté l'Al, en limite sérieusement l'emploi par électrolyse.

Par le zinc :

Electrolyse. Domaine semi-industriel en étude.

Projection. Seul procédé n'amenant aucune difficulté.

Par le nickel :

Nickelage chimique permettant d'obtenir une sous-couche.

Par l'aluminimum :

Seul métal dont le couple faible avec le Mg tolère une protection.

La seule technique généralisée est la **projection** pour ce revêtement.

2^e OXYDATION

Les procédés de protection des pièces par **oxydation** sont assez nombreux; nous citerons parmi les plus utilisés la **parkerisation** et la **protalisation**.

a) **Parkerisation.** — Du nom de son inventeur, elle consiste à protéger les **métaux ferreux** contre l'humidité par la formation d'un **sel** inattaquable, faisant corps avec la surface du métal. La teinte noire est obtenue à chaud par immersion dans un bain d'**huile de paraffine**.

b) **Phosphatation.** Après une préparation sérieuse par élimination de graisses et calamines sur **métaux ferreux**, les pièces à traiter sont immergées dans une solution légèrement acide de **phosphate de fer, zinc ou manganèse**. Une réaction chimique forme des couches anticorrosives de ces phosphates.

1^e Couche épaisse anticorrosion pour finition à l'huile.

2^e Couche épaisse anticorrosion pour finition à la peinture.

3^o Couche mince antifriction pour imprégnation au graphite-bisulfure de molybdène.

Certains procédés modernes pour la protection des tôles font appel au **jet** avant peinture.

3^o SHÉRARDISATION

C'est un procédé consistant en une **cémentation au zinc** faite dans des caisses à cémenter pour les pièces importantes et au tonneau pour les pièces fines. La poudre utilisée est l'**oxyde de zinc**. L'opération dure de deux à quatre heures à une température pouvant varier de 450° à 500°.

4^o PEINTURES

Définition

Ce sont des produits de recouvrement formés de matières colorantes et susceptibles, après application, de sécher plus ou moins rapidement.

Qualités requises

Pour protéger efficacement les métaux, les peintures doivent satisfaire aux qualités suivantes :

- a) Etre **épaisses, souples et opaques** pour couvrir parfaitement la surface à protéger;
- b) Avoir un coefficient d'**adhérence** important;
- c) Etre **dures** après séchage, afin de résister au frottement et aux chocs;
- d) Etre **insensibles** à l'action des agents atmosphériques.

Constituants d'une peinture

Les peintures sont le résultat du mélange de plusieurs éléments différents ayant chacun un rôle bien spécial à jouer.

- a) Les **liants**, conférant à la peinture sa **dureté** et sa **résistance** au vieillissement et constitués par des résines synthétiques ;
- b) Les **colorants**, donnant à la peinture sa **couleur de base** et ayant également une origine synthétique ;

- c) Les **pigments**, contribuant à fournir une couleur définitive et une grande **opacité**, ce sont des poudres minérales ou organiques ;
- d) Les **solvants**, fournissant la **fluidité**, qui sont des liquides dérivés de la houille ou du pétrole et dans lesquels se dissolvent les liants.
- e) Les **diluants**, comparables aux solvants et ajoutés à la peinture au moment de son emploi pour lui communiquer une meilleure **consistance** ;
- f) Les **siccatisfs**, accélérant le **séchage** et le **durcissement** et constitués par des sels de plomb, de manganèse ou de cobalt.

Classification

Les peintures peuvent être classées en trois catégories bien distinctes :

- a) Peintures à l'huile;
- b) Peintures laquées;
- c) Peintures cellulosiques.

a) **Peintures à l'huile.** — Ce sont des mélanges d'huile siccative (huile de lin), d'essence de térbenthine et de couleur. Elles peuvent être étendues, soit au pinceau, soit au pistolet pneumatique. Les différentes couleurs sont obtenues par les mélanges suivants :

Peintures **noires** : noir de fumée;

Peintures **rouges** : minium ou oxyde de plomb calciné;

Peintures **blanches** : blanc de zinc, céruse ou carbonate de plomb;

Peintures **grises** : mélange de noir de fumée, de blanc et d'ardoise broyée.

b) **Peintures laquées.** — On les obtient par addition dans les peintures à l'huile, de résines naturelles ou synthétiques.

c) **Peintures cellulosiques.** — Les peintures cellulosiques sont formées de résine, de nitrocellulose et de dilutif (acétone); leur emploi est courant en industrie automobile pour le recouvrement des carrosseries. Elles sont résistantes et faciles à déposer au pistolet pneumatique.

22. AJUSTEMENTS SYSTÈME A LIMITES INTERNATIONAL I. S. A.

Calibres à tolérances

GÉNÉRALITÉS

Les grandes industries mécaniques modernes (machines agricoles, automobile, aviation, cycle, machines-outils, mécanique de précision) sont conduites actuellement à exécuter, pour satisfaire leur nombreuse clientèle, une gamme très étendue d'**ensembles identiques**.

Cette fabrication spéciale, minutieusement étudiée et mise au point, qui nécessite, la plupart du temps, une préparation de longue haleine, prend le nom de **travail en série**. C'est la méthode de production la plus rapide et la plus économique. Pour certains organes mécaniques, elle exige un haut degré de précision qui ne peut être contrôlé qu'à l'aide d'instruments de vérification parfaits. Ce contrôle minutieux nous conduira à l'**interchangeabilité**, élément essentiel et indispensable de tout travail en série.

ASSEMBLAGE DES PIÈCES

Toutes les pièces utilisées en construction mécanique ont, en dehors des surfaces restant **brutes** (fonderie, forgeage, matriçage, etc.) des surfaces **usinées** non assemblées et des **surfaces usinées assemblées**, c'est-à-dire **ajustées**.

Les surfaces de révolution non assemblées peuvent se contenter d'une vérification ordinaire à l'aide d'appareils à trait (règles graduées, pieds à coulisse, palmers, compas gradués, etc.) tandis que les surfaces de révolution ajustées exigent pour leur vérification des précautions particulières.

Ajustement

Un **ajustement** est l'assemblage d'un minimum de deux éléments :

- a) la partie **intérieure** pleine se nommant organe **mâle**;
- b) La partie **extérieure** creuse s'appelant organe **femelle**.

Par exemple, pour toute opération de **tournage**, nous disons que :

L'élément **mâle** est un **arbre** et que l'élément **femelle** est un **alésage**.

Les parties ajustées des assemblages cylindriques, coniques ou filetés doivent être usinées à des dimensions différentes suivant la fonction que ces ajustements ont à assurer.

Jeu. Serrage

Si la partie mâle de l'ajustement est plus petite que la partie femelle, il y a **jeu** entre les deux éléments, il y a **serrage** quand les deux éléments ont des difficultés à se pénétrer.

Le **jeu** est l'écart de cote existant dans des **assemblages mobiles**.

Le **serrage** est l'écart de cote existant dans des **assemblages fixes**.

Exécution d'un ajustement

La méthode d'ajustement consistant à exécuter une pièce femelle à l'aide d'une pièce mâle en guise de **calibre** devra être de plus en plus abandonnée sauf dans des cas particuliers d'élaboration de prototypes, de maquettes ou de travaux de très petite série.

L'expérience nous prouve que ce procédé présente de multiples inconvénients dont nous citerons les plus marquants :

- a) L'interchangeabilité n'est pas assurée;
- b) L'ouvrier n'a aucune marge pour l'exécution de son travail, laquelle est laissée à son appréciation, variable suivant les individus;
- c) Les travaux de montage deviennent de véritables travaux d'usinage par suite de l'importance du travail manuel;
- d) La vérification des éléments d'un assemblage est une source de discussions entre ouvriers et vérificateurs.

Toutes ces choses entraînent une perte considérable de temps et d'argent qui peut être supprimée par l'établissement d'une **méthode scientifique de cotation** et par suite de **vérification**.

Cette méthode consiste dans l'établissement de **cotes limites** particulières propres à chaque élément d'un ajustage et permettant l'**exécution séparée** de ces éléments dans des ateliers différents parfois très éloignés.

Si chaque pièce a été exécutée correctement entre des limites prévues on peut être certain de la qualité de l'assemblage.

Interchangeabilité

Les qualités essentielles propres à satisfaire l'**interchangeabilité** sont les suivantes :

- a) Exécution aux **mêmes dimensions** des mêmes pièces d'une série. Ces dimensions étant comprises entre certaines limites.
- b) **Assemblages sans retouche** des mêmes pièces de plusieurs séries différentes.
- c) **Remplacement rapide** d'une pièce usagée, usée ou rompue par une autre de même nom mais de série différente.

Tolérances

Nous savons qu'il est pratiquement impossible d'exécuter une pièce à des cotes rigoureusement exactes, mais, par contre, il est possible d'exécuter cette même pièce à des cotes comprises entre certaines limites définies par le bureau d'étude. Ces limites peuvent aller entre un **maximum** et un **minimum** de part et d'autre de la **cote nominale** inscrite sur le dessin et suivant des valeurs dépassant rarement quelques centièmes de millimètre.

Pour une **cote nominale** donnée, les écarts compris d'une part entre le **maximum (Max)** et la cote nominale et, d'autre part, entre le **minimum (Min)** et cette même cote nominale s'appellent **tolérance de fabrication**.

Ces tolérances sont généralement exprimées en **microns** (millièmes de millimètre) afin de permettre une gamme de valeurs plus étendue.

Exemple : Un arbre tourné à :

$\text{Ø } 45 \text{ mm } +11$
 -14

signifie que les tolérances d'usinage admises seront comprises entre **Ø 44 mm 986** et **Ø 45 mm 011**.

\varnothing 45 mm 011 sera la cote **max** que l'on ne devra pas dépasser et \varnothing 44 mm 986 la cote **min** au-dessous de laquelle le praticien ne devra pas descendre.

Toutes les pièces qui seront comprises entre ces deux valeurs seront donc **acceptables** et bonnes à l'ajustement. Il en sera de même pour les **alésages**.

Les tolérances maximum n'ont pas obligatoirement la même valeur que les tolérances minimum. D'autre part, pour que la pièce soit exécutée avec le plus de facilité et dans le moins de temps possible il est nécessaire que l'**écart** entre le max. et le min. **soit le plus grand possible** sans pour cela nuire à la précision de son assemblage.

Les **tolérances** définissent par leur valeur absolue les **jeux** et **serrages** usuels.

Dans certains assemblages les **jeux** doivent être suffisants pour assurer aux pièces leur mouvement, soit de rotation, soit de translation ainsi que leur graissage. Pour des pièces fixes, les **serrages** devront assurer leur fixation dans des conditions variables selon l'emploi.

Ces jeux et serrages ne peuvent être pratiquement cotés sur les dessins. Il a donc fallu avoir recours à un procédé de mesure permettant, d'une part, d'établir les tolérances de fabrication et, d'autre part, d'effectuer le contrôle des pièces usinées à l'aide de **vérificateurs spéciaux à cote fixe**.

Ces considérations ont conduit à l'adoption du **système à limites** dont l'usage s'est généralisé dans l'industrie.

SYSTÈME A LIMITES INTERNATIONAL I.S.A.

Comprenant l'intérêt général qui pouvait résulter pour toute industrie, d'une normalisation universelle, le Comité de Normalisation de la Mécanique, aux travaux duquel la « Précision Mécanique » prit une part très active, a décidé les commissions étrangères de **Normalisation** à fondre en un seul tous les systèmes européens existants, ce qui a abouti au **Système à limites international I.S.A.** (1).

(1) Système établi par l'Association internationale de normalisation (International federation of the national Standardizing Associations) à la suite d'études s'échelonnant de 1928 à 1936 et avec la collaboration des Comités de normalisation de seize pays dont la France.

Ce procédé est maintenant utilisé dans beaucoup d'industries mécaniques françaises. Son avantage est d'être suffisamment général pour satisfaire tous les genres de fabrication, mais chaque constructeur doit y choisir les ajustements susceptibles de lui convenir en négligeant les autres ou en ne les employant qu'exceptionnellement.

Un tableau particulièrement utile et concernant tout le système I.S.A. est édité par la « Précision Mécanique », 11, rue Vergniaud, à Paris; il est tenu à la disposition de tous les bureaux d'étude. Dans ce tableau sont reproduits, pour chaque diamètre et chaque qualité d'ajustement, cinq nombres différents. Les deux premiers situent les limites extrêmes entre lesquelles devra se trouver le côté « **n'entre pas** » du calibre. Les deux suivants sont les limites extrêmes entre lesquelles devra se trouver le côté « **entre** » du calibre neuf, le cinquième fixe la cote que pourra prendre le calibre après usure.

L'auteur a cru utile, dans le cadre de cet ouvrage, de reproduire un extrait du **tableau des ajustements recommandés** afin d'initier les apprentis au Système à limites international.

Nous admettrons que tout alésage exécuté sur le tour comprend un **alésage** et un **arbre**; ce sont ces deux éléments qui vont être caractérisés par une lettre suivie d'un chiffre dans le Système I.S.A. La lettre peut être majuscule ou minuscule; **majuscule** quand il s'agit d'un **alésage** et **minuscule** quand il s'agit d'un **arbre**. Le **chiffre** qui suit représente la **qualité** de l'ajustement.

Normalisation des alésages

L'**alésage normal**, caractérisé par la lettre majuscule **H**, est celui dont la dimension inférieure est égale à la **cote nominale**. Les alésages situés au-dessous de la cote nominale sont caractérisés par les lettres situées après la lettre **H** dans l'alphabet; les alésages qui peuvent dépasser la cote nominale sont caractérisés par les lettres venant avant **H**. Mais, en mécanique générale, nous n'utilisons que la lettre **H** considérée comme **alésage de base**.

Pour les alésages, **six degrés de précision** ont été normalisés, ils sont caractérisés par les chiffres **6-7-8-9-10-11**; l'indice 6 correspond à la plus grande précision, les indices augmentent quand la précision diminue. La lettre **H** sera donc toujours suivie de l'un des chiffres précédents (quatre sont plus souvent utilisés : **6-7-8-11**); ils représentent toujours l'ampleur de la tolérance **au-dessus de la cote nominale** (ligne 0).

Exemple (voir extrait du tableau des ajustements recommandés) :

Pour un diamètre d'**alésage** de Ø 90 mm, nous aurons :

H 7 compris entre Ø 90 mm et Ø 90,035 mm, la tolérance est de **35 microns**.

Normalisation des arbres

L'arbre dont la cote maximum est égale à la **cote nominale** s'appelle **arbre normal**, il est caractérisé par la lettre **h** suivie de l'indice fixant la précision.

Pour les arbres, **sept degrés de précision** ont été normalisés, ils sont caractérisés par les indices **5-6-7-8-9-10-11**. L'indice 5 correspondant à la plus grande précision ; comme pour les alésages, les indices augmentent quand la précision diminue. Les arbres dépassant la cote nominale sont caractérisés par les lettres minuscules situées, dans l'alphabet, au-dessus de **h**, ce sont : **j - k - m - n - p - r - s - t - u - x**; les arbres situés au-dessous de la cote nominale sont caractérisés par les lettres : **e - f - g**.

Exemple : pour un diamètre d'**arbre** de Ø 90 mm, nous aurons **h 6** compris entre :

Ø 89,978 mm et Ø 90 mm, la tolérance est de **22 microns**.

Nota. — Nous remarquerons dans l'extrait du tableau du système I.S.A. que pour un même **indice de précision**, les tolérances de fabrication sont d'autant plus larges que la **cote nominale** est plus grande.

Qualités d'ajustement

On appelle **qualité d'ajustement** l'ensemble des deux lettres majuscules et minuscules suivies de leur indice respectif.

Exemple : **H 7 - g 6**.

Nous reproduisons ici quelques qualités d'ajustement choisies sur le tableau général et pouvant être utiles à l'ajusteur, en prenant comme base l'**alésage normal H 7** (voir fig. 182).

H 7-e 7 : Assemblage libre à utiliser pour les organes ajustés avec un large jeu (arbres à supports multiples, articulations, renvois).

H 7-f 7 : Assemblage tournant. Pièces tournantes l'une par rapport à l'autre, même pour des vitesses élevées (arbres de commande, arbres à cardan, vilebrequins, coussinets dans boîte à roue hélicoïdale et vis sans fin).

H 7-g 6 : Assemblage glissant. Pièces devant glisser dans leur logement sans tourner (coulisseaux de mortaiseuse, tiges de soupapes, tiges de pompes alternatives) ou pièces en rotation de très grande précision (engrenages précis).

SCHÉMA DES QUALITÉS D'AJUSTEMENTS

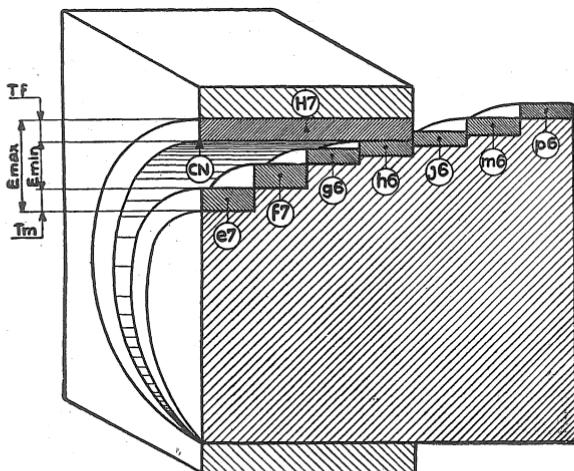


Fig. 182

e7 : Assemblage libre.

f7 : Assemblage tournant.

g6 : Assemblage glissant.

h6 : Assemblage glissant juste.

j6 : Assemblage légèrement serré.

m6 : Assemblage serré.

p6 : Assemblage pressé à froid.

H7 : Alésage normal.

CN : Cote nominale.

E max: Ecart maximum d'ajustement.

E min: Ecart minimum d'ajustement.

Tf : Tolérance sur la pièce femelle.

Tm : Tolérance sur la pièce mâle.

H 7-h 6 : Assemblage glissant juste. Pour tous les organes ajustés qui peuvent se pousser à la main avec adjonction de lubrifiant (fraises sur arbres porte-fraises, tenons index sur diviseurs, pistons pour freins à huile, cheminées mobiles pour montages de perçage).

H 7-j 6 : Assemblage légèrement serré. Pour tous les éléments ajustés qui peuvent s'assembler ou se démonter à la main ou au maillet, ou pour tous les organes à démonter souvent et arrêtés contre la rotation par clavettes ou perçages (roues de renvoi, centrauges, toupies sur arbres).

H 7-m 6 : Assemblage serré. Pour tous les organes ne pouvant se monter ou se démonter qu'au marteau à main avec masse en plomb; ceux-ci devant être préservés de la rotation par un sys-

tème d'arrêt (arbres recevant des pignons, poulies à courroies, disques d'accouplement, portées de volant).

H 7-p 6 : Assemblage pressé à froid. Pour tous les éléments devant rester bloqués, assemblés sous forte pression, au balancier par exemple (couronnes en bronze sur roues dentées, bagues, portées de volant, cheminées fixes pour montages).

Les valeurs absolues des tolérances de fabrication de tous ces ajustements sont données par le tableau ci-après.

Ajustements recommandés

Assemblage	Libre	Tournant	Glissant	Glissant juste	Légèrement serré	Serré	Pressé à froid
Mécanique de précision.	H6-e7	H6-f6	H6-g5	H6-h5	H6-j5	H6-m5	H6-p5
Mécanique soignée	H7-e8	H7-f7	H7-g6	H7-h6	H7-j6	H7-m6	H7-p6
Mécanique courante . . .	H8-e9	H8-f8	H8-h8	H8-h7	H8-j7	H8-m7	—

Utilisation du tableau

Exemple : axe d'une molette d'entraînement de Ø 40 mm.

Assemblage recommandé H 7-g 6 : assemblage glissant.

Alésage H 7 = 0 à 0,025 mm

Arbre g 6 = 0,009 à 0,025 mm.

Cotes limites :

Cotes limites :

Ø 40 et Ø 40,025 mm.

Ø 39,975 et Ø 39,991 mm.

Tolérance de l'alésage :

Tolérance de l'arbre :

25 microns.

16 microns.

Le jeu maximum ira de 39,975 à 40,025, soit 50 microns.

Le jeu minimum ira de 39,991 à 40,000, soit 9 microns.

CALIBRES A TOLÉRANCES

Généralités. — Comme nous le disions au début de ce chapitre, nous laisserons de côté les appareils de mesure à trait qui, étant des vérificateurs à dimensions variables, sont d'un grand secours pendant la période préliminaire d'un usinage, mais qui, en période de finition, n'ont pas la qualité des vérificateurs à dimensions fixes ou calibres à tolérances. Ces vérificateurs permettent, par leur constitution, de contrôler d'une façon sûre et sans mesure effec-

AJUSTEMENTS RECOMMANDÉS

Système Alésage normal	Alésage	GROUPE H 7						
		Arbres						
Diamètres	H 7	e 7	f 7	g 6	h 6	j 6	m 6	p 6
1 exclus à 3 inclus	+ 0,009 0	-0,014 -0,023	-0,007 -0,016	-0,003 -0,010	0 -0,007	+ 0,006 -0,002	+ 0,009 + 0,002	+ 0,016 + 0,009
3 à 6	+ 0,012 0	-0,020 -0,032	-0,010 -0,022	-0,004 -0,012	0 -0,008	+ 0,007 -0,002	+ 0,012 + 0,004	+ 0,020 + 0,012
6 à 10	+ 0,015 0	-0,026 -0,040	-0,013 -0,028	-0,005 -0,014	0 -0,009	+ 0,007 -0,002	+ 0,015 + 0,006	+ 0,024 + 0,016
10 à 18	+ 0,018 0	-0,032 -0,060	-0,016 -0,034	-0,006 -0,017	0 -0,011	+ 0,008 -0,003	+ 0,018 + 0,007	+ 0,029 + 0,018
18 à 30	+ 0,021 0	-0,040 -0,061	-0,020 -0,041	-0,007 -0,020	0 -0,013	+ 0,009 -0,004	+ 0,021 + 0,008	+ 0,035 + 0,022
30 à 50	+ 0,025 0	-0,050 -0,075	-0,026 -0,050	-0,009 -0,025	0 -0,016	+ 0,011 -0,005	+ 0,025 + 0,006	+ 0,042 + 0,026
50 à 80	+ 0,030 0	-0,060 -0,090	-0,030 -0,060	-0,010 -0,029	0 -0,019	+ 0,012 -0,007	+ 0,030 + 0,011	+ 0,051 + 0,032
80 à 120	+ 0,035 0	-0,072 -0,107	-0,036 -0,071	-0,012 -0,034	0 -0,022	+ 0,013 -0,009	+ 0,035 + 0,013	+ 0,059 + 0,037
120 à 180	+ 0,040 0	-0,085 -0,125	-0,043 -0,083	-0,014 -0,039	0 -0,025	+ 0,014 -0,011	+ 0,040 + 0,016	+ 0,068 + 0,043
180 à 250	+ 0,046 0	-0,100 -0,146	-0,060 -0,096	-0,015 -0,044	0 -0,029	+ 0,016 -0,013	+ 0,046 + 0,017	+ 0,079 + 0,050
250 à 310	+ 0,052 0	-0,110 -0,162	-0,036 -0,108	-0,017 -0,049	0 -0,032	-0,016 + 0,016	+ 0,052 + 0,020	+ 0,088 + 0,056
310 à 400	+ 0,057 0	-0,125 -0,182	-0,062 -0,119	-0,018 -0,054	0 -0,036	-0,018 + 0,018	+ 0,057 + 0,021	+ 0,098 + 0,062
400 à 500	+ 0,063 0	-0,135 -0,198	-0,068 -0,131	-0,020 -0,060	0 -0,040	-0,020 + 0,020	+ 0,063 + 0,023	+ 0,108 + 0,068

Note. — Tous les nombres indiqués expriment des millimètres.

tive, les différentes pièces d'une série qui peuvent être **acceptables** en éliminant rapidement les « loups » de fabrication.

Constitution et fabrication. — Les calibres à tolérances étant pour la plupart exécutés conformément aux normes du Système à limites international doivent permettre par leur constitution la vérification de pièces dont les cotes sont comprises entre les limites prescrites, limites déterminant les tolérances de fabrication.

Ils possèdent donc à l'une de leurs extrémités la forme permettant le contrôle de la **cote maximum** permise (**Max.**) et à l'autre la forme appropriée correspondant à la **cote minimum** (**Min.**).

Ces vérificateurs sont exécutés de telle façon qu'un rapide coup d'œil permet de déceler le max. ou le min.

Etant des vérificateurs à cote fixe, cette **cote** doit être conservée **immuable** le plus longtemps possible. Pour cela leur exécution doit être l'objet du plus grand soin, de plus les frottements successifs inhérents au contrôle ont tendance à les **user**; toutes choses exigeant une fabrication particulière.

Tous les calibres à tolérances sont donc établis en **acières** de toute **première qualité, inoxydables** pour la plupart, **trempés durs, rectifiés** après trempe et **rodés** mécaniquement après rectification; le **glaçage** parfait de leurs portées leur confère une résistance à l'usure considérable.

Nous remarquons, en outre, que le degré de précision avec lequel la fabrication des calibres de contrôle est conduite, est 10 fois supérieur à celui qu'exige leur utilisation.

Depuis le Congrès de Prague, en 1928, les cotes des vérificateurs sont **exactement** celles indiquées à la température de 20° C. (Température d'étalonnage.)

Indications du constructeur. — Les vérificateurs établis suivant le **Système I.S.A.** portent sur leur support d'une façon apparente :

- a) La **cote nominale**. Ex. : Ø 40, Ø 60, etc.
- b) La lettre minuscule ou majuscule correspondant à la **tolérance de fabrication**. Ex. : g-h ou H suivie de :
- c) L'**indice de précision** 6-7-8, etc.
- d) Les abréviations **max.** et **min.** suivies de la valeur absolue de la tolérance en millimètres. Ex. : max. + 0,040.
- e) La **température d'étalonnage** : 20° C.
- f) Le poinçon du fabricant. Ex. : 

Classification.

Deux catégories de calibres à tolérances ont été constituées ; ce sont, d'une part, les **calibres à tolérances** destinés à la **fabrication** et, d'autre part, les **calibres normaux** utilisés au **contrôle** des précédents. En effet, les vérificateurs, malgré tout le soin apporté lors de leur maniement, ont tendance à se détériorer, aussi un **contrôle périodique** est-il indispensable pour en déceler l'usure.

Cette vérification est pratiquée à l'aide de calibres **étalons** possédant la **cote nominale** exacte : $\emptyset \pm 0$.

Nous concevons aisément que ces calibres normaux sont des **instruments de haute précision** ne devant servir en aucune façon au contrôle de fabrication; ils doivent être maniés avec précaution et rangés avec soin après usage.

Vérificateurs de fabrication. — Les vérificateurs de fabrication peuvent être classés en quatre catégories :

- 1^o Les vérificateurs pour **pièces mâles** ;
- 2^o Les vérificateurs pour **pièces femelles** ;
- 3^o Les vérificateurs de **filetages** ;
- 4^o Les vérificateurs de **formes**.

1^o Vérificateurs pour pièces mâles

Ceux-ci comprennent les **calibres mâchoires** et les **bagues à limites**.

VÉRIFICATEURS POUR PIÈCES MALES

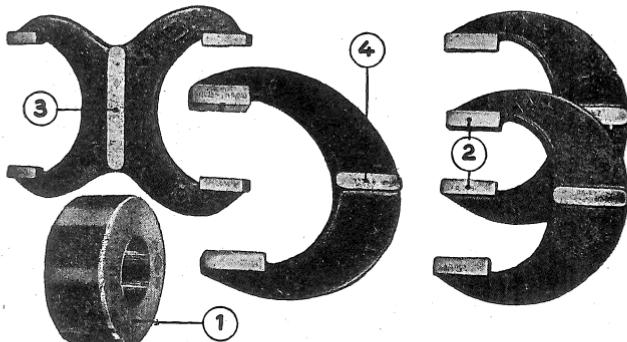


Fig. 183

1. Bague lisse.
2. Calibres mâchoires maxi-mini simples en deux pièces.
3. Calibre mâchoire maxi-mini double en une seule pièce.
4. Calibre mâchoire maxi-mini simple en une seule pièce.

a) **Calibres mâchoires.** Les calibres mâchoires ou **fers à cheval**, simples ou doubles, en une ou deux pièces, appelés vulgairement fourches (voir fig. 183), ont l'avantage d'être **légers** même pour de grands diamètres et évitent le démontage, pour sa vérification, d'une pièce montée entre pointes ; par contre, leur portée est très faible sur le cylindre à vérifier et leur usure est plus rapide que celle des bagues à limites.

VÉRIFICATEURS POUR PIÈCES FEMELLES

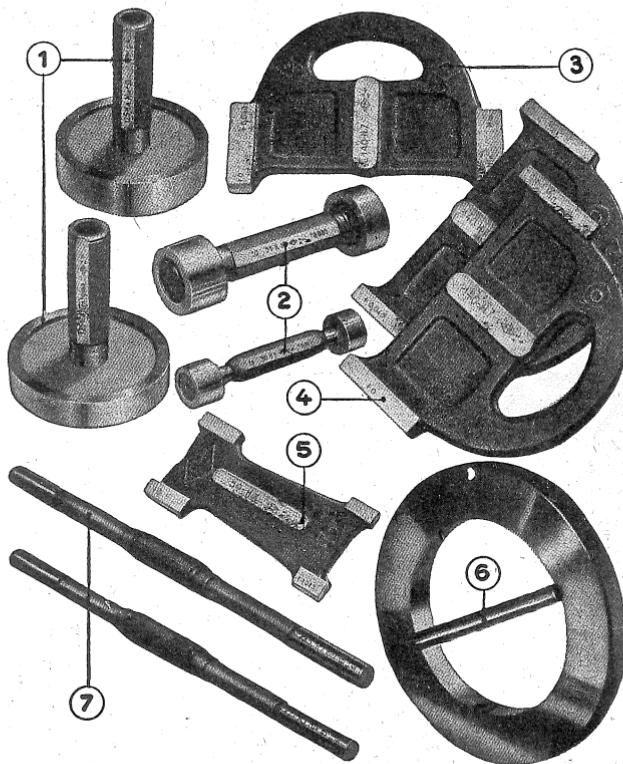


Fig. 184

1. Tampons à limites maxi - mini en deux pièces pour diamètres supérieurs à 100 mm.
2. Tampons à limites maxi - mini en une seule pièce.
3. Jauge plate à limites maxi - mini en une seule pièce pour évidements ou alésages importants.
4. Jauge plates à limites maxi - mini en deux pièces.
5. Jauge plate à limites maxi - mini en une seule pièce pour évidements ou alésages de petites dimensions.
6. Broche sphérique simple contrôlant une bague lisse.
7. Broches sphériques maxi - mini à poignées isolantes.

b) **Bagues à limites.** Celles-ci sont utilisées par paire, **max.** et **min.**, leur partie extérieure est moletée facilitant ainsi leur maniement. Elles présentent l'avantage d'une **portée totale** diminuant l'usure. Deux inconvénients sont, par contre, à signaler : l'obligation, pour le contrôle, d'un démontage de la pièce entre pointes et un poids important pour les grands diamètres.

2^e Vérificateurs pour pièces femelles

Ils englobent : les **jauges plates à limites**, les **tampons à limites** et les **broches à bouts sphériques** (fig. 184).

a) **Jauge plates à limites.** Les jauge plates peuvent être simples, doubles en une pièce ou doubles en deux pièces. Tout comme les fers à cheval elles présentent l'avantage d'une grande maniabilité et d'une grande légèreté ; ayant une faible portée, leur usure est supérieure à celle des tampons à limites.

b) **Tampons à limites.** Les tampons à limites sont actuellement établis avec parties calibrantes **interchangeables**, rapportées sur des poignées moletées, ce qui permet de les remplacer après usure.

Ils peuvent être simples ou doubles en une ou deux pièces.

C'est ce genre de vérificateur qui est le plus couramment employé dans la vérification des **alésages**; il présente sur les autres l'avantage de l'usure la plus faible.

c) **Broches à bouts sphériques.** Ces broches sont exécutées en acier parfaitement stabilisé. Leurs extrémités sont en forme de **calottes sphériques** de rayon exactement égal à la moitié de la longueur de la broche. Elles permettent un contrôle rigoureux quelle que soit l'inclinaison éventuelle de la broche dans l'alésage car elle épouse parfaitement la surface à mesurer. Comme tout vérificateur léger, il a l'inconvénient de s'user rapidement.

3^e Vérificateurs de filetages

Le problème de la vérification des **pièces filetées** est assez complexe car, dans l'exécution d'un filetage, plusieurs éléments interviennent : le diamètre extérieur, le diamètre du noyau, le diamètre des flancs, l'angle et le pas. La mesure absolue d'un filetage exigerait donc l'emploi d'instruments complexes; au contraire, le contrôle des pièces filetées à l'aide de calibres appropriés est relativement simple. Il peut s'exécuter soit à l'aide de **calibres normaux**, soit de préférence à l'aide de **calibres à limites**, simples ou à mâchoires.

Bagues et tampons normaux. — Ceux-ci, utilisés couramment autrefois à la vérification de tous les filetages, ne pouvaient déceler les erreurs d'angle ou de pas; malgré cet inconvénient, ils ont encore leurs adeptes aujourd'hui.

Pour la vérification des **vis**, on utilise la **bague filetée normale**; pour le contrôle des **filetages intérieurs**, on emploie trois types de tampons différents : le **tampon fileté simple**, le tampon **fileté à simple noyau** avec partie lisse donnant le diamètre d'alésage de l'écrou et le **tampon fileté à double noyau** avec deux parties lisses, l'une pour la vérification de l'alésage de l'écrou, l'autre pour la vérification du diamètre nominal du filetage.

Calibres de filetages à limites. — Les considérations qui ont amené la fixation de **tolérances** pour l'usinage des arbres et des alésages ont conduit également à l'application de tolérances de fabrication dans l'exécution de pièces filetées. Ces tolérances défi-

VÉRIFICATEURS DE FILETAGES

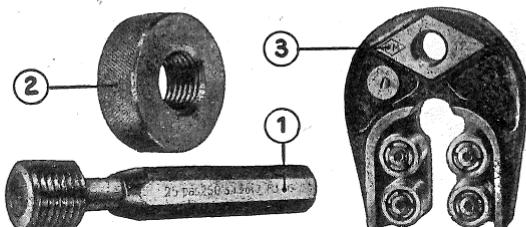


Fig. 185

1. Tampon fileté normal.
2. Bague filetée normale.
3. Calibre de filetage à mâchoires.

nissent les profils limites entre lesquels doivent se situer les éléments usinés afin de ne pas provoquer de jeu exagéré entre pièces mâle et femelle.

Ces vérificateurs sont de deux sortes dans chacune des catégories : **vis** et **écrous**.

a) Pour **filetages extérieurs (vis)**.

Un vérificateur total minimum du diamètre à flanc de filet constitué par une bague à profil spécial ne **devant pas passer**.

Ce profil spécial est caractérisé par des sommets de filets fortement troncaturés et des fonds de filets très dégagés.

b) Pour filetages intérieurs (écrous).

Un vérificateur total constitué par un tampon minimum au profil théorique et devant passer.

Un vérificateur maximum du diamètre à flanc de filets constitué par un tampon à profil spécial (même profil que la bague minimum) et ne devant pas passer.

Calibres de filetages à mâchoires. — Ces calibres perfectionnés comprennent deux paires de molettes filetées pouvant se déplacer horizontalement, sans jeu appréciable, sur leur axe d'une quantité approximativement égale au demi-pas.

Les axes de molettes, montés sur excentriques, donnent une capacité de réglage en diamètre de 0,15 mm. Les molettes « passent », sont à profil complet, les molettes « ne passent pas », sont à profil troncaturé avec fonds largement dégagés. Le réglage de ces calibres peut s'opérer soit sur des tampons filetés étalons, soit simplement avec un assemblage de cales complètes par trois piges cylindriques de diamètre approprié au pas du filetage.

4^e Vérificateurs de formes

Suivant les formes à vérifier, ce genre de calibre peut revêtir les profils les plus divers. Leur allure générale est celle des tampons et bagues normaux. Parmi leurs multiples utilisations, citons les principales :

a) **Vérification des pièces coniques.** Avec tampons et bagues aux cônes « Morse », « Brown et Sharpe », « Standard américain S.A. », etc.

VÉRIFICATEURS DE FORMES

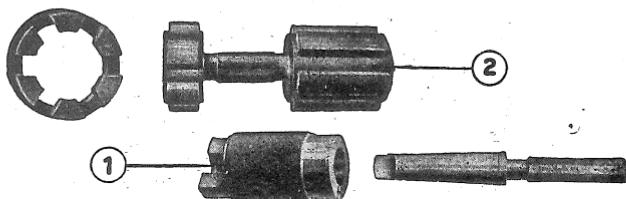


Fig. 186

1. Vérificateurs mâle et femelle pour cône « Morse » avec tenon
2. Vérificateurs mâle et femelle pour arbres et moyeux cannelés

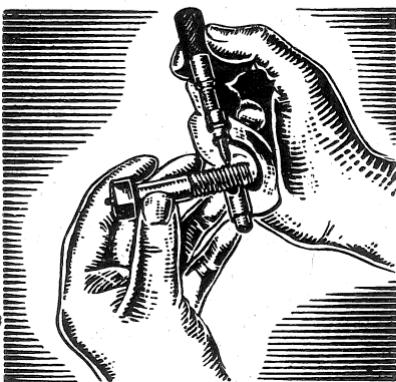
b) **Vérification des cannelures.** Avec bagues pour arbres cannelés et tampons pour alésages rainurés.

c) **Vérification des clavetages.** Avec bagues et tampons à clavettes, etc.

Précautions à prendre concernant l'emploi des vérificateurs

Les calibres, tampons et bagues de vérification, étant des instruments de haute précision, doivent être respectés comme tels et être l'objet des plus grandes précautions :

- 1° **Ne jamais vérifier une pièce en mouvement**; une usure rapide et des accidents graves peuvent en découler.
- 2° **Eviter les chocs avec des corps étrangers.**
- 3° **Eviter le contact avec des liquides oxydables.**
- 4° **Ne jamais rectifier une forme ou un filetage à l'aide d'un vérificateur en faisant usage d'un maillet.**
- 5° **Graisser soigneusement** les vérificateurs, après usage, à la vaseline pure et les ranger sur des rayons ou dans des boîtes appropriées.



23. MONTAGE DES PIÈCES PAR CONES

DÉFINITION

Le **montage des pièces par cônes** a pour but de rendre étroitement solidaires en rotation deux organes de machines par emmanchement conique à faible pente, tout en permettant leur démontage.

UTILISATION

Le montage des pièces par cônes peut s'exécuter de plusieurs manières :

1° **Par goupillage** : Montage d'une goupille d'arrêt d'une molette sur son axe, soit perpendiculaire à l'axe de l'arbre, c'est le goupillage central, soit entre **cuir et chair**, goupillage **de côté**.

2° **Par blocage en bout** : Entraînement des outils tournants sur les machines-outils. C'est le montage classique des forets de gros diamètres, des queues de fraises, des queues d'alésoirs, etc., aux cônes « Morse », « Huré », « Brown et Sharpe », « Standard américain S.A. », etc. Tous ces cônes sont démontables.

1° Goupilles

Ce sont des tiges d'acier légèrement coniques, de petites dimensions, servant à fixer un organe (écrou, rondelle, douille, pignon, etc.) sur un arbre lisse ou fileté.

La **conicité** de ces goupilles est généralement de **2 %**. Le gros bout indique toujours en cote le diamètre nominal. Dans le montage des goupilles, avoir soin de marquer d'un léger coup de tiers-point l'entrée du trou pour en repérer le démontage. L'alésage de ces trous est obtenu au moyen d'équarrissoirs ou de petits alésoirs coniques, ayant la **pente de 1 %**.

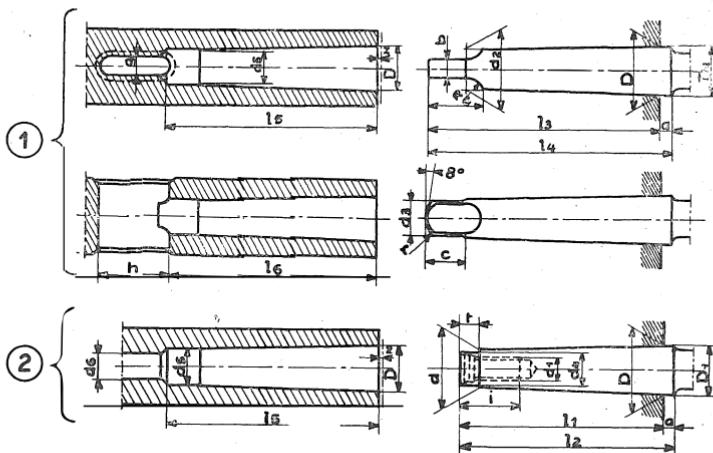
2° Cônes démontables

On a recherché, dans la construction mécanique, une méthode simple de fixation des outils sur les broches des machines-outils ;

l'emmanchement par cônes se révéla le moyen parfait, d'où la recherche d'une conicité permettant le démontage des mêmes outils, tout en supprimant leur glissement mutuel.

Le cône « Morse » semble être la conicité idéale ; sa valeur proche de 5 % n'est pas absolument semblable pour tous les numéros Morse. En faisant le calcul, nous obtenons approximativement $1^\circ 27'$ de pente moyenne (1).

CONES MORSE



1 : Cônes à tenons. — 2 : Cônes à tirants

Fig. 187

CONES BROWN ET SHARPE

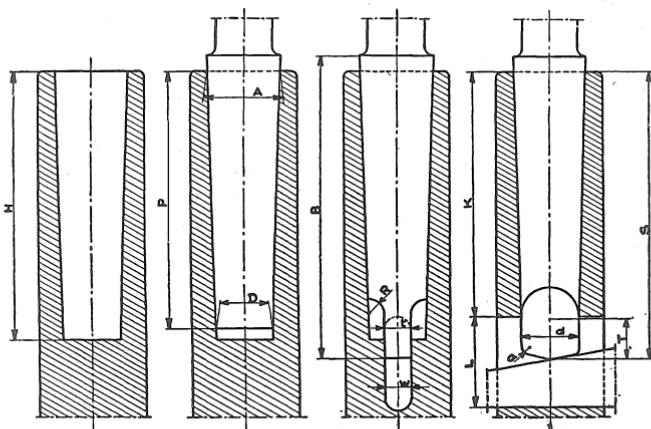


Fig. 188

(1) Actuellement, les **Normes Françaises** orientent les constructeurs de machines-outils et d'outils vers la **conicité de 5 %** (voir tableau).

TABLEAU DES CONES « MORSE »

Désignation	Cônes 5 %		Cônes Morse						Cônes 5 %					
	4	6	0	1	2	3	4	5	6	80	100	120	160	200
Conicité en %	5	5	5,205	4,988	4,995	5,020	5,194	5,263	5,124	5	5	5	5	5
Pente en degrés	10 ^{29'26''}	10 ^{25'43''}	10 ^{25'50''}	10 ^{26'14''}	10 ^{29'14''}	10 ^{30'25''}	10 ^{29'34''}							
D	4	6	9,045	12,065	17,780	23,825	31,267	44,399	63,348	80	100	120	160	200
Cônes extérieurs	a	2	3	3,5	5	5	6,5	6,5	8	8	10	12	16	20
	D 1	4,1	6,2	9,2	12,2	18	24,1	31,6	44,7	63,8	80,4	100,5	120,6	160,8
	d	2,9	4,4	6,4	9,4	14,6	19,8	25,9	37,6	53,9	70,2	88,4	106,6	143
	d 1 (*)	—	—	M 6	M 10	M 12	M 16	M 20	M 24	M 30	M 36	M 48	M 48	179,4
	d 2	—	—	6,1	9	14	19,1	25,2	36,5	52,4	69	87	105	141
	d 3	—	—	6	8,7	13,5	18,5	24,5	35,7	51	67	85	102	138
	d 4	2,5	4	6	9	14	19	25	35,7	51	67	85	102	138
	i 1	23	32	50	53,5	64	81	102,5	129,5	182	196	232	268	340
	i 2	25	35	53	57	69	86	109	136	190	204	242	280	356
	i 3	—	—	56,5	62	75	94	117,5	149,5	210	220	260	300	380
	i 4	—	—	59,5	65,5	80	99	124	156	218	228	270	312	396
	b	—	—	3,9	5,2	6,3	7,9	11,9	15,9	19	26	32	38	50
	c	—	—	6,5	8,5	10	13	16	19	27	24	28	32	40
	e	—	—	10,5	13,5	16	20	24	29	40	48	58	68	88
	i	—	—	—	16	24	28	32	40	50	65	80	80	100
	R	—	—	4	5	6	7	8	10	13	24	30	36	48
	r	—	—	1	1,2	1,6	2	2,5	3	4	5	5	6	8
	t	2	3	4	5	5	7	9	10	16	24	30	36	48
Cônes intérieurs	d 5	3	4,6	6,7	9,7	14,9	20,2	26,5	38,2	54,6	71,5	90	108,5	145,5
	d 6	—	—	—	7	11,5	14	18	23	27	33	39	39	52
	i 5	25	34	52	56	67	84	107	135	188	202	240	276	350
	i 6	21	29	49	52	62	78	98	125	177	186	220	254	321
	g	2,2	3,2	3,5	5,2	6,3	7,9	11,9	15,9	19	26	32	38	50
	h	8	12	15	19	22	27	32	38	47	52	60	70	90
	z	0,5	0,5	1	1	1	1	1,5	1,5	2	2	2	2	3

(*) Filetage métrique (ISO).

En accord avec les données de la Norme PN E.66 531 (Mai 1961)

TABLEAU DES CONES « BROWN ET SHARPE »

No du cône	Petit diamètre du tampon	Longueur du cône			P										Conicité
					Grand diamètre du tampon		Longueur de la douille jusqu'à la lumière		Longueur de la douille dans la douille		Largeur du chemin du tenon		Hauteur du tenon		
		Brown et Sharpe standard	MILLIMACH standard	MISCELL	A	K	S	L	W	T	d	t	R	a	%
1	5.080	23.812			6.072	23.812	30.162	9.524	3.429	4.762	4.318	3.175	4.762	0.762	4.166
2	6.350	30.162			7.606	29.765	38.099	12.700	4.216	6.349	5.588	3.968	4.762	0.762	4.166
		38.099			9.512	37.305	47.624	15.875	5.003	7.937	7.162	4.762	4.762	1.016	4.166
			44.449		9.777	43.655	53.974	15.875	5.003	7.937	7.162	4.762	4.762	1.016	4.166
			50.799	10.041	50.005	60.324	15.875	5.003	7.937	7.162	4.762	4.762	1.016	4.166	
4	8.890	42.861	31.749		10.212	30.559	42.068	17.462	5.791	8.731	8.128	5.556	7.937	1.270	4.166
				10.675	41.671	53.180	17.462	5.791	8.731	8.128	5.556	7.937	1.270	4.166	
			44.449		13.282	42.861	55.561	19.049	6.604	9.524	10.668	6.350	7.937	1.524	4.166
5	11.430		50.799		13.546	49.211	61.911	19.049	6.604	9.524	10.668	6.350	7.937	1.524	4.166
			53.974		13.678	52.386	65.086	19.049	6.604	9.524	10.668	6.350	7.937	1.524	4.166
6	12.700	60.324			15.213	58.339	73.023	22.224	7.391	11.112	11.684	7.143	7.937	1.524	4.166
				63.499	17.885	61.117	76.992	23.812	8.178	11.906	14.224	7.937	9.524	1.778	4.166
7	15.240	73.023			18.282	70.642	86.517	23.812	8.178	11.906	14.224	7.937	9.524	1.778	4.166
			76.198		18.414	73.817	89.692	23.812	8.178	11.906	14.224	7.937	9.524	1.778	4.166
8	19.050	90.486			22.820	87.707	104.773	25.399	8.966	12.700	18.034	8.731	9.524	2.032	4.166
9	22.860	101.60			27.093	98.423	117.472	28.574	9.779	14.287	21.844	9.525	11.112	2.54	4.166
		107.95			27.357	104.773	123.822	28.574	9.779	14.287	21.844	9.525	11.112	2.54	4.166
10	26.532	126.998	144.459		31.993	123.029	145.253	33.336	11.353	16.668	25.654	11.112	11.112	2.794	4.300
			157.953	33.324	32.743	140.491	162.715	33.336	11.353	16.668	25.654	11.112	11.112	2.794	4.300

Nota : H = P + 1/8 de pouce.

Traduction en mesures françaises de la British Engineering Standard Association

Le cône « Huré » est presque totalement remplacé par le cône « Morse ».

Le cône « Brown et Sharpe » est très employé aux Etats-Unis, mais également supplanté en France par le cône « Morse ». Ses caractéristiques sont les suivantes :

Conicité 1/24, soit environ 4 %.

Son angle de pente est sensiblement de $1^\circ 5'$.

L'entraînement par cône **Standard américain** dit S.A. est la combinaison d'un cône à forte conicité **7/24**, soit environ **29,2 %** (angle de pente : **$8^\circ 17' 45''$**) et de deux clavettes trempées fixées sur le nez des broches de fraiseuses. Les avantages procurés par

l'entraînement S.A. sont nombreux : transmission de fortes puissances, centrage parfait et démontage facile (1).

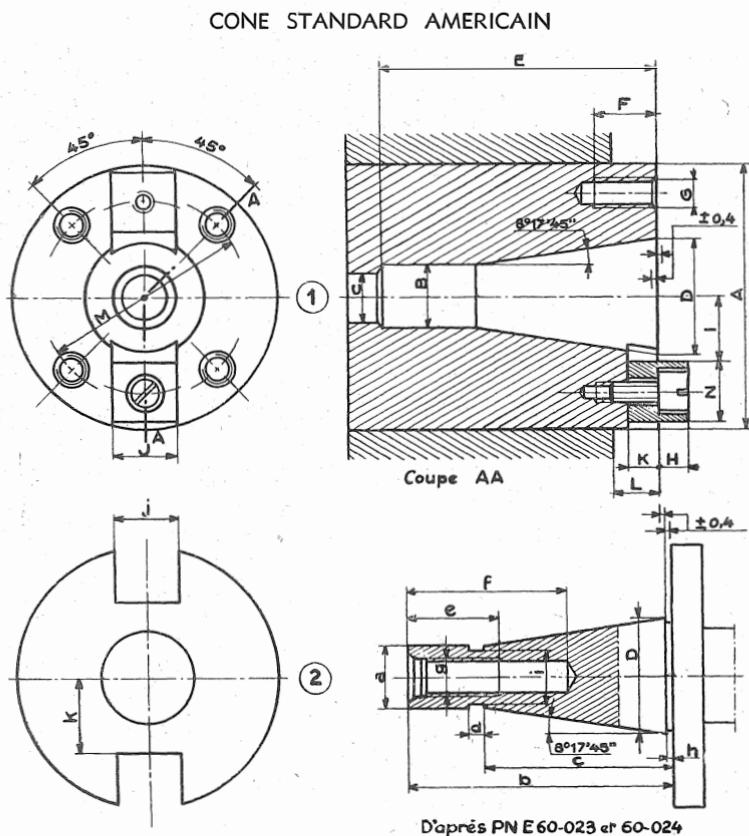


Fig. 189

PRÉCAUTIONS A PRENDRE POUR L'UTILISATION DES OUTILS A QUEUE CONIQUE

Certaines précautions sont à observer pour l'utilisation sur la fraiseuse des fraises et des porte-fraises. Il est indispensable que ceux-ci tournent parfaitement rond ; aussi faut-il s'assurer qu'aucun copeau ni aucun corps étranger ne sont venus se placer entre cône mâle et cône femelle. Vérifier si la partie conique porte sur toute sa longueur, assurant ainsi un entraînement parfait.

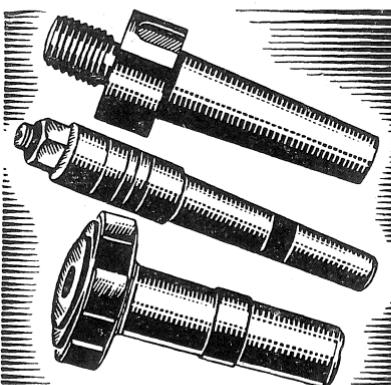
(1) Pour plus de détails concernant les différents modes d'entraînement des outils tournants se reporter à l'ouvrage de R. Nadreau « Le Tour et la Fraiseuse », nouvelle édition.

Ne pas engager dans la broche une fraise ou un porte-fraise qui ne puisse en être extrait par l'un des procédés suivants :

1^o **Ecrou de déblocage** prenant appui sur la face avant de la broche ;

2^o **Trou** percé à l'extrémité de la queue de fraise permettant l'engagement d'une **tige d'extraction** se vissant sur l'arrière de la broche.

REMARQUE. — Dans tous les travaux de fraisage, les fraises et porte-fraises doivent toujours être maintenus dans leur logement à l'aide de longs boulons appelés **broches ou « tirants »**, assurant une immobilité complète de l'outil pendant le travail.



24. TRAITEMENTS MÉCANIQUES DES MÉTAUX

DÉFINITION

Ce sont des opérations mécaniques ayant pour but de provoquer sur les métaux, à l'aide d'outils particuliers, une **déformation plastique** sans formation de copeaux. Ces traitements peuvent prendre des formes variées ; voici les principales : le **forgeage**, le **laminage**, l'**étirage**, le **tréfilage**, l'**emboutissage**, le **matriçage** ou **estampage** et le **filage**.

LE FORGEAGE

Le forgeage est un procédé de travail par **choc** ou par **pression**, dans lequel on utilise la malléabilité maximum possédée par un métal à chaud. Pour qu'un métal se forge bien, il faut qu'il ait une élasticité faible alliée à un coefficient d'allongement important. Le forgeage remplit généralement quatre rôles :

- a) **Donner aux pièces mécaniques leurs formes approchées** (ébauche) ;
- b) **Créer dans le métal une structure fibreuse** ne pouvant être complètement détruite par le recuit.
- c) **Améliorer les caractéristiques mécaniques des pièces** qui le subissent en détruisant la cristallisation grossière laissée par la coulée.
- d) **Economiser la matière première.**

Le forgeage peut être exécuté à **la main** pour des travaux peu importants, avec utilisation de marteaux et de dégorgeoirs ; ou **mécaniquement** pour des pièces de grosses dimensions, à l'aide de marteaux-pilons ou de presses à forger.

Le **marteau-pilon** procède par chocs successifs ; il peut être mû à l'air comprimé ou à la vapeur ; le poids de sa masse atteint, au maximum, 100 tonnes. Il est supplanté actuellement par la **presse à forger** qui, elle, agit par pression ; sa puissance, bien supérieure, peut atteindre 20.000 tonnes. La presse à forger ne nécessite pas de fondations aussi importantes que celles qu'exige un marteau-pilon ; de plus, l'action de la presse agit sur toute la masse du métal, tandis que celle du pilon n'intéresse que la périphérie. Les presses à forger peuvent être comparées à d'immenses presses hydrauliques dont elles utilisent le principe.

Exemples de forgeage. — Arbres de couche de machines marines ; vilebrequins ; bielles ; manivelles ; tiges de pistons ; essieux de locomotives ; tubes de canons ; hélices d'avions en duralumin, etc.

LE LAMINAGE

Le laminage est un procédé de forgeage rapide, permettant de transformer en plaques ou barres profilées des lingots métalliques obtenus préalablement par coulée. L'opération consiste en un **écrasement**.

LAMINOIR ET MÉTHODES DE LAMINAGE

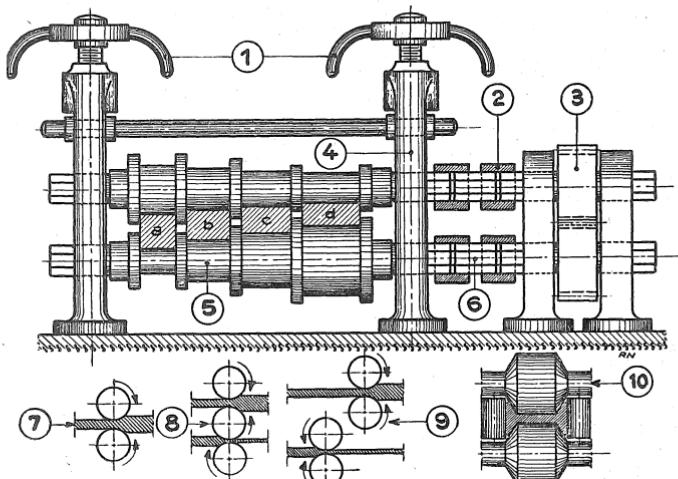


Fig. 190

- | | |
|---|----------------------|
| 1. Dispositif de serrage. | 6. Allonges. |
| 2. Manchons d'accouplement. | 7. Duo. |
| 3. Engrenages de transmission du mouvement. | 8. Trio. |
| 4. Cages à cylindres. | 9. Double duo. |
| 5. Cylindres. | 10. Trois universel. |

sement du métal, porté à sa température de plus grande malléabilité, entre deux cylindres de fonte trempée tournant en sens inverse et dont l'écartement réglable est fonction des épaisseurs à obtenir. Les aciers peuvent être laminés entre 600 et 1200°.

Toute opération de laminage provoque trois phénomènes importants :

- a) **Allongement** du lingot parallèlement à son axe ;
- b) **Élargissement** du lingot perpendiculairement à ce même axe ;
- c) Création d'une **fibre nerveuse** ayant la direction du sens de laminage.

Les **trains de lamoins** peuvent être classés comme suit :

a) Les **duos**, constitués par deux cylindres tournant en sens inverse ;

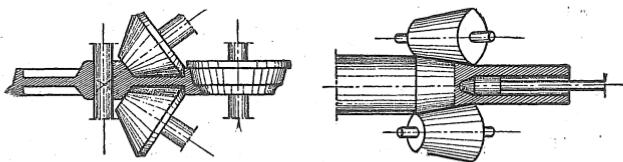
b) Les **trios**, composés de trois cylindres provoquant l'aller et le retour du lingot ;

c) Les **doubles-duos**, formés de deux duos superposés ;

d) Les **trains universels**, constitués par quatre cylindres lamineurs : deux verticaux et deux horizontaux non dans le même plan.

Les cylindres de **lamoins à tôles** sont **lisses** sur toute leur longueur, tandis que les **cylindres à profilés** sont munis de cannelures dont la section va en diminuant.

LAMINAGES SPÉCIAUX



Tube sans soudure

Roue de wagon

Fig. 191

Exemples de laminage. — Toutes tôles et planches de l'industrie ; plaques de blindage ; profilés ou poutrelles de toutes sections ; rails de chemins de fer ; roues de wagons ; tubes sans soudure, etc.

REMARQUE. — Le laminage peut également être pratiqué à froid quand il suit un laminage d'ébauche à chaud, ceci pour éviter l'oxydation de certains métaux. **Exemples :** fers blancs ; papier d'étain et d'aluminium ; bandes d'acier pour emboutissage des plumes, etc.

Le **maillechort** est laminé à froid immédiatement après sa coulée.

L'ÉTIRAGE

L'étrage est un traitement mécanique ayant pour but d'obtenir des pièces de sections variées en les obligeant à passer dans une **filière à entrée tronconique**. L'étrage peut être pratiqué à chaud ou à froid, beaucoup plus souvent à froid, en utilisant les qualités **ductiles** des métaux qui le subissent. L'opération est toujours accompagnée d'une augmentation de longueur et d'une diminution de section ; elle a lieu sur des machines spéciales appelées **bandes à étirer** qui peuvent être hydrauliques, à crémaillère ou à chaîne.

Pour qu'un étirage à froid soit bien conduit, il est nécessaire de faire subir trois opérations préalables à la pièce à étirer :

- a) **Recuit** vers 750° pour diminuer la fragilité ;
- b) **Décapage** à l'acide chlorhydrique provoquant la disparition de l'oxydation due au recuit ;

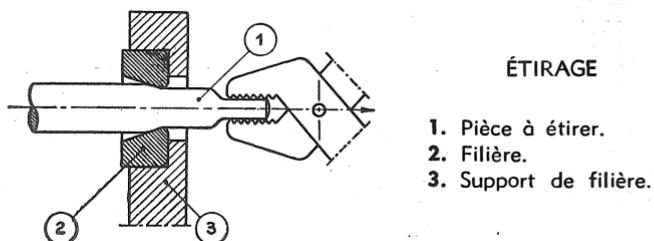


Fig. 192

- c) **Dépôt électrolytique** de cuivre « graissant » la pièce et facilitant le glissement.

La vitesse de passage de l'acier doux dans la filière est de l'ordre de 4 à 8 mètres par minute. Celle-ci, qui est l'outil principal, est généralement en acier spécial ou **chrome-cobalt-molybdène** trempé entre 975° et 1000° et revenu dans un bain d'huile au jaune pâle, soit 180° .

La composition moyenne de cet acier supérieur est la suivante :

$$C = 1,5\% ; Cr = 12\% ; Mo = 1\% ; Co = 3\%.$$

Exemples d'étirage. — Tous les profilés devant posséder des sections plus exactes et plus précises que celles obtenues par laminage ; les tubes sans soudures utilisés dans les industries du cycle, de l'automobile et de l'aviation ; les barres de décolletage, les pièces détachées pour cycle, armurerie et serrurerie, les aubes de turbines, etc.

LE TRÉFILAGE

Le tréfilage est un traitement semblable à l'étirage et qui consiste à transformer en **fils** un métal **ductile** déjà réduit en baguettes. L'opération est pratiquée dans des **filières particulières** munies d'un certain nombre de trous de dimensions décroissantes.

ÉTIRÉS DE FORME POUR LES INDUSTRIES DU CYCLE,
DE L'ARMURERIE ET DE LA SERRURERIE

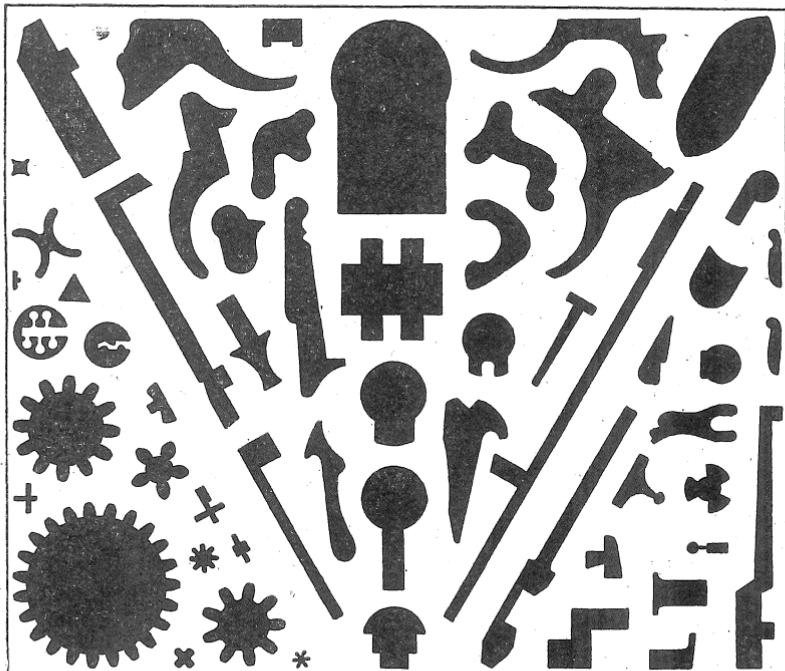


Fig. 193

Pour les métaux usuels, les filières sont en **acier au chrome**. Elles peuvent être en **rubis** ou en **diamant** pour le tréfilage des fils de très faible diamètre.

Le tréfilage est un traitement qui, tout en écrouissant le métal, lui fait perdre sa ductilité ; il est donc nécessaire, pour pouvoir continuer l'opération, de lui redonner une certaine souplesse, soit par **recuit**, soit par **dépôt électrolytique** pour les métaux précieux : argent sur or, cuivre sur argent, iridium sur platine. Un décapage à l'acide fait disparaître le dépôt quand la dimension est obtenue.

Exemples de tréfilage. — Fils de cuivre utilisés en électricité et en T.S.F. ; filaments de lampes à incandescence en tungstène ; corde à piano, etc.

L'EMBOUTISSAGE

L'emboutissage a pour but l'obtention de **pièces creuses** en partant de surfaces planes (flans) et en procédant par **refoulement** du métal entre une **matrice** et un **poinçon**. La matrice remplace l'enclume et le poinçon la masse à frapper.

Dans tous les exemples d'emboutissage, on dépasse toujours la limite élastique du métal, afin que la déformation subsiste après retrait du poinçon.

L'emboutissage est pratiqué, soit à la main (chaudronnage), soit mécaniquement, à l'aide de presses à emboutir. Ce dernier procédé est de beaucoup le plus utilisé, car son prix de revient, très intéressant, est réparti sur un grand nombre de pièces ; de plus, les formes obtenues sont rigoureusement semblables. Les machines employées sont identiques aux presses à découper ; en effet, une opération d'emboutissage suit bien souvent, sur la même machine, une opération de découpage. Lorsque la déformation doit être trop importante, plusieurs recuits intermédiaires sont indispensables.

Exemples d'emboutissage. — Carters ; boîtes ; tubes ; coffres ; roues de voitures ; châssis de motocyclettes et d'automobiles ; carrosseries d'automobiles et de wagons de chemins de fer ; poutrelles d'avions, etc.

LE MATRIÇAGE OU ESTAMPAGE

C'est la mise en forme du métal par déformation plastique entre les deux moitiés d'une matrice ou d'une estampe. Les deux demi-coquilles négatives reproduisant le positif de l'empreinte ou gravure des deux sections.

Ces travaux s'exécutent sous l'action progressive de la presse à forger pour le matriçage, et les chocs répétés du marteau-pilon pour l'estampage. Le travail proprement dit est toujours exécuté à chaud.

En matriçage, il est toujours indispensable que le volume du lopin métallique, avant déformation, soit légèrement supérieur à celui de la pièce terminée ; le surplus s'interpose, en effet, sous forme de bavure entre les deux moitiés de matrice. Un jeu suffisant est prévu comme dégagement de bavure, ce qui évite une rupture de l'outil par contact forcé.

Avantages du matriçage. — Ils sont de plusieurs sortes :

- a) Caractéristiques mécaniques maxima, assurées par le fribage du métal ;
- b) Fabrication en grande série suivant des dimensions rigoureusement respectées ;
- c) Pièces exemptes de rugosité, d'où réduction maximum du travail d'usinage ;
- d) Surface polie favorisant les traitements anodiques.

Métaux et alliages susceptibles de matrïçage

Cuivre électro, Cu = 100 % : Appareillage électrique.

Cuivre au chrome, Cr = 0,7 % : Electrodes de soudeuses par points.

Laiton, U-Z 42 : Pièces de frottement.

Laiton de décolletage, U-Z 39 Pb1 à Pb2 : Décolletage et armement.

Laiton haute résistance, U-Z 38 Pb1 E : Pièces de décolletage et de résistance à la corrosion.

Bronze d'aluminium, U-A 9 : Pièces de haute résistance mécanique et à la corrosion.

Maillechort, Cu 45, Zn 44, Ni 11 : Pièces spéciales de résistance à la corrosion.

Applications du matrïçage

Automobile : bielles et vilebrequins, pièces de serrurerie, poignées, écrous de roues, etc.

Marine : bornes d'accus, pièces en bronze d'aluminium pour gouvernails de sous-marins, boulonnerie en bronze, poignées de hublots, etc.

Électricité : pièces d'appareillage électrique : cosses, porte-balais, serre-fils, contacteurs, etc.

Serrurerie et coutellerie : poignées de portes ou de tiroirs, clefs, montures de ciseaux, lames de couteaux, couverts, etc.

Sanitaire : accessoires de lavabos et d'éviers, plaques de baignoires, robinetterie de chasse-d'eau, corps de mélangeurs, etc.

Robinetterie : corps et chapeaux de vannes et de robinets, presse-étoupes, douilles, etc.

LE FILAGE

Le **filage** est un traitement mécanique consistant à comprimer à chaud un métal malléable, et ceci à l'intérieur d'un cylindre d'une presse de forte puissance appelée **presse à filer**. Le passage du métal par un orifice de forme donnée, pratiqué au fond du cylindre, donne naissance à des produits divers (fils, tubes, profilés).

La **filière** par laquelle passe le métal est en acier très dur au **chrome-tungstène-nickel** : Tu = 10 % ; Cr = 2,5 % ; Ni = 2 %.

Le filage a de sérieux avantages sur le tréfilage et le laminage pour la transformation de certains métaux, car il évite la multiplication des passes pour un résultat identique. Il permet, en effet, l'obtention immédiate du profilé, directement utilisable, en partant du lingot initial.

Procédé d'obtention par filage du tube d'acier sans soudure

Dans ce procédé moderne remplaçant de plus en plus le tube sans soudure obtenu par **laminage**, l'ébauche est une billette préalablement perforée soit à froid, soit à chaud. L'alésage ainsi obtenu sert de guide, en période de filage, à une « **aiguille** » solidaire du poinçon, qui est chargée de calibrer le trou. Le métal s'écoule alors par l'orifice d'une filière ronde entre filière et aiguille.

La température de filage varie entre 1150° et 1350°, la pression sur la billette peut atteindre 100 hectobars (1).

L'opération proprement dite est très rapide ; pour une barre de plusieurs centaines de kg, le passage ne dure que quelques secondes.

CONTROLE DES TRAITEMENTS MÉCANIQUES

Pour suivre l'influence des traitements mécaniques sur les pièces et faire apparaître les défauts dangereux dus au manque d'homogénéité cristalline ou chimique qu'un examen superficiel est incapable de déceler, on effectue, sur la surface de la pièce, un examen **macrographique**.

La **macrographie** est la partie de la métallurgie étudiant la structure des métaux et alliages à l'œil nu.

L'examen macrographique est opéré sur une section longitudinale de la pièce à examiner, attaquée soit à l'**acide chlorhydrique pur**, soit à l'**acide sulfurique à 20 %** après un **polissage soigné**. On voit alors apparaître le **fibrage** du métal et l'on peut suivre les sinuosités de celui-ci.

Ce contrôle, du plus haut intérêt, permet de choisir entre différents procédés de fabrication ou différentes méthodes de travail, celui ou celle qui procurera le minimum de fatigue à la pièce. On pourra suivre ainsi, d'une façon parfaite, le comportement de la matière en période de déformation.

MACROGRAPHIE
D'UNE ÉBAUCHE DE SOUPAPE
DE MOTEUR A EXPLOSION

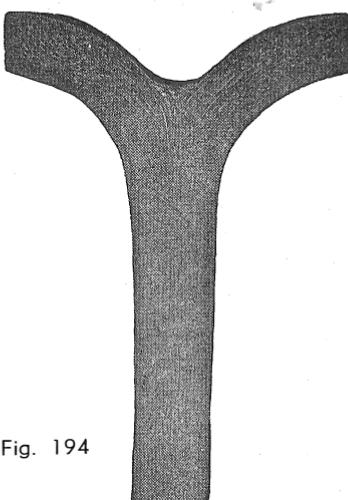


Fig. 194

(1) 1 bar = 0,981 kgf/cm², soit 1 kgf/cm² ;
100 hectobars = 10.000 kgf/cm².

25. CONTROLE DES TEMPÉRATURES

MÉTHODES EMPLOYÉES

Les traitements thermiques que certains métaux sont appelés à subir nécessitent une élévation de température dont l'appréciation peut être déterminée de différentes façons.

Nous citerons cinq procédés distincts :

- 1° **Au jugé** ;
- 2° **Par contact d'un corps étranger** ;
- 3° **Par fusion de sels spéciaux** ;
- 4° **Par utilisation de montres fusibles** ;
- 5° **Au pyromètre**.

1° AU JUGÉ

Ce procédé rudimentaire, exclusivement réservé à l'acier, manque évidemment de précision, mais rend de grands services toutes les fois que l'appréciation doit être **rapide** et où une faible erreur de jugement ne peut nuire daucune façon au traitement thermique lui-même.

Deux gammes de teintes peuvent être observées à l'œil nu, suivant que nous avons affaire à une **oxydation périphérique** ou à une **radiation calorique**.

a) **Oxydation périphérique** provoquée par le chalumeau ou par un bain de sable ou de grès poussé à température convenable. Ce contrôle est généralement réservé au **revenu** de l'acier.

Voici (voir tableau) les teintes apparaissant après polissage à sec, au fur et à mesure de l'élévation de température :

b) **Radiation calorique** de la masse du métal portée vers l'incandescence et provoquée par un chalumeau, un feu de forge ou un four. Ce rayonnement est d'un précieux secours dans l'appréciation des **températures de trempe** des différents aciers ; il émet les couleurs suivantes (voir tableau) :

OXYDATION PÉRIPHÉRIQUE

Coloration des aciers	Température approximative	Température de fusion de métaux purs ou d'alliages pouvant servir d'étalon
Jaune pâle	215°	
Jaune paille	230°	Etain pur 232°
Jaune ambré	245°	Alliage : Plomb 87 % } 245° Antimoine 13 %
Brun	255°	
Gorge de pigeon.....	265°	
Pourpre violet	275°	Bismuth pur 271°
Bleu très foncé.....	290°	
Bleu foncé	300°	
Bleu clair	320°	Cadmium pur 321°
Gris bleu	350°	
Gris	400°	Zinc pur 419°
Gris noir	450°	

RADIATION CALORIQUE

Coloration des aciers	Température approximative	Température de fusion de métaux purs ou d'alliages pouvant servir d'étalon
Rouge naissant	500°	
Rouge naissant avancé	550°	Alliage : Cuivre 32 % } 544° Aluminium 68 %
Rouge très sombre	600°	
Rouge sombre	650°	Magnésium pur 650°
Rouge sombre avancé.....	725°	
Rouge cerise naissant.....	800°	Sel marin déshydraté 800°
Rouge cerise	875°	
Rouge cerise clair.....	950°	
Jaune orangé	1000°	Argent pur 960°
Jaune	1100°	Cuivre pur 1083°
Jaune clair	1150°	
Jaune très clair	1200°	Manganèse pur 1250°
Blanc	1300°	
Blanc soudant	1400°	Nickel pur 1450°

2° PAR CONTACT D'UN CORPS ÉTRANGER

Ce procédé est très usité pour le contrôle des températures nécessaires aux traitements thermiques des **métaux légers** (1).

a) **Contrôle au moyen du savon de Marseille.** Voici les teintes apparaissant après avoir tracé un ou plusieurs traits de savon sur la pièce à chauffer :

Jaune	160°	Brun foncé.....	280°
Brun très clair.....	190°	Noir brillant.....	300°
Brun	220°	Noir mat.....	450°

b) **Contrôle au moyen de l'huile de ricin.** Procédé plus précis que le précédent, qui donne les couleurs suivantes, après avoir étalé un peu d'huile avec le doigt sur la pièce à chauffer :

< 250°	Tache d'huile incolore
250°	— brun très clair
270°	— brun clair
300°	— brun
350°	— brun foncé
380° à 400°	— noir franc
420°	— commençant à disparaître
450°	— presque disparue
480° à 520°	— totalement disparue

c) **Contrôle à l'aide du suif** (2). Le suif donne les indications suivantes en fonction de la température :

Dégagement de fumée presque imperceptible . . .	150°
Jaune	260°
Brun clair	300°
Brun	350°
Noir brillant	400°
Tache noire disparaissant.....	460°
Disparition complète de la tache noire.....	500°

d) **Contrôle au moyen de la sciure de bois** (bois blanc sec). Il est nécessaire de chauffer d'abord la pièce, puis de saupoudrer, à l'aide de cette sciure, au fur et à mesure de l'élévation de température. Nous observons alors les réactions suivantes :

(1) Les **températures remarquables** des traitements thermiques que peuvent subir les **métaux légers** sont :

- Pour le **recuit**, de 375° à 425°;
- Pour la **maturisation**, de 480° à 500°.

(2) Pour le **recuit** à la température de 400°, le **suif prévient** en s'évaporant, le savon ne prévient pas en fondant.

Dégagement de fumée peu important	300 à 350°
— moyen	350 à 380°
— instantané sans points rouges..	380 à 420°
— avec apparition de points rouges	420 à 460°
Apparition de nombreux points rouges.....	480°

3° FUSION DE SELS SPÉCIAUX

Le contrôle d'une gamme très étendue de température peut être obtenu grâce à la fusion des sels suivants, qui sont également utilisés comme **bain de chauffage** pour le traitement thermique des métaux :

Nitrate de soude	310°	Chlorure de potassium.	790°
Nitrate de potasse.....	336°	Chlorure de sodium...	810°
Azotate de chaux.....	535°	Sulfate de potasse :	
Cyanure de sodium....	560°	70 %	827°
Azotate de baryte....	570°	50 %	865°
Cyanure de potassium.	610°	Sulfate de soude :	
Chlorure de sodium :		30 %	827°
30 %	625°	50 %	865°
42 %	667°	Carbonate de sodium..	850°
Chlorure de potassium :		Sulfate de soude.....	880°
70 %	625°	Chlorure de baryum...	955°
58 %	667°	Fluorure de sodium....	980°
Iodure de sodium.....	682°	Sulfate de potasse....	1070°
Bromure de potassium.	730°	Fluorure de calcium...	1300°

L'utilisation courante des **bains de sels fusibles** est un progrès considérable en matière de traitement thermique. Ils communiquent aux aciers traités :

- Une température très précise ;
- Un chauffage uniforme ;
- Une absence de décarburation due à l'isolement des pièces de l'élément oxydant.

4° UTILISATION DES MONTRES FUSIBLES

Les **montres fusibles** de Seger (1) sont formées par de petites pyramides de 5 à 6 cm de haut sur 1/2 à 2 cm de base, constituées par un mélange en proportions convenables de :

Quartz, feldspath, carbonate de calcium et kaolin.

(1) **Seger** : chimiste de la Manufacture de Charlottenburg (Allemagne). Ses travaux ont été publiés en 1886.

Leur point de fusion ou plus exactement leur « tombée » s'échelonne sensiblement de 30° à 20°, entre 600° et 2000°.

Elles sont surtout utilisées en **céramique** pour le contrôle de la température des fours de cuisson.

Il suffit de déposer ces montres par groupes de trois à l'intérieur des fours dont on veut mesurer la température ambiante.

Les « tombées » successives de ces trois pyramides renseignent exactement sur la valeur de la température obtenue.

On considère que le point de fusion est atteint lorsque la montre se couche et **tombe** sur son support.

TABLEAU INDIQUANT LES TEMPÉRATURES APPROXIMATIVES DE CHUTE DES MONTRES SEGER

Nos	Tempé- rature approxi- mative	Nos	Tempé- rature approxi- mative	Nos	Tempé- rature approxi- mative	Nos	Tempé- rature approxi- mative
022	600°	07 a	960°	9	1280°	29	1650°
021	650°	06 a	980°	10	1300°	30	1670°
020	670°	05 a	1000°	11	1320°	31	1690°
019	690°	04 a	1020°	12	1350°	32	1710°
018	710°	03 a	1040°	13	1380°	33	1730°
017	730°	02 a	1060°	14	1410°	34	1750°
016	750°	01 a	1080°	15	1435°	35	1770°
015 a	790°	1 a	1100°	16	1460°	36	1790°
014 a	815°	2 a	1120°	17	1480°	37	1825°
013 a	835°	3 a	1140°	18	1500°	38	1850°
012 a	855°	4 a	1160°	19	1520°	39	1880°
011 a	880°	5 a	1180°	20	1550°	40	1920°
010 a	900°	6 a	1200°	26	1580°	41	1960°
09 a	920°	7	1230°	27	1610°	42	
	940°	8	1250°	28	1630°		

5° AU PYROMÈTRE

Dans beaucoup d'ateliers, on se contente encore très souvent de l'appréciation des températures **au jugé**. Certains ouvriers trempeurs très expérimentés peuvent même distinguer vers 800° des écarts de température de l'ordre de 20°, mais aux températures plus basses ou plus élevées la précision diminue dans de larges proportions. Aussi ne saurions-nous trop recommander l'emploi du plus précis des contrôleurs de température : le **pyromètre**.

L'utilisation du pyromètre est la façon la plus **scientifique** d'obtenir les valeurs exactes des températures élevées.

Le pyromètre actuellement le plus utilisé est le **pyromètre à couple thermoélectrique** (fig. 195).

PYROMÈTRE A COUPLE THERMOÉLECTRIQUE

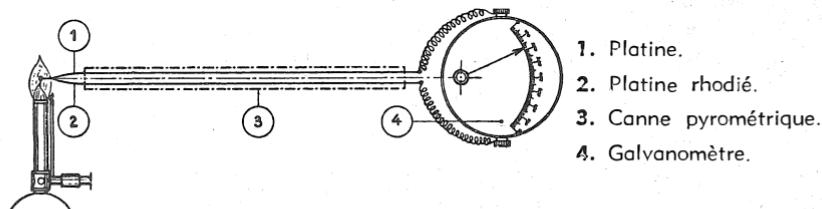


Fig. 195

Principe du couple thermoélectrique. — Si l'on soumet deux métaux différents, en contact ou soudés, à l'action d'une source de chaleur et que l'on réunisse les deux extrémités libres de ces métaux aux bornes d'un galvanomètre, il se produit dans le circuit une différence de potentiel électrique d'autant plus élevée que la température de la source de chaleur est plus importante. Cette d.d.p. fera dévier, dans les mêmes proportions, l'aiguille du galvanomètre. C'est ce principe qui régit les pyromètres thermoélectriques.

Les trois couples les plus employés sont les suivants, par ordre de valeur croissante :

Fer-constantan,	jusqu'à.....	800°
Nickel-chrome,	jusqu'à.....	1100°
Platine-platine rhodié,	jusqu'à.....	1600°

Le **constantan** est un alliage de cuivre et de nickel à 55 % de Cu, fondant à 1250°. Il est très employé pour la fabrication des résistances électriques.

Le **rhodium** est un métal de la famille du platine possédant une teinte rose. Il a l'aspect de l'aluminium et est ductile et malléable au rouge seulement, son point de fusion est de 2000°. Avec le platine, il forme des alliages infusibles et inattaquables.

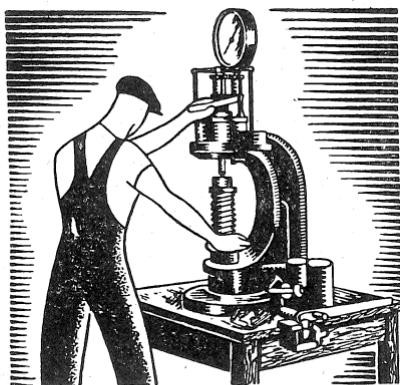
Les pyromètres à couple sont toujours composés, d'une part, d'une **canne pyrométrique** ou d'une **griffe pyrométrique** destinée à être placée dans l'élément chauffant et, d'autre part, d'un **appareil visuel** ou **enregistreur** dégagé de cet élément et indiquant cette même température ; le tout est relié par un conducteur électrique.

Canne pyrométrique. — C'est le dispositif protecteur du couple, évitant l'altération pouvant provenir du milieu dans lequel il est appelé à être utilisé (bains de sels, métal fondu, air vicié).

Les températures données par les pyromètres à couple thermoélectrique peuvent s'étager de 0° à 1600°.

Pyromètres optiques. — Nous concevons aisément que la canne pyrométrique n'est susceptible de mesurer que la température de l'élément gazeux entourant la pièce et non la température de la pièce elle-même. L'utilisation de pyromètres particuliers remédie à cet inconvénient : ce sont les pyromètres optiques de **Le Chatelier** et **Féry**, qui mesurent l'intensité de la radiation rouge émanant de la pièce en cours de chauffage. Dans ce cas, la soudure du couple thermoélectrique est placée au foyer du dispositif optique d'une lunette visant à distance la source calorique.

Un autre type de **pyromètre optique** utilise la comparaison de couleur d'incandescence entre la source calorique et le filament d'une ampoule logée dans une lunette d'observation. Le rhéostat de commande de l'intensité lumineuse est gradué en degrés par comparaison. Cet appareil, appelé « **à disparition de filament** », fournit la température de la source calorique lorsque l'observateur n'aperçoit plus la différence de teinte entre le filament et le foyer.



26. TRAITEMENTS THERMIQUES ET THERMOCHIMIQUES DES MÉTAUX FERREUX

GÉNÉRALITÉS

Avant d'aborder l'étude des **traitements thermiques et thermo-chimiques des métaux ferreux**, il est indispensable de comprendre les phénomènes qui sont à la base du changement de structure du métal au fur et à mesure de son élévation de température.

Ces phénomènes, aboutissant aux **points de transformation**, sont d'ordinaire fort complexes, mais seront traités ici le plus simplement possible.

POINTS DE TRANSFORMATION DES ACIERS

Définition. — On appelle points de transformation des aciers

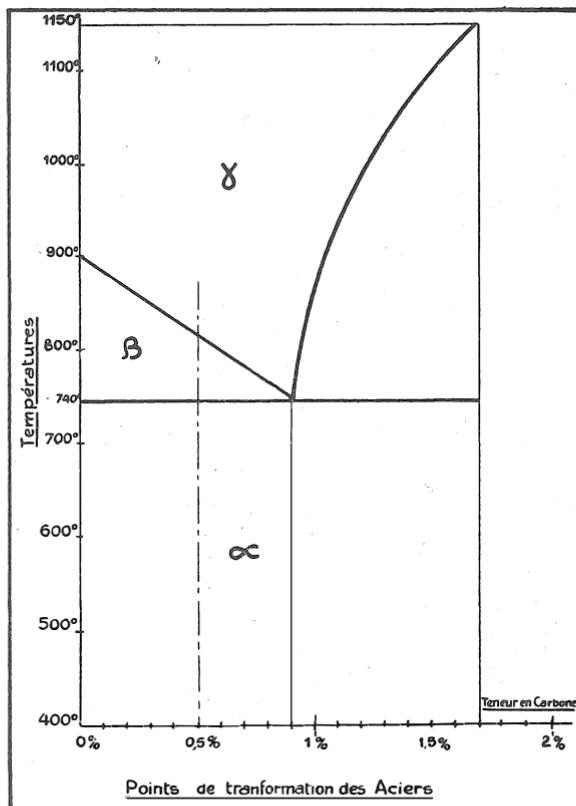


Fig. 196

Les températures précises par lesquelles passe le système **fer-carbone** pour changer de structure.

Pour les **acières au carbone**, ces températures correspondent à trois états particuliers du fer :

a) Au-dessous de **740°**, le fer α (alpha) est magnétique, mais ne dissout pas le carbone ; cette température est celle du premier point de transformation ;

b) Entre **740°** et **860°**, le fer β (bêta) perd son magnétisme mais ne dissout pas encore le carbone ; à cette dernière température correspond le deuxième point de transformation ;

c) Au-dessus de **860°**, le fer acquiert l'état γ (gamma) ; son magnétisme a complètement disparu, mais il possède alors la grande qualité de **dissoudre le carbone**, c'est-à-dire de se transformer en **carbure**.

Traitements thermiques Trempe – Revenu – Recuit

GÉNÉRALITÉS

On modifie la structure d'un métal et, par suite, on change ses **caractéristiques mécaniques** en lui faisant subir un **traitement thermique** qui est un changement brusque ou lent de température, dans des conditions particulières.

Les traitements thermiques prennent trois formes différentes :

1^o La **trempe** ; 2^o Le **revenu** ; 3^o Le **recuit**.

1^o Trempe

DÉFINITION

La **trempe** pour un **acier au carbone** (teneur > 0,7 %) est un traitement thermique consistant à le chauffer à une température correspondant à son **point de transformation** le plus élevé, c'est-à-dire 760° à 820°, puis à le faire refroidir plus ou moins brusquement afin de lui permettre de conserver à froid la **structure particulière** qu'il avait acquise à **haute température**.

Modifications apportées par la trempe aux caractéristiques mécaniques des aciers. — La trempe augmente la charge de rupture et la dureté, mais diminue par contre les allongements, la striction et la résistance au choc (résilience).

PRATIQUE DE LA TREMPE

Chauffage du métal. — Avant de placer la pièce en plein feu, avoir soin de la réchauffer à l'ouverture du four jusqu'au **jaune naissant**, ceci pour éviter les tensions internes pouvant être provoquées par un passage brutal de basse à haute température. Ensuite, **chauffer lentement** jusqu'au rouge sombre, puis activer rapidement la chauffe jusqu'au point de transformation le plus élevé. On évite ainsi la **décarburation** qu'un long maintien à haute température aurait provoqué.

Pour prévenir l'**oxydation** des pièces, éviter de les mettre en contact direct avec la flamme. Si l'on ne dispose pas de fours appropriés, placer la pièce à l'intérieur d'un tube d'acier lui-même noyé dans le feu de la forge.

Un autre moyen plus **énergique**, permettant d'éviter l'**oxydation**, consiste à plonger les pièces dans un bain composé de **chlorure de sodium** 98 % et de **carbonate de sodium** 2 %, mélange fondant à 500° et pouvant être porté jusqu'à la température de 1200°. A la sortie du bain de chauffage, il se forme sur les pièces une pellicule les protégeant contre toutes les oxydations, pellicule disparaissant après trempe par brossage énergique.

TEMPÉRATURES DE TREMPE

Les **acières au carbone** servant à la fabrication des outils contiennent généralement de **0,7 à 1,5 %** de **carbone** allié à de petites quantités de **manganèse** et de **silicium**. Ils doivent être trempés à une température qui ne doit pas dépasser de plus de 30° le point de transformation utile (785°), ce qui donne **815°**.

Les **acières à coupe rapide** doivent être chauffés lentement jusqu'à 850° à 900°, en laissant tout le temps voulu pour que la chaleur pénètre jusqu'au cœur de l'outil, puis de 900° à une température voisine de la fusion **1.300° à 1.400°** accélérer rapidement la chauffe jusqu'à ce que ses angles se ramollissent. Le refroidissement peut être pratiqué soit à **l'air**, soit dans un **bain de plomb**.

Fluides de trempe. — Les déformations inhérentes à la trempe peuvent être atténuées sérieusement tout d'abord par la composition des fluides de trempe et ensuite par la façon d'y plonger les pièces.

- a) **Trempe à l'eau : Energique** dans l'eau acidulée, plus douce dans l'eau portée à une faible température 50° à 60°;
- b) **Trempe à l'huile : Trempe douce** par excellence, c'est la plus couramment employée;
- c) **Trempe dans un bain d'eau** recouvert d'une couche d'huile atténuant la brutalité de la trempe;
- d) **Trempe dans un bain de plomb** porté à la température voulue : c'est également une **trempe douce**;
- e) **Trempe à l'air** : Jet d'air comprimé utilisé pour les outils à coupe rapide (trempe plus douce que celle à l'eau);
- f) **Trempe au suif** : Trempe douce.

Défauts de trempe. — Les défauts de trempe sont généralement provoqués par des irrégularités de chauffage, ils sont les suivants :

Le **brûlage**, provenant d'un surchauffage prolongé qui modifie la structure cristalline du métal par grossissement des grains, tout en diminuant leur cohésion.

La **décarburation**, neutralisant les effets de trempe ; elle est provoquée par des réchauffages trop fréquents de l'acier.

L'**oxydation** est à éviter si l'on veut obtenir une trempe énergique ; en effet, les traces d'oxydes provenant d'un chauffage non protégé isolent le métal de son fluide de trempe.

Les **tapures** sont des sortes de fissures au sein des pièces trempées dues à des tensions internes causées par une irrégularité de dilatation ou de refroidissement lors de l'opération de trempe.

Précautions à prendre contre les déformations. — Pour les pièces longues et minces, avoir soin de les plonger dans le bain **en bout** afin d'éviter le raccourcissement des fibres de la face inférieure avant celles de la face supérieure provoquant ainsi le cambrage de la pièce. Prendre la précaution, après immersion, d'agiter constamment la pièce dans le bain pour empêcher la formation de vapeur d'eau, isolant l'action de trempe.

2^e Revenu

DÉFINITION

Le **revenu** est un traitement thermique qui consiste à **réchauffer** l'acier après trempe afin de lui faire perdre graduellement sa dureté primitive et sa fragilité. Il **atténue donc les effets de la trempe**.

On obtient ainsi des duretés intermédiaires très intéressantes, correspondant à des utilisations très diverses. Le revenu pratiqué à la température de 285° pour les aciers au carbone leur communique une **élasticité** maximum.

DIFFÉRENTS MOYENS DE PRATIQUER LE REVENU

Un revenu peut être conduit soit :

- a) Au jugé,
- b) Dans un bain d'huile,
- c) Dans un bain de sable ou de grès,
- d) A l'air,
- e) Dans un bain de sels fusibles.

a) **Au jugé** : Nettoyer avec soin la pièce par polissage au papier émeri. Ne pas souiller la surface polie avec les doigts. Chauffer ensuite lentement avec une petite flamme de chalumeau afin de faire apparaître sur cette surface une légère oxydation caractérisée par un changement de teinte du métal :

225° jaune paille,	260° brun,
240° jaune foncé,	275° violacé,
243° ambre,	285° indigo,
315° bleu.	

A partir de cette dernière température, les aciers ordinaires au carbone sont détremplés.

Quand la température correspondant au revenu souhaité est atteinte, **immerger la pièce dans l'huile** pour arrêter le traitement thermique.

b) **Dans un bain d'huile** : On emploie pour cette méthode de revenu des huiles spéciales supportant sans brûler la température de 300°.

Les pièces sont posées dans un bac percé de trous, que l'on immerge à l'intérieur du bain d'huile porté à la température désirée.

Quand le revenu est opéré, on trempe le bac et son contenu soit dans de l'eau, soit dans de l'huile, froides.

c) **Dans un bain de sable ou de grès** : Porter le sable ou le grès contenu dans un récipient à la température de revenu convenable. Les pièces y étant noyées, laisser dépasser une face afin de contrôler les teintes.

D'une façon plus rationnelle et plus moderne, on peut utiliser des fours spéciaux avec cylindres rotatifs contenant du sable ; ce sable, tamisé, est déversé régulièrement sur les pièces et leur communique ainsi avec sa température une teinte de très bel aspect accentuée encore par le bain d'huile dans lequel on les plonge.

d) **A l'air** : Revenu qui consiste à laisser séjourner les pièces dans l'ambiance chaude d'un four à gaz chauffé extérieurement. Le revenu est ensuite arrêté comme précédemment dans l'huile.

e) **Dans un bain de sels fusibles** : Les sels employés sont généralement l'azotate de potassium et l'azotate de sodium, dont le dosage variable permet d'obtenir, à la fusion, des températures de revenu correspondant aux proportions du mélange.

EXEMPLES :

a)	Azotate de potassium.....	0	280°
	Azotate de sodium.....	100	
b)	Azotate de potassium.....	50	145°
	Azotate de sodium.....	50	
c)	Azotate de potassium.....	100	335°
	Azotate de sodium.....	0	

Les pièces sont immergées dans ces bains de sels en fusion et la légère cristallisation constatée au début de l'opération à la surface des pièces disparaît quand celles-ci ont atteint la température de fusion du bain. (Moyen visuel très pratique pour retirer les pièces au moment voulu.)

REVENU A CŒUR

On appelle **revenu à cœur** un revenu pour lequel l'appoint de température nécessaire à l'opération est pris sur la partie de la pièce incomplètement refroidie.

Ainsi, pour certains **outils de choc** (burins, bédanes, etc.), le refroidissement du rouge cerise est fait sur une courte longueur et, après polissage rapide à l'extrémité, la température emmagasinée à l'arrière et au cœur du métal s'écoule lentement vers l'extrémité; quand la couleur du revenu est acceptable, on immerge dans l'eau.

REVENU DES ACIERS FONDUS ET DES ACIERS A COUPE RAPIDE

Généralement, le revenu doit être pratiqué sur les **acières fondus** et les **acières durs**, diminuant ainsi sérieusement leur fragilité.

Les aciers mi-durs à outils peuvent être utilisés dans leur **trempe vive** (la proportion de carbone étant moins importante).

Les **acières à coupe rapide** voient leurs caractéristiques mécaniques sérieusement améliorées par le **revenu**. Suivant la teneur en **tungstène** on opérera à une température variant entre **400°** et **600°**.

3^e Recuit

DÉFINITION

Le **recuit** consiste à réchauffer un métal jusqu'à son point de transformation le plus élevé et à le laisser refroidir lentement, afin de lui permettre de reprendre un état stable d'avant un traitement thermique ou mécanique.

Le **recuit** aboutit donc à deux résultats :

- Après un **traitement thermique** de durcissement, il redonne à l'acier ses caractéristiques mécaniques primitives ;
- Après un **traitement mécanique**, il détruit presque complètement les tensions internes provoquées par l'**écrouissage**.

De plus, le **recuit** améliore sérieusement les aciers, il les rend moins fragiles et de structure moins cristalline.

PRATIQUE DE L'OPÉRATION

Chauder les pièces à recuire avec précaution soit sur un feu de forge, soit dans un four à recuire, soit à l'intérieur de **boîtes étanches** remplies de **charbon de bois** (pièces fragiles) et placées à l'intérieur de ces fours. Puis laisser refroidir lentement à l'abri de l'air.

La pièce retrouve ainsi, après complet refroidissement, ses caractéristiques mécaniques d'avant la trempe ou d'avant l'écrouissage.

RECUIT DES MÉTAUX NON FERREUX

a) **Cuivre.** Chauffer jusqu'au rouge sombre avancé (700°), puis refroidir brusquement par immersion totale dans l'eau froide.

b) **Laiton.** Chauffer jusqu'au rouge sombre naissant (550°), puis laisser refroidir lentement jusqu'aux environs de 100° , plonger alors dans l'eau froide pour activer l'opération.

c) **Aluminium et Duralumin** (métaux légers en général). **Tem-
pérature de recuit, 400° .** Trois procédés peuvent être utilisés :

Savon blanc : Après avoir exécuté quelques traînées de savon de Marseille, nous nous arrêterons en cours de chauffage à la teinte suivante : noir mat (400° à 450°) ;

Huile de ricin : Après avoir étalé sur la pièce à recuire quelques gouttes d'huile de ricin, on arrêtera le chauffage à la teinte suivante : noir franc (400°) ;

Sciure de bois : Prendre de la sciure de bois fine et sèche et en déposer quelques pincées sur la pièce en période de chauffage ; on suspendra celui-ci entre un dégagement de fumée moyen et l'apparition de petits points rouges.

Traitements thermochimiques

Cémentation – Nitruration – Malléabilisation

GÉNÉRALITÉS

Les traitements thermochimiques font appel, d'une part, à une élévation de la température du métal et, d'autre part, à l'utilisation dans certaines conditions d'éléments chimiques particuliers : **carbone, azote et oxygène.** Ces derniers modifient superficiellement la structure moléculaire du métal et permettent d'obtenir des pièces soit à **âme douce et périphérie dure**, soit à **âme dure et périphérie douce.**

Les traitements thermochimiques prennent trois formes distinctes :

1° La **cémentation** ; 2° La **nitruration** ; 3° La **malléabilisation**.

1° Cémentation

DÉFINITION

La **cémentation** est un **traitement thermochimique** qui consiste à carburer superficiellement un acier doux afin de lui permettre

de prendre la trempe, cette trempe ne pouvant agir que sur une mince couche de la périphérie.

La cémentation a le gros avantage de permettre après trempe le durcissement des parties extérieures des pièces, évitant ainsi l'usure, tout en leur conservant une âme douce, à l'abri des ruptures.

PRATIQUE DE L'OPÉRATION

Les pièces devant être cémentées sont, en général, faites avec de l'**acier de cémentation** ne contenant pas plus de **0,1 à 0,12 % de carbone**. Elles sont rangées dans des boîtes en tôle ou en fonte fermées à la terre réfractaire. On a soin de séparer les pièces l'une de l'autre par une épaisseur de **cément** de 10 à 20 mm. Ces boîtes sont ensuite portées à l'intérieur d'un four à une température variant entre **800° et 900°**. Cette température permet l'absorption par la pièce d'une certaine quantité de carbone contenu dans le cément. La vitesse de pénétration du cément est d'environ **1/10 de mm par heure** de chauffage.

On laisse ensuite la température du four tomber aux environs de **750°** et on trempe immédiatement les pièces dans l'eau (trempe primaire).

En les laissant refroidir pour les tremper plus tard, on obtient une trempe secondaire.

On peut avoir besoin de pratiquer sur les pièces à cémenter des **réserves** (parties devant rester douces). Pour cela on prévoit à l'emplacement désiré une **surépaisseur de métal** que l'on fait disparaître entre cémentation et trempe. Un **dépôt de cuivre**, obtenu par électrolyse sur les réserves, permet d'obtenir le même résultat.

Un procédé de cémentation rudimentaire, mais qui, malgré tout, est couramment employé dans les ateliers, consiste à chauffer les pièces à cémenter jusqu'au rouge cerise, puis à les tremper dans de la poudre de cément plusieurs fois consécutives, avec réchauffage intermédiaire, et ensuite à pratiquer l'opération de trempe rapidement. Cette façon de procéder donne d'assez bons résultats, le **cément** utilisé étant composé de **cyanure** réduit en poudre.

NOTA. — Les **éléments d'addition** dans les **acières alliés** modifient l'opération de cémentation comme suit :

La teneur en carbone n'a aucune influence sur la rapidité de l'opération. Au contraire, le manganèse, le chrome, le vanadium

avancent la cémentation, tandis que le nickel, le silicium et l'aluminium la retardent.

CÉMENTS

Les céments existent sous trois formes différentes :

- a) Les céments solides,
- b) Les céments liquides,
- c) Les céments gazeux.

a) **Céments solides**, constitués comme suit :

1. — **Charbon de bois** 60 %, **carbonate de baryum** (CO_3Ba) 40 % ; c'est le plus utilisé.

2. — Mélange de charbon de bois et de carbonate de sodium (Na_2CO_3).

3. — Charbon de bois 90 % et chlorure de sodium (NaCl) 10 %.

4. — Ferrocyanure de potassium ou prussiate jaune, pouvant être mélangé avec du charbon de bois pour recouvrir par saupoudrage des pièces destinées à être légèrement cémentées.

5. — Toutes matières organiques contenant à la fois du carbone et de l'azote (corne grillée, vieux cuir, fèves concassées).

b) **Céments liquides** : Au nombre de deux, ce sont les suivants :

Le **cyanure de potassium fondu** (KCN) dans lequel on suspend les pièces en les immergeant. Le bain doit être porté entre 850° et 900° . Le récipient contenant le cément liquide est placé dans un four spécial. La vitesse de pénétration de l'élément de carburation varie de 0,3 mm à 0,4 mm par heure d'immersion. Un refroidissement à l'eau ou à l'huile termine le traitement.

Le **ferrocyanure de potassium** délayé dans une colle avec laquelle on enduit la pièce avant de la déposer dans une boîte garnie de charbon de bois.

c) **Céments gazeux** : Le **gaz d'éclairage** et les **vapeurs de pétrole** permettent de cémenter de grandes surfaces, mais l'élément le plus employé actuellement est le **gaz acétylène** (C_2H_2). On utilise à cet effet un chalumeau oxyacétylénique dont on accroît le débit d'acétylène. Après avoir porté la pièce à une température voisine de 900° , on lèche la surface à cémenter avec le panache de la flamme. La vitesse de pénétration du cément gazeux est très rapide :

0,1 à 0,2 mm par minute. Le refroidissement procurant la trempe superficielle est ensuite opéré comme précédemment.

Voici quelques appellations réservées à des cémentation particulières :

- a) Cémentation au **soufre**, à l'**azote** et au **carbone** (Sulf-Inuz) ;
- b) Cémentation au **chrome** (chromisation) ;
- c) Cémentation au **silicium** (siliciuration) ;
- d) Cémentation à l'**aluminium** (calorisation) ;
- e) Cémentation au **zinc** (shérardisation) ;
- f) Cémentation au **bore** (boruration).

2^o Nitruration

GÉNÉRALITÉS

La cémentation donne d'assez bons résultats pour des pièces de formes simples, mais, pour certaines pièces d'aspect complexe et fragile, l'opération de trempe après cémentation provoque parfois des déformations sérieuses.

On a alors recours à la **nitruration**, opération basée sur le principe suivant : **le fer absorbe facilement l'azote** quand il est soumis à l'action d'un courant de **gaz ammoniac** et cela à une certaine température (1).

Les **aciés ordinaires**, ainsi que les **aciés alliés**, ayant absorbé de l'azote, subissent, à **500°**, un **durcissement superficiel** dû à la formation d'une combinaison **fer-azote** qui peut prendre les formes suivantes :

- a) Le nitrure Fe^2N contenant 11,1 % d'azote ;
- b) Le nitrure Fe^4N contenant 5,9 % d'azote ;
- c) Une solution solide à faible teneur en azote.

Pour les aciers dits de nitruration au **molybdène aluminium** ou au **chrome aluminium**, le durcissement périphérique peut être considérable et l'action de l'azote est limitée à une couche de faible épaisseur. Elle est, d'ailleurs, tout à fait progressive, de sorte que la couche durcie est solidement liée au noyau.

(1) Certains éléments d'addition tels que l'**aluminium**, le **chrome**, le **tungstène**, le **molybdène**, se combinent également à l'azote pour former des **nitrures**.

Comparaison entre la cémentation et la nitruration

Cémentation

Dureté superficielle :

HB = 750

à 800 unités Brinell

Diminution de la dureté à partir de 140° pour l'acier au carbone.

Après cémentation, les pièces doivent être trempées, ce qui provoque parfois des déformations importantes.

Nitruration

Dureté superficielle :

HB = 1.100

à 1.200 unités Brinell

Conservation de la dureté jusqu'à 500°.

Après nitruration, aucune trempe n'est nécessaire. Nous observons simplement un léger gonflement ne dépassant pas 2/100 de mm.

Nous remarquons dans l'exemple précédent qu'**aucune trempe n'est nécessaire** après l'opération de durcissement s'effectuant aux environs de 500°, c'est-à-dire à une température beaucoup plus basse que celle qu'exige le procédé de cémentation.

Mais la nitruration ne doit avoir lieu qu'après un **traitement thermique approprié** (trempe à l'huile suivie d'un revenu à 550°), permettant ainsi le travail de la pièce à nitrurer dont la résistance à la rupture R doit être voisine de **90 kg**.

PRATIQUE DE L'OPÉRATION

L'opération de nitruration doit durer, selon les cas, de **10 à 90 heures**; ce dernier temps valable pour des pièces ayant une grande usure, la bonne moyenne est de **50 à 65 heures**.

Elle a lieu à l'intérieur d'un four électrique équipé de façon à assurer une température parfaitement régulière.

Les pièces à traiter sont placées dans une **cuvette en acier allié** que l'on introduit dans le four et dans laquelle circule un courant de gaz ammoniac provenant d'une bouteille d'ammoniaque liquide.

Les **acières nitrurés** ont une **très grande dureté** et une **très grande résistance à l'usure**. Ils sont **inoxydables** à l'air humide et à l'eau douce.

PROTECTION CONTRE LA NITRURATION (Réserves)

Elle consiste en un simple étamage : après avoir découpé la partie à étamer, on plonge cette partie dans un bain d'étain ou

d'alliage plomb-étain. On brosse ensuite énergiquement pour ne laisser aucun excès d'étain sur la pièce.

L'étamage et le nickelage électrolytique peuvent également être utilisés. Il existe des pâtes de protection à base d'étain pouvant s'étendre au pinceau ou au pistolet.

Organes de machines ou d'appareils ayant intérêt à être cémentés ou nitrurés :

Engrenages, Vilebrequins, Arbres à cames, Chemises de cylindres, Plateaux d'embrayage, Roulements à rouleaux, Matrices d'outils à découper ou à emboutir, Distributeurs à soupape de moteurs à vapeur, Cales Johannson, etc.

3° Malléabilisation

GÉNÉRALITÉS

La fonte ordinaire n'est pas élastique, mais elle présente les plus grandes facilités de moulage. Aussi, pour profiter de cet avantage et obtenir des pièces mécaniques suffisamment élastiques, on transforme la fonte de moulage en un métal plus souple, par **malléabilisation**, d'où l'appellation de **fonte malléable**.

La malléabilisation consiste donc à rendre moins fragile une pièce en fonte blanche qui, pratiquement, ne pourrait être usinée. Après ce traitement thermique spécial qui lui procure une **croûte plus douce**, son usinage superficiel peut être exécuté dans d'excellentes conditions.

Une pièce en fonte malléable possède donc un **œur dur** (forte teneur en carbone) et une **périphérie douce** (faible teneur en carbone). C'est l'inverse d'une pièce cémentée ou nitrurée.

PRINCIPE

La **malléabilisation** est une opération de **décarburation périphérique** exécutée à haute température en présence de corps riches en oxygène et, par suite, avides de carbone (réduction). L'oxygène de ces corps se combinera avec le carbone des pièces traitées en formant de l'**oxyde de carbone (CO)**. Le traitement thermique sera arrêté quand la couche décarburée sera suffisante.

Les éléments utilisés sont toujours des **oxydes de fer** (hématite neuve ou vieille) ou encore des tournures de fer ou d'acier doux oxydées (battitures).

Conduite de l'opération

Les pièces à traiter sont toujours en **fonte blanche**. Après avoir été refroidies, elles sont placées dans des caisses métalliques semblables aux caisses de cémentation et entourées de 25 % de minerai neuf et 75 % de vieux minerai. La température est élevée jusqu'aux environs de 950° pendant 30 à 100 heures. Un refroidissement très lent suit l'opération de chauffage.

Produits obtenus

Selon la température du four et le temps de chauffage des caisses, deux variétés de fonte malléable peuvent être obtenues :

a) La fonte malléable **européenne** dite à **cœur blanc** est produite entre 950° et 980° après un temps de chauffage variant de 30 à 100 heures. Ce traitement est plus spécialement utilisé pour les pièces dont les parois ne sont pas supérieures à 10 mm. $R = 25 \text{ à } 30 \text{ Kg/mm}^2$.

b) La fonte malléable **américaine** dite à **cœur noir** produite entre 875° et 930° après une durée de chauffage de 60 heures et un refroidissement lent (2° à 7° par heure). $R > 40 \text{ Kg/mm}^2$. $A \% = 15 \%$. Ce traitement est applicable aux pièces de toutes épaisseurs.

Utilisation

La malléabilisation peut être effectuée sur toutes les pièces moulées en fonte blanche devant subir un usinage de faible profondeur (dressage, fraisage, perçage, etc.). Ces pièces sont surtout utilisées dans l'industrie de la machine agricole et de l'automobile, en petite mécanique et dans la fabrication d'accessoires de chauffagé central : manchons, raccords, coudes, etc. Signalons qu'actuellement l'**acier matricé** remplace peu à peu la fonte malléable dans de nombreuses utilisations.

Contrôle des traitements thermiques et thermochimiques

GÉNÉRALITÉS

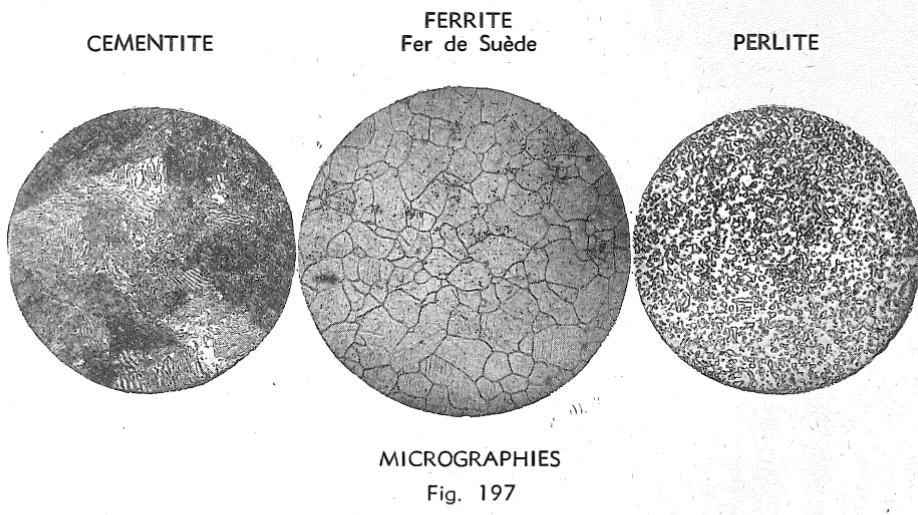
Le système **fer-carbone** ayant subi un traitement thermique ou thermochimique quelconque, suivi d'une préparation particulière, fait apparaître au microscope un certain nombre de constituants variables suivant le traitement opéré.

Cette préparation consiste en un **polissage soigné** de la surface de l'échantillon à étudier, une **attaque à l'acide** complétant l'opération.

MICROGRAPHIE

Le contrôle et l'étude au **microscope** des microconstituants de tous les métaux s'appellent **micrographie**. Pour l'acier, ils prennent les appellations suivantes :

- 1° **La ferrite**, qui est du fer presque pur au-dessous de 740° ;
- 2° **Le graphite**, qui est du carbone non dissous dans le fer ;
- 3° **La cémentite** ou carbure de fer, qui est une solution de carbone dans le fer ;



4° **La martensite**, constituant excessivement dur, provoqué par une trempe rapide, est également une solution de carbone dans le fer ;

5° **L'austénite**, solution de carbone dans le fer au-dessus de 860° est favorisée par un refroidissement brutal ou par la présence de nickel ou de manganèse dans l'acier (abaissement du point de transformation) ;

6° **La perlite**, alliage de ferrite et de cémentite, est favorisée par un refroidissement lent.

MÉTHODES DE CHAUFFAGE UTILISÉES POUR LA RÉALISATION DES TRAITEMENTS THERMIQUES

Le chauffage des pièces à traiter est certainement l'opération la plus délicate et la plus importante du traitement thermique proprement dit ; c'est de lui principalement que dépendra la réussite. De toute façon il sera conduit avec **lenteur** afin d'obtenir une température homogène.

Les moyens mis en œuvre pour aboutir à ce résultat sont les suivants :

1° **Chauffage direct** dans lequel la pièce ou l'outil est en contact direct avec le charbon incandescent.

a) **Feu de forge** activé par de l'air sous pression.

b) **Forge à gaz**, avec ou sans chambre de préchauffage, faisant usage également de l'air sous pression comme comburant.

2° **Chauffage indirect** utilisant le rayonnement d'une source calorique particulière.

a) **Tube d'acier chauffant** noyé dans le feu de forge ordinaire et protégeant les pièces du combustible en ignition.

b) **Moufle** en terre réfractaire chauffé au coke, au gaz ou à l'électricité.

c) **Fours électriques** avec résistances apparentes ou noyées dans les parois du four.

3° **Chauffage aux bains** utilisant une source de chaleur apportée soit par un **métal fondu** (plomb), soit par des **sels fusibles** particuliers, soit finalement par des **huiles minérales**, ces différents éléments étant portés à la température requise par les moyens ordinaires de chauffage (foyer à houille, à gaz, etc.).

4° **Chauffage en cascade** utilisé surtout pour les aciers à coupe rapide et permis grâce à des fours spéciaux comprenant deux chambres de chauffe dont les températures intérieures sont différentes. La première chambre (chauffage lent ou préchauffage) atteint 600° à 700°, quant à la seconde, amenant la pièce **rapidement** à sa température définitive, elle peut voisiner 1300° pour la trempe de certains **acières à coupe rapide supérieure**.

27. ASSEMBLAGES

GÉNÉRALITÉS

Les assemblages de pièces mécaniques peuvent être exécutés de trois façons différentes :

1^o Les **assemblages démontables** les plus couramment utilisés en ajustage et groupant les montages par **vis**, par **boulons, écrous et rondelles**, par **clavettes, par goujons, par goupilles**, etc. (1).

2^o Les **assemblages admettant un glissement des pièces** les unes par rapport aux autres; ce sont les **bielles, les cames, les glissières, etc.**

3^o Les **assemblages permanents** ne tolérant aucun démontage mécanique ; ils s'appellent : **agrafage, rivetage et soudure.**

L'agrafage et le rivetage, qui sont des formes d'assemblage de plus en plus répandues, doivent faire l'objet de quelques précisions :

Agrafage. — L'agrafage des pièces métalliques a pour effet d'assembler leurs bords à l'aide de replis façonnés préalablement. Les bords sont alors **accrochés** l'un à l'autre puis ensuite aplatis par serrage. Ces opérations successives sont pratiquées sur des presses équipées avec des outils à découper et à emboutir. L'industrie du jouet utilise couramment cette méthode particulière.

Rivetage. — Le rivetage a pour but d'assembler deux ou plusieurs tôles par des rivets, ou deux pièces par écrasement de l'extrémité de l'une dans un logement pratiqué sur l'autre.

L'opération consiste à engager une sorte de clou en métal tendre appelé **rivet** dans des trous préalablement exécutés sur les pièces à assembler. L'**épanouissement** de la partie cylindrique débordante exécutée à froid ou à chaud serre énergiquement les parties à assembler. La tête ainsi formée à l'aide d'une **bouterolle**, sphérique ou cylindrique, consolide sérieusement l'assemblage.

Les rivets peuvent être exécutés en **acier doux**, en **cuivre**,

(1) Les formes et dimensions de ces éléments d'assemblage sont plus spécialement traitées dans un cours de **Normalisation de Dessin industriel**.

en **aluminium** ou en **duralumin**. Leur mode de répartition dépend uniquement du résultat à obtenir (joints étanches, charpentes métalliques, etc.). Dans la mécanique moderne, les rivets sont posés à froid jusqu'à 12 mm au diamètre ; au-dessus, l'opération du rivetage a lieu au rouge cerise. Pour des travaux importants sur chantiers, on utilise avec succès les **riveuses pneumatiques**.

SOUUDURE

Nous passerons successivement en revue, dans ce chapitre :

- 1^o La **soudure à l'étain** ou soudure tendre ;
- 2^o Le **brasage** ou soudure forte ;
- 3^o La **soudure autogène** ou oxy-acétylénique ;
- 4^o La **soudure électrique** à l'arc et par points ;
- 5^o L'**aluminothermie**.

GÉNÉRALITÉS

La **soudure à l'étain** et le **brasage** consistent à interposer entre les faces respectives de deux ou plusieurs pièces un **ciment métallique** fondant à une température nettement inférieure à celle des blocs à assembler. Le ciment étant porté avec les pièces à sa température de fusion coule sur leurs surfaces de contact et, en se solidifiant, les rend solidaires l'une de l'autre. On assemble ainsi les métaux suivants :

Fer, acier, cuivre et ses alliages, nickel, plomb, argent et or.

L'aluminium est très rebelle à la soudure à basse température, qui n'est la plupart du temps qu'un simple collage. Mais, par contre, il se soude très bien au chalumeau par fusion et solidification des bords à réunir (soudure oxy-acétylénique).

CIMENTS MÉTALLIQUES POUR SOUDURE ET BRASAGE

Les ciments métalliques doivent présenter deux grandes qualités :

- 1^o Avoir une température de fusion nettement inférieure à celle des métaux à assembler ;
- 2^o Etre très homogènes.

CLASSIFICATION

Il existe trois catégories de ciments métalliques :

- 1^o Ceux fondant à **basse température**, soudure proprement dite ou soudure tendre : étain ; fusion à 232°.

2° Ceux fondant à **haute température**, brasure ou soudure forte : laiton, argent ; fusion de 850° à 900°.

3° Ceux fondant à **très haute température**, soudure autogène, fonte ou fer doux ; fusion de 1200° à 1500°.

PRÉPARATION DES SURFACES

Les surfaces à souder doivent être d'une **netteté parfaite** ; il faut éliminer toute **trace d'oxyde**, de **graisse** ou de **taches de doigts**. Exclure si possible l'emploi du papier et de la toile émeri pour cette préparation. Les surfaces et abords des surfaces doivent être **grattés** soigneusement. Pratiquer si possible le **décapage**.

DÉCAPANTS

Le **décapant** réduit l'oxydation des surfaces résultant du chauffage des pièces et du ciment, il doit agir au moment de la fusion du ciment en **recouvrant** et **protégeant** celui-ci pendant la liaison des métaux.

DÉCAPAGE PRÉALABLE DES DIFFÉRENTS MÉTAUX

Le **cuivre** se décape à l'acide sulfurique à 66° Baumé, étendu de onze fois son volume d'eau. On peut également le décapier à la saumure. La pièce enduite de saumure est chauffée au rouge sombre, puis laissée à refroidir ; l'oxyde se détache à la brosse.

Le **laiton** se décape à l'acide azotique, car l'acide sulfurique le rougit.

L'**aluminium** se décape dans un bain d'acide chlorhydrique ou de soude caustique.

Le **zinc** se décape à l'acide chlorhydrique.

Le **plomb** se ravive à la lime.

1° Soudure à l'étain ou soudure tendre

COMPOSITION

Les **soudures tendres** sont formées par des alliages en proportions différentes d'étain et de plomb.

a) Soudure pour **mécaniciens** : Etain 67 %, plomb 33 %.

b) Soudure pour **plombiers** : Plomb 67 %, étain 33 %.

Celle-ci passe à la solidification par un état pâteux en facilitant l'emploi.

- c) **Soudure des zingueurs** : Plomb 70 %, étain 30 %.
- d) **Soudure des ferblantiers** : Plomb 55 %, étain 45 %.
- e) **Soudure claire** : Etain 60 %, plomb 40 %.

En **téléphonie**, on emploie couramment, pour la soudure des bobines thermiques, un alliage particulier appelé **alliage Darcret**, fondant à 94° et composé comme suit :

Bismuth 50 %, plomb 30 %, étain 20 %.

NOTA. — On appelle **alliage eutectique** un alliage fait en proportions spéciales et dont la température de fusion constante est plus basse que celle de toute autre combinaison faite en des proportions différentes.

Fabrication des alliages étain-plomb. — FONDRE le plomb d'abord, ajouter un peu de fleur de soufre et brassier pour sulfurer les traces de zinc; ajouter ensuite un peu de suif et enfin l'étain. On coule le tout en baguettes ou lingotières.

DÉCAPANTS POUR SOUDURE TENDRE

- a) Pour l'acier : **chlorure de zinc** (acide chlorhydrique décomposé), vulgairement appelé **esprit de sel**.
- b) Pour le **laiton**, le **bronze** et le **maillechort** : **sel ammoniac** en solution dans l'eau (350 gr. par litre d'eau).

On peut également employer la **résine**, la **stéarine**, les **eaux et pâtes du commerce**.

Des soudures à l'étain toutes préparées et contenant le décapant sont en vente dans le commerce sous forme de pâtes ou de tubes.

CONDUITE DU CHAUFFAGE

Tout d'abord, il faut enduire les surfaces du décapant choisi, ensuite conduire le chauffage de telle sorte que les surfaces recevant la soudure ne soient pas en contact direct avec les flammes ou avec des souillures. **Le mode de chauffage sera fonction du volume des pièces à assembler.** Nous verrons alors le ciment à l'état liquide s'étaler sur les surfaces à souder dès que la température de fusion sera atteinte ; ne pas chauffer à plus de 30 à 60° au-dessus de la température de fusion du ciment employé.

Etamage. — L'étamage des surfaces doit être exécuté sur les pièces séparées avant l'assemblage final, en veillant qu'il ne subsiste qu'une **très légère couche d'étain**. Chauffer ensuite lentement jusqu'à fusion totale du métal d'apport.

Fer à souder. — Le fer à souder est un mode de chauffage employé dans les cas nécessitant une localisation de la température, sans détériorer ni dessouder les parties voisines.

Il est d'une grande utilité en téléphonie et en radioélectricité, en permettant la soudure de toute connexion par apport d'étain avec la pointe du fer à des endroits bien déterminés et souvent très rapprochés. Autrefois, le chauffage d'un fer à souder se faisait sur un feu de charbon de bois, le **tranchant toujours en dehors du foyer**. Maintenant, le **fer à souder électrique** l'a avantageusement remplacé, tant du point de vue commodité que propreté.

Vérification. — Une **soudure** est reconnue parfaite lorsqu'elle **mouille** les bords à assembler et forme un **congé concave** et non convexe (fig. 198).

VÉRIFICATION DES SOUDURES

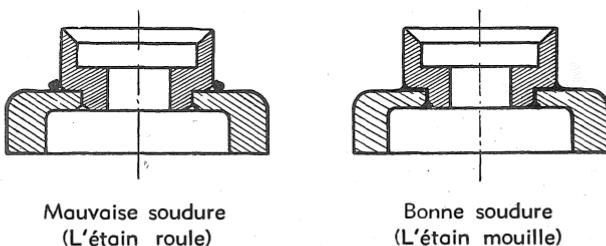


Fig. 198

Nettoyage. — Après soudure, les pièces doivent être soigneusement nettoyées à l'eau, pendant qu'elles sont encore chaudes, pour retirer plus facilement le reste de décapant qui pourrait provoquer une oxydation ultérieure.

2^e Brasage ou soudure forte

DÉFINITION

Le **brasage**, tout comme la soudure à l'étain, est une opération qui consiste à assembler deux pièces d'une façon permanente. Mais le ciment métallique servant à braser, fondant à une température bien supérieure à l'étain, permet une solidité beaucoup plus importante. Cette solidité est proportionnelle à la différence des caractéristiques mécaniques existant entre l'**étain** d'une part et le **laiton** ou **l'argent** d'autre part.

COMPOSITION

Les brasures ne fondent qu'à une température supérieure à 425° et d'autant plus élevée que l'alliage contient plus de cuivre.

1^o **Brasure tendre** : Cuivre 45 %, zinc 55 %.

2^o **Brasure demi-forte** : Cuivre 55 %, zinc 45 %.

3^o **Brasure forte** : Cuivre 57 %, zinc 28 %, étain 15 %.

4^o **Brasure extra-forte** : Pour brasure mutuelle des aciers ou des fers : Cuivre 80 %, zinc 20 %.

5^o **Brasure à l'argent** : Argent 80 %, cuivre 20 %, utilisée pour les pièces de laiton de petites dimensions. Il existe également une soudure ordinaire d'argent composée comme suit :

Argent 5 %

Zinc 20 %

Laiton 75 %

Décapant pour soudure forte : Il existe sous une seule forme : le **borax** sec ou étendu d'eau (borate de soude). Son rôle est de dissoudre les oxydes métalliques et de permettre à la brasure de couler plus rapidement.

Le **chauffage** devra être conduit avec les mêmes précautions que pour la soudure tendre.

Une **brasure** est reconnue parfaite lorsqu'elle **mouille** les bords à assembler et forme un congé **concave** et non convexe (fig. 198).

3^o Soudure autogène ou soudure oxy-acétylénique

GÉNÉRALITÉS

Une soudure est dite **autogène** lorsqu'elle est exécutée par fusion des bords à réunir, soit sans métal d'apport, soit avec un métal d'apport sensiblement de même nature que celui des pièces à assembler.

La soudure **hétérogène** est, par opposition, obtenue généralement sans fusion des bords à réunir avec des métaux d'apport différents du métal à assembler.

La chaleur nécessaire à l'opération de soudure est fournie par la combustion d'**acétylène** à la sortie du chalumeau, combustion accélérée par un jet d'**oxygène** sous pression.

C'est un procédé d'assemblage indispensable de nos jours, utilisé en chaudronnerie pour la soudure de tôles ou de tubes, dans les ateliers de réparation pour la reconstitution de pièces brisées et, en mécanique générale, pour le découpage de plaques métalliques de forte épaisseur.

FLAMME OXY-ACÉTYLÉNIQUE

La flamme oxy-acétylénique est la conséquence de la combustion d'**un volume d'acétylène** et de **deux volumes et demi d'oxygène**. C'est la seule flamme comportant, à la suite du dard sou-

dant, une zone de réduction protégeant le métal fondu de l'oxydation.

On a coutume d'évaluer la puissance de cette flamme d'après la quantité de gaz combustible (acétylène) consommée pendant une heure de marche. Ex. : 50 à 60 litres par heure.

Oxygène. — C'est l'agent accélérateur de combustion (comburant); comme tous les gaz, il est compressible et se trouve, dans le commerce, comprimé dans des tubes d'acier à la pression de **150 kg. par cm²**. Il est ainsi transportable sous un faible volume.

Acétylène. — L'acétylène est le gaz résultant de la réaction de l'eau avec le **carbure de calcium** (CaC_2). Ce dernier est obtenu en combinant au four électrique le carbone (coke) et le calcium de la chaux (CaO) à la température de 3000° .

Pour la soudure autogène, on a le choix entre les générateurs d'acétylène et l'acétylène dissous sous pression dans des bouteilles en acier dont l'intérieur poreux est imbibé d'acétone, ce qui permet l'absorption d'une grande quantité d'acétylène sous un faible volume, à la pression maximum de **15 kg. par cm²**. L'utilisation de bouteilles est particulièrement indiquée toutes les fois qu'il s'agit de travaux peu importants exigeant le transport sur place du matériel.

POSTE DE SOUDURE

Un poste de soudure autogène comporte généralement :

- a) Une **bouteille d'oxygène** avec mano-détendeur;
- b) Un **générateur d'acétylène** ou une **bouteille d'acétylène dissous**, avec mano-détendeur;
- c) Un **chalumeau** raccordé aux bouteilles par deux tuyaux très souples en caoutchouc (acétylène : rouge; oxygène : gris ou noir);
- d) Une **table de travail**;
- e) Un **masque protecteur**.

Mano-détendeur. — C'est un appareil vissé à la partie supérieure de la bouteille d'oxygène ou d'acétylène et capable d'abaisser leur pression intérieure en pression d'écoulement nécessaire à la soudure. Il comporte, en plus des organes de détente et de réglage, deux **manomètres** indiquant l'un la pression intérieure de la bouteille et l'autre la pression de débit.

Chalumeau. — Le chalumeau oxy-acétylénique est un instrument simple ressemblant extérieurement au chalumeau à gaz et réalisant, dans des conditions convenables, le mélange oxygène-acétylène. La variabilité du débit s'obtient par le simple change-

ment d'une **buse** de sortie, le réglage final se faisant à l'aide d'une **aiguille** agissant sur le passage de l'oxygène.

Voici, à titre d'exemple, les diamètres de passage des gaz dans différentes buses s'adaptant sur un chalumeau ordinaire.

Débit des buses en litres d'acétylène/heure	Diamètre de l'orifice des buses en mm.
50 litres	0,7 mm.
70 —	0,8 —
100 —	0,9 —
140 —	1,05 —
200 —	1,2 —

PIUSSANCE DE LA FLAMME

La puissance de la flamme dépend essentiellement de l'épaisseur de la pièce à souder. Elle sera donc d'autant plus grande que la pièce sera plus importante.

On utilise généralement une **puissance de chalumeau** de **100 litres/heure par millimètre d'épaisseur** du métal.

RÉGLAGE DE LA FLAMME

La flamme **oxy-acétylénique** normale est caractérisée par deux zones absolument différentes : le **dard** et le **panache**; une troisième zone moins distincte fait suite au dard, c'est la **zone réductrice**. Cette flamme ne doit être ni **réductrice**, ni **oxydante**, c'est-à-dire respectivement sans **excès d'acétylène**, ni **excès d'oxygène**.

Après allumage, on part toujours d'un excès d'acétylène que l'on réduit progressivement jusqu'à l'obtention d'une flamme stable à contours très nets (fig. 199).

La **position de la flamme** par rapport à la pièce à souder doit être telle que la distance entre le métal et la pointe du dard soit égale à la longueur de celui-ci.

MÉTAL D'APPORT

Le métal d'apport est constitué par des baguettes de métal dont la composition est fonction de celle du métal à assembler. Il doit fondre au même moment que le métal de la pièce. C'est lui qui comble le vide obtenu par chanfreinage des bords à réunir. La pureté et l'homogénéité doivent être les principales qualités d'un métal d'apport.

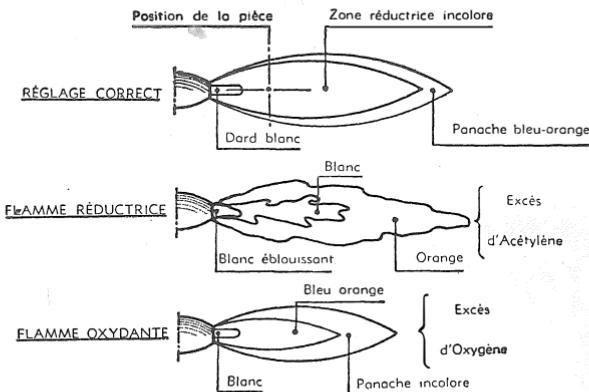


Fig. 199

Les métaux d'apport sont livrés soit en **fils ronds** pour métaux et alliages ductiles, soit en **baguettes fondues** pour les autres métaux.

Les fils étirés possèdent les diamètres suivants :
1,5-2-2,5-3-4-5-6-8-10 mm.

Ils sont tronçonnés par bouts de 1 mètre réunis en paquets de 1-2-5 ou 10 kg.

Le **diamètre de l'étiré** utilisé comme métal d'apport est donné par la formule suivante :

$$\emptyset = \frac{e}{2}$$

e étant l'épaisseur de la tôle à souder.

FORME GÉNÉRALE DES BORDS A ASSEMBLER

Suivant les épaisseurs du métal, les bords à réunir peuvent prendre les aspects représentés sur la figure 200.

POSITION DU CHALUMEAU ET DE LA BAGUETTE DE MÉTAL D'APPORT

Nous nous contenterons d'envisager la soudure ordinaire horizontale ou **soudure à gauche** qui est de beaucoup la plus utilisée.

Elle est exécutée en déplaçant le chalumeau de la droite vers la gauche. L'inclinaison de la flamme dans le sens de l'avancement devra former 45° avec la surface à souder. La baguette de métal

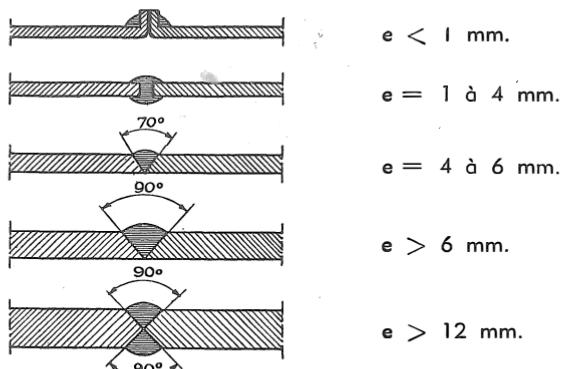


Fig. 200

d'apport, toujours tenue en avant de la flamme, sera inclinée suivant le même angle, mais dans le sens opposé (fig. 201).

SOUDURE A GAUCHE

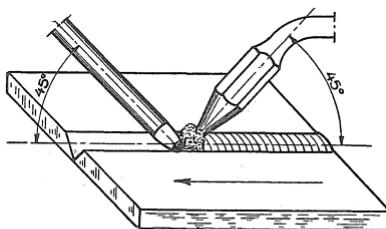


Fig. 201

QUALITÉS ET DÉFAUTS DES SOUDURES AUTOGÈNES

Pour qu'une soudure autogène soit de **bonne qualité et résistante**, il est nécessaire que la fusion des bords à assembler ait lieu sur toute l'épaisseur du métal; il est également indispensable que le métal d'apport fondu soit intimement lié au métal des pièces. Le joint soudé doit donc offrir les mêmes propriétés que le métal sur lequel il est exécuté.

Les **défauts** que peuvent comporter les soudures et qui doivent être scrupuleusement évités sont susceptibles de prendre les formes suivantes : collage; manque de pénétration; interposition d'oxyde; soufflures ; soudures insuffisamment ou trop chargées ; caniveaux.

D'autre part, la soudure autogène a la propriété de **déformer les pièces minces** qui la subissent. On lui préfère à ce sujet la **soudure à l'arc**.

DIFFÉRENTS MÉTAUX ACCEPTANT LA SOUDURE AUTOGÈNE

Actuellement, presque tous les métaux ou alliages utilisés en construction mécanique moderne se soudent ou s'assemblent dans d'excellentes conditions par le procédé oxy-acétylénique :

Aciers au carbone doux et extra-doux;
Aciers au carbone mi-durs et durs;
Aciers inoxydables;
Aciers au manganèse (Mn : 12 à 14 %);
Aciers spéciaux;
Aciers à coupe rapide (Tu 18 %);
Fontes (précautions sérieuses au point de vue retrait);
Aluminium et alliages légers (utilisation de flux décapant);
Cuivre et ses alliages : laitons et bronzes;
Nickel, plomb, étain, argent.

OXY-COUPAGE

L'oxy-coupage est un procédé de désagrégation dérivé de la soudure autogène et consistant à sectionner les métaux à l'aide d'un chalumeau spécial **oxy-coupeur**.

L'opération s'effectue par l'action d'un **jet d'oxygène pur** dirigé sur la surface du métal préalablement porté à haute température. La température de la flamme d'acétylène chauffante est voisine de **3100°**.

4^e Soudure électrique

GÉNÉRALITÉS

L'utilisation de l'énergie électrique dans toutes les branches de l'industrie ainsi que les exigences de la mécanique moderne ont permis la découverte d'une méthode de soudure basée sur la résistance offerte par un métal au passage du courant électrique.

La soudure électrique a rendu et rend chaque jour des services remarquables dans les constructions automobile, ferroviaire et aéronautique ; ajoutons que la mécanique générale et la petite mécanique n'échappent pas à ses services puisqu'elles utilisent actuellement dans de larges proportions la soudure par points qui supprime pour tous les assemblages permanents la pose onéreuse de rivets.

DÉFINITION ET CLASSIFICATION

En soudure électrique, la chaleur nécessaire à la fusion du métal est fournie par le passage d'un courant électrique de **forte intensité** à travers la résistance offerte par le contact des pièces à souder. Le dégagement de chaleur est d'autant plus important que la résistance du circuit électrique créé est plus grande.

Ce mode d'assemblage est plus spécialement réservé pour les **métaux ferreux** et les **métaux légers**.

Parmi les différents procédés de soudure électrique, nous nous contenterons d'étudier les deux principaux : la **soudure à l'arc** et la **soudure par points**.

a) SOUDURE A L'ARC

La soudure à l'arc utilise presque exclusivement le **courant continu** avec **électrode métallique**.

La **pièce à souder** constitue le pôle + du courant et l'électrode négative est formée du bâton de soudure.

Le **matériel de soudure** est composé :

- a) D'une génératrice de courant;
- b) D'une paire de câbles conducteurs flexibles;
- c) D'une pince à électrode avec raccord d'aménée de courant.

Conduite de la soudure à l'arc. — En période de travail, nous remarquerons que la température au pôle positif (pièce) est supérieure de 600° à 700° à celle du pôle négatif .

Pour constituer l'arc et créer ainsi un grande résistance de passage, les deux électrodes sont d'abord amenées en contact, la température atteint alors près de 3000° ; leur séparation provoque ensuite une succession très rapide d'étincelles qui échauffent et liquéfient le métal d'apport.

En raison de son instabilité, l'arc doit être maintenu très court (5 mm. max.) ; de plus, le déplacement de la baguette de soudure doit être aussi régulier que possible avec des mouvements latéraux réduits au minimum. L'entaille, préparée à l'avance, se remplit régulièrement de gouttelettes de métal glissant lentement du bâton de soudure; la liaison s'opère alors avec une légère fusion des bords à réunir.

On soude facilement à l'arc avec une intensité pouvant varier de 100 à 200 ampères sous 15 à 20 volts.

Pour la soudure des **métaux légers**, l'électrode négative doit être enrobée d'un **flux décapant** spécial.

Une soudure irréprochable dépend de trois facteurs essentiels :

- a) Choix judicieux d'un calibre de bâton de soudure ;
- b) Intensité de courant, fonction de l'épaisseur à souder;
- c) Inclinaison exacte et conduite régulière de l'électrode fusible.

NOTA. — La soudure à l'arc a la propriété fondamentale de ne pas déformer les pièces qui la subissent. Elle est exceptionnellement exécutée avec **électrode de charbon** et utilisation du courant alternatif pour l'assemblage de tôles épaisses.

b) SOUDURE PAR POINTS

La soudure par points est effectuée sur des machines spéciales par **contacts successifs** des pièces à souder entre deux électrodes en cuivre rouge provoquant le passage du courant; ces contacts sont toujours réalisés **sous pression**.

Le **matériel** est donc réduit ici à l'emploi de machines perfectionnées réglant à la fois l'**intensité** et la **durée** de passage du courant ainsi que la **pression** des électrodes; ces machines utilisent généralement le **courant continu**.

Conduite de la soudure par points. — La résistance de contact devant nécessairement conserver la même valeur pour tous les points, les surfaces devront être d'une **propreté parfaite**; un décapage préalable sera d'un précieux secours. Les **produits ferreux** utilisés devront obligatoirement posséder une **faible teneur en carbone**. Les **électrodes tronconiques** utilisés sont à circulation d'eau et doivent posséder un angle de pointe assez important (140° à 160°) afin d'éviter l'échauffement de leurs extrémités. Le rapprochement en est effectué soit par pédale, soit automatiquement.

Avant chaque série de soudures, il sera indispensable de raviver légèrement l'extrémité des électrodes à la lime.

Contrôle des soudures. — Pour juger de la qualité des points de soudure, il suffira d'écartier les deux parties de l'assemblage, soit à la main, soit à l'étau; si la soudure est parfaite, elle ne se sectionnera pas suivant le plan de séparation des tôles, mais se « déboutonnera » en créant un trou régulier dans l'une d'elles.

Soudure à la molette. — Dans cette méthode particulière de soudure, les électrodes sont formées par des **molettes** mues mécaniquement avec vitesse constante. Le courant d'alimentation est d'autre part interrompu suivant un rythme régulier, pour éviter un échauffement exagéré des pièces à assembler. La soudure est alors formée d'une succession de points dont l'écartement peut être réglé. Leur chevauchement peut même procurer une **fermeture étanche** (réservoirs d'essence dans l'industrie automobile). Il est à remarquer cependant que cette dernière soudure est moins résistante que la soudure par points, mais elle est supérieure au point de vue rendement.

5° Aluminothermie

Le principe sur lequel est basée l'**aluminothermie** réside essentiellement dans la **réduction des oxydes métalliques** par l'aluminium qui joue alors le rôle du carbone en métallurgie.

Pour obtenir la réduction d'un oxyde, on opère de la façon suivante : après avoir mélangé l'aluminium en grains ou en poudre avec l'oxyde à réduire, on place une **cartouche d'allumage** avec fil de magnésium à la surface du mélange. Le feu se communique alors à la masse et la réaction a lieu.

La cartouche d'allumage est formée de poudre d'aluminium et de bioxyde de baryum, ce dernier corps cédant très facilement son oxygène. La température de réaction est très élevée, elle atteint **3000°**.

Applications. — La haute température obtenue met le métal de l'oxyde en liberté et permet :

1° De **soudier** des pièces métalliques cassées ou coupées (rails, arbres, dents d'engrenages, etc.) ;

2° De **préparer des métaux** difficiles à obtenir par d'autres moyens (chrome, manganèse, tungstène, etc.) ;

3° D'utiliser le résidu de la réaction qui est le **corindon** ou alumine cristallisée artificielle (émeri).

ALUMINOTHERMIE

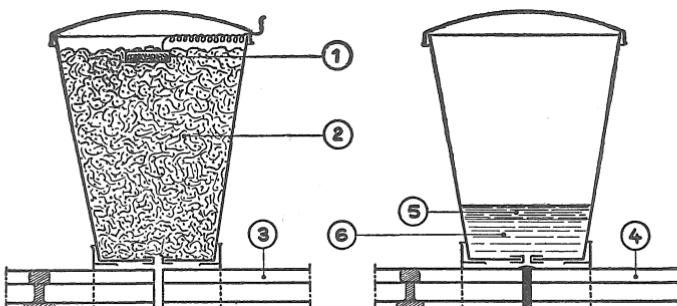


Fig. 202

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. Cartouche d'allumage. | 4. Rails soudés. |
| 2. Charge. | 5. Alumine ou corindon. |
| 3. Rails séparés. | 6. Fer fondu. |

28. DÉSINTÉGRATION DES MÉTAUX

GÉNÉRALITÉS

La désintégration de la matière par **étincelage** mise au point ces dernières années a trouvé sa place très rapidement dans les moyens modernes d'usinage.

Cette **désagrégation moléculaire** des métaux durs tels que **l'acier trempé**, **l'acier à coupe rapide** et les **carbures métalliques** s'est développée spécialement dans deux catégories de travaux impossibles à réaliser à l'outil.

- a) **Extraction des tarauds cassés** sans détériorer les filets existants ni recuire la pièce ;
- b) **Exécution de matrices en métal dur** à l'aide de dispositifs reproducteurs.

Principe

L'appareil est constitué par une **électrode creuse** fixée à l'extrémité de la tête de désintégration. L'électrode est mise en contact avec la pièce à perforez, ce qui a pour effet de fermer un circuit électrique de forte intensité et de faible tension. Un électro-aimant maintient constamment attirée vers le haut cette électrode lorsque le circuit est fermé. À la rupture du contact, une **étincelle** jaillit entre pièce et électrode, ce qui a pour effet de **désintégrer** progressivement le métal.

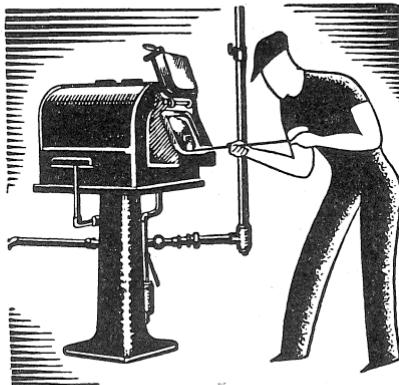
Lorsque le circuit électrique est ouvert, l'électro-aimant n'attire plus l'électrode qui retombe sur la pièce sous l'action d'un ressort ; le circuit se rétablit alors et le cycle se reproduit indéfiniment. Le **mouvement vibratoire** de l'électrode produisant la désintégration métallique est de l'ordre de **30 vibrations par seconde**. L'alimentation primaire du transformateur se situe autour de **15 ampères** sous **220 volts** alternatif.

Ce travail de désagrégation moléculaire exige une **circulation d'eau** sous pression de l'intérieur de l'électrode vers la pièce. Ce fluide liquide (pression 2 kg/cm^2) remplit un double rôle :

- a) **Oxydation** des particules en fusion, grâce à l'oxygène dégagé par la décomposition ;
- b) **Refroidissement** instantané des particules oxydées.

Tout **appareil désintégrateur** comprend :

- 1^o Une **tête de désintégration** prolongée par l'électrode de travail ;
- 2^o Un **support universel** à colonne orientable muni d'un plateau à rainures en T ;
- 3^o Un **bac de récupération** des eaux usées ;
- 4^o Un **dispositif de transformation** du courant monté sur chariot à roues caoutchoutées.



29. CALCULS D'ATELIER

Vérification des ajustages en queue d'hironde

GÉNÉRALITÉS

Tout comme pour la vérification des filets de vis, l'ajusteur a parfois de grosses difficultés pour se rendre compte exactement si les parties mâle et femelle d'un **ajustement en queue d'hironde** ont été exécutées rigoureusement selon les cotes. La destruction des angles vifs nécessitée par les exigences de l'assemblage ne permet pas en effet une lecture précise.

Une méthode donnant d'excellents résultats va nous permettre d'utiliser de nouveau les **cylindres d'acier calibrés** (genre Stubs).

Ceux-ci seront engagés dans les parties mâle ou femelle de l'ajustage et leur diamètre sera choisi de telle façon que leur périphérie déborde légèrement, facilitant ainsi la lecture au **palmer** ou au **pied à coulisse**.

REMARQUE. — Cette méthode de vérification n'est pas seulement exacte pour des angles rentrants à 60° , mais pour tous les angles utilisés dans ce genre d'exercice. Il suffit de choisir un cylindre d'acier Stubs de diamètre approprié (fig. 203).

MESURES DES QUEUES D'HIRONDE

Queue d'hironde mâle

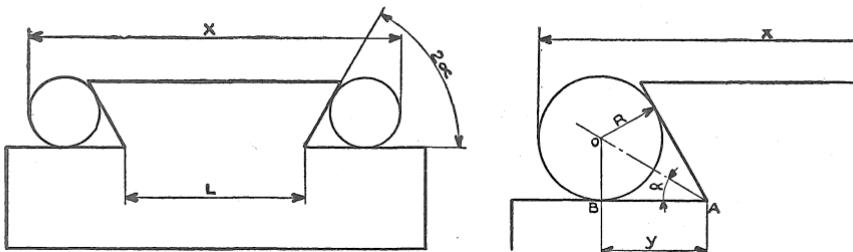


Fig. 203

$$\operatorname{Tg} \alpha = \frac{OB}{AB} = \frac{OB}{y} \text{ d'où } y = \frac{OB}{\operatorname{Tg} \alpha}$$

$$y = OB \times \operatorname{cotg} \alpha = R \times \operatorname{cotg} \alpha$$

$$x = L + (2y + 2R) = L + (2y + D)$$

$\alpha = 1/2$ angle rentrant de la queue d'hironde mâle
 D = diamètre du cylindre d'acier calibré

Queue d'hironde femelle

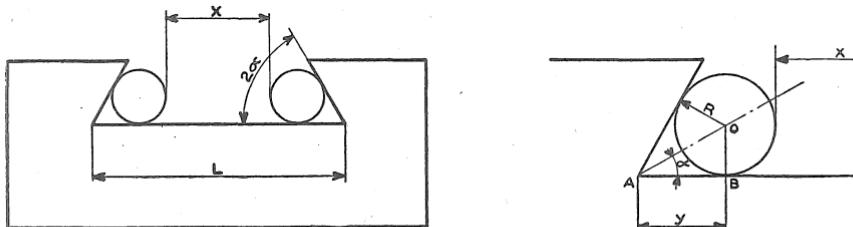


Fig. 204

$$\operatorname{Tg} \alpha = \frac{OB}{AB} = \frac{OB}{y} \text{ d'où } y = \frac{OB}{\operatorname{tg} \alpha}$$

$$y = OB \times \operatorname{cotg} \alpha = R \times \operatorname{cotg} \alpha$$

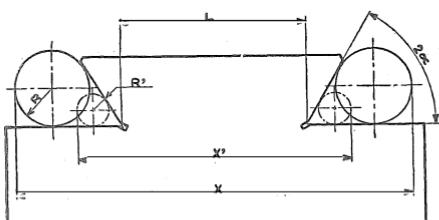
$$x = L - (2y + 2R) = L - (2y + D)$$

$\alpha = 1/2$ angle rentrant de la queue d'hironde femelle

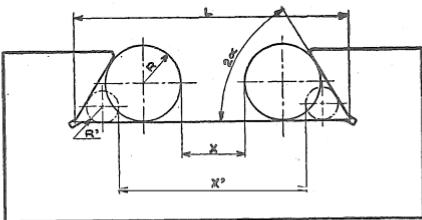
D = diamètre du cylindre d'acier calibré

NOTA. — Si le **contrôle d'une queue d'hironde** peut à la rigueur être réalisé avec une seule paire de piges, l'**établissement d'un angle extérieur ou intérieur** qui est une opération beaucoup plus difficultueuse exige l'utilisation de cylindres calibrés de **diamètres différents**, chaque paire de piges faisant l'objet de calculs **distincts**, identiques aux solutions-types précédentes.

UTILISATION DE DEUX PAIRES DE PIGES



1^{er} cas



2^e cas

Fig. 205

Contrôle de l'angle d'une entaille

Pour contrôler avec précision une entaille angulaire, on peut faire appel également à des **cylindres d'acier calibrés** de diamètres différents. Les diamètres de ceux-ci seront prévus pour ménager la plus grande distance possible entre leurs axes.

En considérant le croquis ci-dessous, les **formules de résolution** seront les suivantes :

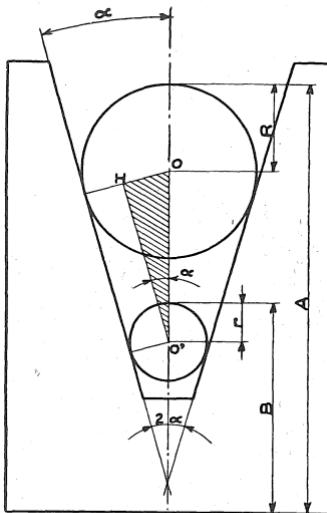


Fig. 206

$$\sin \alpha = \frac{OH}{OO'} = \frac{R - r}{A - B - R + r} = \frac{R - r}{(A - B) - (R - r)}$$

Et l'**angle total de l'entaille** aura pour valeur 2α .

Barre-sinus

La trigonométrie nous apprend que dans tout **triangle rectangle** le **sinus** d'un angle aigu est le rapport entre le côté opposé à cet angle et l'hypoténuse (1). Si, dans un montage particulier, nous réalisons une **règle à entaille** fournissant une longueur constante, 100 mm par exemple, il suffira d'empiler des cales Johannson sous des galets appropriés pour faire varier l'angle aigu du triangle rectangle. Ce montage se nomme **barre-sinus**.

(1) Se reporter au chapitre « Trigonométrie » de l'ouvrage de R. Nadreau « **Le Tuteur et la Fraiseuse** ».

Les barres-sinus du commerce possèdent leurs extrémités échancrees pour immobiliser deux cylindres calibrés, de diamètres égaux, la distance d'axe de ceux-ci étant rigoureusement établie à 100 mm.

Les **barres-sinus** sont donc utilisées pour la **construction** ou le **contrôle d'angles ou de pentes rigoureuses** en faisant appel à des combinaisons de **cales Johansson**.

Exemples d'utilisation

1° Construire ou vérifier l'angle α de $22^{\circ} 40'$.

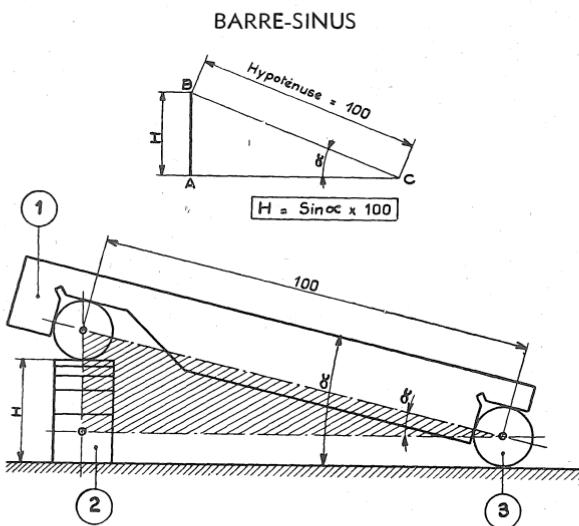


Fig. 207

1. Barre-sinus.
2. Empilage de cales Johansson.
3. Galets.

Nous lisons dans une table trigonométrique :

$$\text{Sin } 22^{\circ} 40' = 0,3853$$

Cette dernière valeur correspond à une hypoténuse de 1 mm, pour la distance de 100 mm entre galets elle sera 100 fois plus grande, et $H = 0,3853 \times 100 = 38,53 \text{ mm}$.

H : cote rigoureuse de l'empilage de cales Johansson.

2° Contrôle de la pente de **23,7 %** d'une pièce métallique.

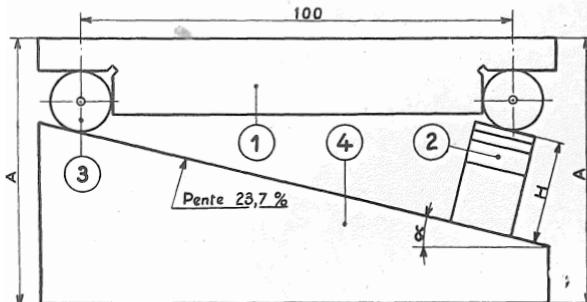


Fig. 208

1. Barre-sinus. 3. Galets.
2. Cales Johannson. 4. Pièce à contrôler.

La trigonométrie nous apprend que la pente équivaut à la **tan-gente** de l'angle d'inclinaison.

$$\text{Pente } 23,7\% = 0,2370 = \text{Tg } \alpha \\ \alpha = 13^\circ 20'$$

$$\sin 13^\circ 20' = 0,2306.$$

$$H = 0,2306 \times 100 = 23,06 \text{ mm}$$

H : cote rigoureuse de l'empilage de cales Johannson.

Rapporteur d'angles « sinus » (1)

Cet appareil a pour rôle de permettre :

1^o La vérification directe de la valeur d'un angle avec une précision de **cinq minutes**, par simple lecture ;

2^o La construction ou le contrôle de ce même angle en partant de son **sinus** avec une appréciation de **20 à 30 secondes** en faisant appel aux **cales Johannson**. Cette vérification peut aller de **0 à 180°**.

Réglage de l'appareil

Angle à vérifier : α

Constantes : $X = 42,355$

$R = 50$

$r = 5$

(1) Document de la « Précision Mécanique ».

Epaisseur de la cale $e = x - (r + s)$.

$S = R \times \sin \alpha = 50 \times \sin \alpha$, d'où

$e = (42,355 - r) - (50 \times \sin \alpha)$ et

$$e = 37,355 - (50 \times \sin \alpha)$$

En amenant le galet au contact des cales Johannson, nous obtenons, par combinaison de la réglette et de la plaque mobile :

$$\alpha; 90^\circ - \alpha; 180^\circ - \alpha; \alpha + 45^\circ \text{ et } \alpha + 60^\circ$$

RAPPORTEUR D'ANGLES « SINUS »

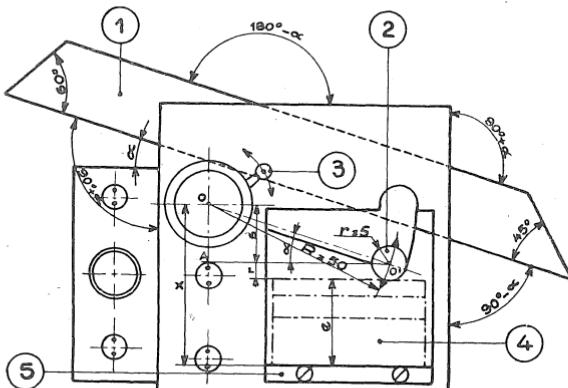
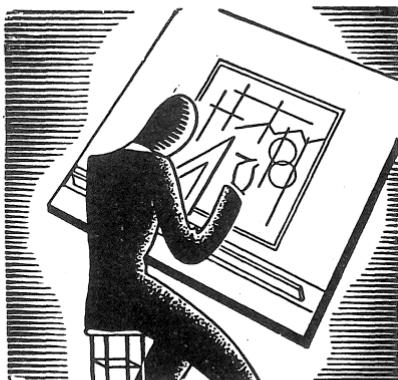


Fig. 209

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1. Réglette pivotante. | 4. Jeu de cales Johannson. |
| 2. Galet de contact sur cales. | 5. Plan d'appui des cales. |
| 3. Dispositif d'arrêt. | |



30. TRANSMISSIONS

DÉFINITION

Les transmissions sont des organes mécaniques chargés de distribuer un **mouvement circulaire moteur** à toutes les machines d'un atelier ou d'une usine. De nos jours, cette méthode de transport d'énergie tend de plus en plus à disparaître pour laisser la place au **moteur individuel**.

ORGANES DE TRANSMISSION DU MOUVEMENT

Une transmission comprend :

- 1^o Une ou plusieurs lignes d'**arbres**.
- 2^o Les **accouplements** des divers tronçons d'une même ligne d'arbres.
- 3^o Les supports des arbres ou **palières**.
- 4^o Les supports de palières ou **chaises**.
- 5^o Les organes permettant la mise en marche, le renversement de la rotation et l'arrêt de certains tronçons.

1^o **Arbres.** — Les arbres servent à transmettre le mouvement de rotation de l'arbre moteur à l'arbre récepteur de la machine. Ils sont en acier, tournés ou laminés cylindriques pour le durcissement de la couche périphérique (acier comprimé).

Tourillons. — Ce sont les parties d'arbres qui s'engagent dans les coussinets de palières, ils peuvent être à bague d'arrêt ou à embase.

2^o **Accouplements.** — Ce sont des organes mécaniques qui réunissent d'une façon invariable deux tronçons d'une même ligne d'arbres, leur montage doit assurer la rotation du tronçon mené à la même vitesse que le tronçon menant. Les accouplements peuvent être **rigides** (manchons à plateaux ou à frettées) ou souples (ressorts de compression).

3^o **Palières.** — Les supports d'arbres ou palières comprennent : le **corps**, le **chapeau**, les **coussinets**, les boutons d'assemblage et le dispositif de graissage. Les palières peuvent avoir plusieurs formes et usages : **palier normal**, **palier à rotule**, **palier graisseur**, **palier de butée**, **palier à billes**.

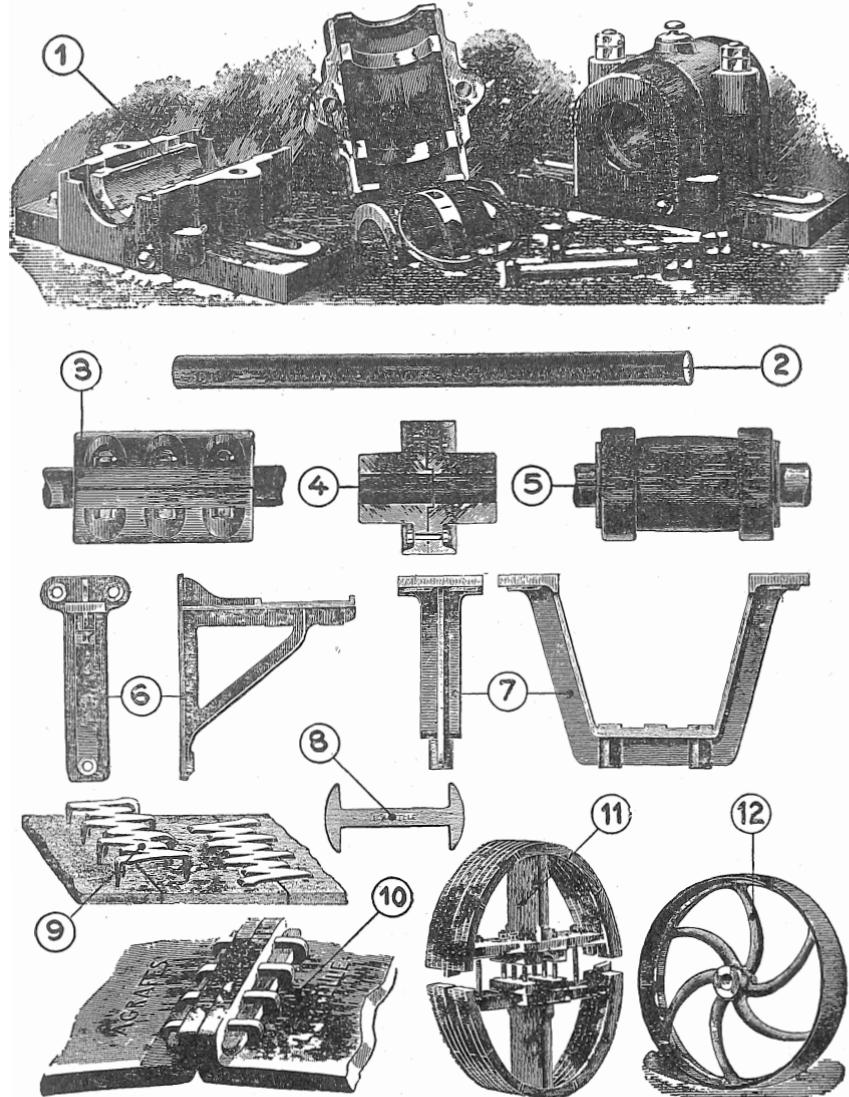


Fig. 210

TRANSMISSIONS

1. Paliers. Détails et vue extérieure.
2. Arbre de transmission.
3. Manchon d'accouplement ordinaire.
4. Manchon d'accouplement à plateaux.
5. Manchon d'accouplement à frettés.
6. Chaise console.
7. Chaise pendante.
8. Agrafe de courroie ordinaire double té.
9. Agrafes « Bristol ».
10. Agrafes « Lagrelle ».
11. Poulie en bois.
12. Poulie en fonte.

Les arbres verticaux sont guidés et supportés par boitards et crapaudines.

a) **Boitard.** — Le boitard est un palier servant de guide à la partie supérieure de l'arbre vertical.

b) **Crapaudine.** — La crapaudine sert de guide et de butée à la partie inférieure d'un arbre vertical (pivot).

4^o **Chaises.** — Les chaises supportant les paliers possèdent des formes variant avec leur position :

La **chaise palier**, sorte de console dont le corps et le chapeau de palier sont remplacés par deux vis réglables en fonte.

La **chaise pendard** est une chaise réglable se fixant sur poutre.

La **chaise pendante à une jambe, à deux jambes, la chaise console, la niche murale**, etc.

1^o Transmission du mouvement entre arbres rapprochés

La transmission du mouvement entre arbres rapprochés peut s'obtenir de deux façons : par **roues de friction** ou par **engrenages**.

ROUES DE FRICITION

Cette transmission est limitée aux faibles puissances, car une puissance élevée exigerait une forte pression déterminant la flexion des arbres.

Avantages. — L'entraînement par friction est simple et peu encombrant. Ce dispositif permet en outre la mise en marche progressive d'appareils devant tourner à grande vitesse ainsi que des variations de cette vitesse.

Inconvénients. — Le glissement occasionné par roues de friction provoque une marche irrégulière de l'arbre récepteur, de plus, quand l'entraînement nécessite une pression importante, le frottement provoque une usure rapide des organes.

ENGRENAGES

Afin d'éviter l'inconvénient dû au glissement des tambours de friction, on équipe ces tambours d'aspérités appelées **dents** pour réaliser un entraînement positif. On obtient alors des engrenages pouvant être classés en trois catégories distinctes :

1^o Les **engrenages cylindriques** dont les axes sont parallèles.

2^o Les **engrenages coniques** dont les axes sont concourants.

3° Les engrenages hélicoïdaux dont les axes peuvent être ou non dans le même plan.

La transmission entre arbres perpendiculaires avec rapport de vitesses est possible grâce au dispositif **vis sans fin et roue hélicoïdale**.

Nous n'étudierons dans cet exposé que les engrenages cylindriques.

ENGRENAGES CYLINDRIQUES

Les définitions concernant les engrenages se rapportent soit aux roues soit à la denture.

a) **Définitions se rapportant aux roues.** — Une roue dentée comprend :

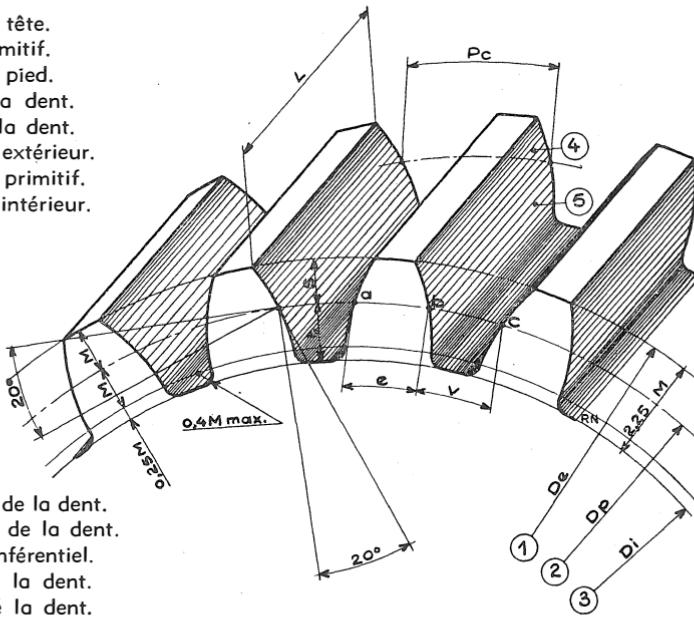
1° La **denture**, formée de dents équidistantes séparées par des creux.

2° La **jante**, périphérie de la roue portant la denture.

3° Le **moyeu** claveté sur l'arbre.

4° Les **bras** ou la **toile** servant de liaison entre la jante et le moyeu. La toile forme le disque plein des engrenages de faible diamètre. Ceux-ci s'appellent **pignons**.

1. Cercle de tête.
2. Cercle primitif.
3. Cercle de pied.
4. Face de la dent.
5. Flanc de la dent.
- De. Diamètre extérieur.
- Dp. Diamètre primitif.
- Di. Diamètre intérieur.



- e. Epaisseur de la dent.
- L. Longueur de la dent.
- Pc. Pas circonférentiel.
- s. Saillie de la dent.
- t. Creux de la dent.
- v. Vide de la denture.
- 20°. Angle de pression.

Fig. 211

D'après NF E 23-001

b) **Définitions relatives à la denture.** — La denture d'un engrenage comprend :

1° Le **vide** de denture, qui est la distance sur le cercle primitif séparant deux dents voisines.

2° La **saillie** comprise entre le cercle primitif et le cercle extérieur.

3° Le **creux** compris entre le cercle primitif et le cercle intérieur.

4° Le **cercle de tête**, portion de surface cylindrique extérieure.

5° Le **cercle de pied**, portion de surface cylindrique de base.

6° La **face de la dent**, surface curviligne intérieure située au-dessus du cercle primitif.

7° Le **flanc de la dent**, surface curviligne intérieure située au-dessous du cercle primitif.

Le **cercle primitif** est le cercle moyen remplaçant les cylindres de friction dans les calculs. Les **cercles extérieur et intérieur** limitent la denture en hauteur.

Le pas **circonférentiel** mesuré sur le cercle primitif est la somme d'un **vide** et d'une **épaisseur** de dent.

FORMULES FONDAMENTALES CONCERNANT LES ENGRENAGES

Le **module ou pas diamétral** est au **pas circonférentiel** ce que le **diamètre primitif** est à la **circonférence primitive**.

Cette définition nous donne, pour un **module 1**, un **pas circonférentiel de 3,1416 mm**. Ce qui précède nous permet d'établir la formule fondamentale suivante des engrenages :

$$M = \frac{D_p}{Z}$$

c'est-à-dire que dans tout engrenage le module est égal au quotient du diamètre primitif par le nombre de dents de la roue. Nous en tirons :

$$D_p = M \times Z$$

Le **diamètre extérieur** $D_e = D_p + 2$ modules.

La hauteur de la denture au-dessus du cercle primitif étant égale au module nous aurons également

$$D_e = M \times (Z + 2)$$

Enonçons également une formule très usuelle dans les calculs d'engrenages :

$$M = \frac{D_e}{Z + 2}$$

$$\text{Epaisseur de la dent} = \frac{\text{Pas circonférentiel}}{2} = \frac{M \times \pi}{2}$$

$$\text{ce qui nous donne } \frac{M \times 3,1416}{2} = 1,57 \text{ Module.}$$

En pratique le jeu de fond de denture est égal au 1/4 du module.

$$\text{Jeu} = \frac{M}{4} = 0,25 \text{ Module.}$$

Déterminons maintenant la hauteur de la denture :

$$\text{Hauteur de la dent} = 2 \text{ Modules} + \text{Jeu} = 2,25 \text{ Modules.}$$

$$\text{Longueur de la dent} = 10 \text{ Modules.}$$

$$\text{Distance d'axes de deux engrenages} = \frac{D_p + d_p}{2}$$

Les valeurs D_p et d_p exprimant les diamètres primitifs des deux roues en présence.

2^e Transmission du mouvement entre arbres éloignés

La transmission du mouvement entre arbres éloignés s'obtient de deux façons : d'une part, par **poulies** reliées par un élément flexible qui est dans la majorité des cas une **courroie** mais qui peut être un ou plusieurs câbles engagés dans des gorges, et, d'autre part, par des **roues dentées** particulières entraînées par **chaînes** s'articulant sur leurs dents. Nous n'étudierons ici que le système poulies et courroies.

POULIES

Définition. — Les poulies sont des roues employées pour transmettre un mouvement de rotation d'un arbre à un autre par l'intermédiaire d'une courroie ou d'un câble.

Description. — Une poulie de transmission se compose de trois parties :

- a) Le **moyeu** ajusté sur l'arbre.
- b) La **jante** chaussée par la courroie.

c) Les **bras** ou, dans les petites poulies, la **toile** reliant la jante au moyeu.

Une poulie est **fixe** lorsqu'elle est clavetée sur un arbre, elle est donc solidaire de cet arbre. Une poulie est dite **folle** lorsqu'elle tourne librement sur l'arbre sans l'entraîner.

Le brin de courroie commandé par la poulie motrice est dit **brin tendu**.

L'autre brin de courroie s'appelle **brin flottant**.

VARIÉTÉS DE POULIES

a) **Poulies en fonte.** — Ce sont les plus communes et peuvent être en une ou deux pièces avec une rangée ou deux rangées de bras.

b) **Poulies en acier.** — Plus légères que les précédentes, elles sont aussi plus coûteuses mais moins fragiles. Elles se font généralement en deux pièces.

c) **Poulies en bois.** — Les poulies en bois ont le gros avantage de la légèreté ; la jante est constituée par des segments assemblés et collés, deux traverses constituent à la fois les bras et le moyeu.

COURROIES

Les courroies sont généralement fabriquées en **cuir**, en **coton**, en **balata**, en **caoutchouc** ou en **poil de chameau**.

Leur forme peut être variée :

Soit à section rectangulaire, c'est la plus commune.

Soit à section ronde (poulies à gorges).

Soit, enfin, à **section trapézoïdale** sur gorges triangulaires et à plusieurs brins. Cette dernière forme, qui est la plus récente, est actuellement la plus couramment employée, le glissement étant presque nul (courroie Texrope).

Courroies en cuir. — Leur épaisseur correspond à celle de la peau employée (5 à 8 mm). Elles peuvent s'employer sur une seule épaisseur (courroie simple) ou sur une double et même une triple épaisseur cousues entre elles.

La **jonction** des courroies est obtenue par couture ou **agrafes**. Celles-ci peuvent prendre des formes très différentes (attaches Lagrelle et Bristol, agrafes parisiennes, etc.).

Courroies en coton. — Elles sont formées d'un tissu épais de coton tressé et trempé dans l'huile de lin. Elles sont plus souples et possèdent une plus grande adhérence que les précédentes, mais elles sont, par contre, moins résistantes.

Courroies en balata. — Constituées par une étoffe de coton repliée sur elle-même, elles sont imprégnées d'une solution de balata (variété de gutta-percha). Ces courroies sont insensibles à l'humidité.

Courroies en caoutchouc. — Elles sont formées de fortes toiles de coton imprégnées de caoutchouc vulcanisé et repliées un certain nombre de fois. Leur jonction est obtenue par collage à la dissolution avec un long biseau. Ces courroies sont insensibles à l'humidité et aux vapeurs acides.

Courroies en poil de chameau. — On les obtient avec des fibres animales et des fibres de coton formant trame. Elles sont insensibles à l'humidité et à la chaleur.

Données pratiques. — L'adhérence des courroies diminue avec la vitesse linéaire qui ne doit pas dépasser **25 mètres/seconde**.

On admet en général les vitesses suivantes : **8 à 15 mètres** pour les puissances de **5 à 20 CH** et **15 à 25 mètres** pour des puissances supérieures.

La section de la courroie varie avec sa nature et la puissance à transmettre. La charge de sécurité généralement admise pour les courroies en cuir varie de **0 kg 150 à 0 kg 500 par mm²**.

La largeur d'une courroie se calcule en fonction de la vitesse demandée et de la puissance à transmettre.

On utilise généralement les formules suivantes :

$$a) \text{Section en mm}^2, S = \frac{1000 H}{V}$$

$$b) \text{Largeur en mm}, l = \frac{1000 H}{V \times e}$$

H = Puissance transmise en CH (1).

V = Vitesse linéaire en mètres seconde.

e = Epaisseur de la courroie de cuir en mm.

(1) 1 Cheval équivaut à **736 watts** dans la nouvelle normalisation de la Puissance.

31. FAÇONNAGE

Montage d'ensemble de pièces et travail en série

GÉNÉRALITÉS

Certaines pièces mécaniques peuvent être présentées aux candidats au C.A.P. en leur demandant de donner leur conception du travail envisagé soit sur une **pièce unique**, soit une **série plus ou moins importante**.

Le **montage d'ensemble de pièces** est du domaine de l'**ajustage**. Dans nos professions, l'ajusteur et le mécanicien de précision doivent posséder toutes les connaissances utiles pour travailler avec le maximum de précision dans le minimum de temps. Pas d'**opérations répétées deux fois de suite**. Pas d'opérations exécutées trop tôt, car d'autres peuvent faciliter l'exécution de ces dernières. Eviter le perçage direct à un diamètre important. Utiliser au maximum le **contre-perçage**. Exécuter l'ajustage proprement dit avant vernissage, nickelage ou chromage. Eviter les vis écorchées, les éclats de vernis, les tombées sur les angles dans le polissage, les repères de traçage sur les pièces terminées, etc.

CONCEPTION DU TRAVAIL. — La **bonne conception du travail** est une des conditions primordiales de la bonne marche d'une entreprise. Le contremaître ou le chef d'équipe doivent prévoir s'il est absolument indispensable de faire des frais d'outillage pour un petit nombre de pièces ou, si un **outillage moderne** avec montages de tournage, de fraisage, de perçage, etc., doit être envisagé pour le travail en **grande série**. Lorsque l'**interchangeabilité** est exigée, ils feront toujours appel aux tampons et calibres à tolérances.

L'ouvrier doit, lui aussi, avoir une certaine « jugeote » et ne pas se cantonner dans la routine ; il doit utiliser au maximum les **méthodes modernes d'usinage**, même si celles-ci changent ses précédentes habitudes.

Si on ne lui confie qu'**une seule pièce** à exécuter :

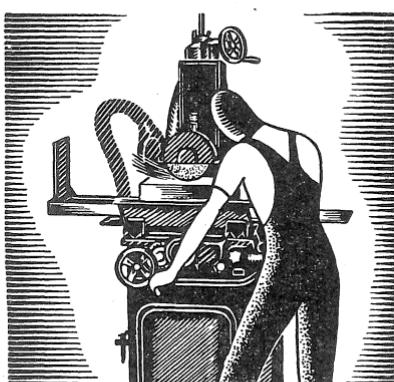
1° **En fonte.** — Il ne doit pas prévoir de modèle de fonderie, l'exécution doit en être faite dans la masse.

2° **En acier ou en laiton.** — Si la pièce a des formes particulières, il pourra pratiquer un forgeage ou un cambrage plutôt qu'une exécution dans un bloc.

Pour **une seule pièce**, ne pas utiliser de calibres de perçage ou de montage sur les machines-outils. Exécuter la pièce après un **traçage préalable**.

Par contre, le praticien peut se trouver en présence d'une **grande quantité** de pièces semblables à exécuter (travaux de série) : il doit alors faire appel à toutes ses connaissances techniques et pratiques :

- a) **Prévoir**, s'il y a lieu, les **modèles de fonderie** nécessaires;
 - b) **Juger** si un **étirage** ne permettrait pas un prix de revient inférieur;
 - c) **Assurer** l'exécution de **montages** de traçage, de tournage, de fraisage pour la fabrication des pièces en grande série (opération par opération);
 - d) **Prévoir** l'étude de **calibres de perçage** ou de contre-perçage simples avec démontage rapide;
 - e) **Fabriquer**, s'il y a lieu, des petits montages pour soudure en série, pour sablage, vernissage, etc.
- Enfin **conduire son travail avec méthode**, sans fausses manœuvres et sans perte de matière.



32. NOTIONS ÉLÉMENTAIRES DE FONDERIE

GÉNÉRALITÉS

La fonderie a pour but l'élaboration de pièces métalliques aux formes et aux dimensions exigées par leur utilisation, en procédant par coulée de métal en fusion dans des empreintes particulières en **sable** ou en **métal**, désignées sous le nom de **moules**.

Les différents ouvriers chargés de l'obtention de pièces métalliques par moulage sont :

- a) Le **sableur**, rénovant le sable suivant les exigences du moulage;
- b) Le **mouleur**, attaché à la confection du moule;
- c) Le **noyauteur**, chargé de la fabrication des noyaux;
- d) Le **fondeur**, qui coulera le métal en fusion;
- e) L'**ébarbeur**, chargé du nettoyage et de la finition des pièces coulées.

Le moulage se fait de deux façons différentes, soit au **sable** pour des métaux dont le point de fusion est assez élevé et également pour l'obtention d'un petit nombre de pièces; soit en **coquilles** dans des moules métalliques pour l'obtention d'un grand nombre de pièces et, généralement, pour la coulée de métaux dont le point de fusion est inférieur à celui du moule.

Nous étudierons plus particulièrement le **moulage au sable** dans ce court exposé de fonderie.

MODÈLES

On entend par modèles, des pièces en bois, en métal, en plâtre, etc., servant à l'exécution des empreintes qui, à la coulée, recevront le métal liquide; ces modèles, exécutés par les **modeleurs**, nécessitent de grandes précautions dans leur exécution. Une multitude de facteurs interviennent dans la création d'un modèle de fonderie :

- a) La **conception** du modèle, permettant, pour des pièces compliquées, une **séparation dans le moule de certains éléments** le constituant sans effriter le sable ;

b) Le **retrait**, qui oblige le modeleur à prévoir des dimensions de modèle plus grandes que les pièces à obtenir (mètre à retrait). Exemple : mètre de 101 cm pour la fonte.

c) La **dépouille**, qui est une pente donnée à certaines parties du modèle pour en permettre un démoulage facile.

Les principaux **bois** employés en modelage sont : le **noyer**, bois parfait pour sa dureté et la qualité de son poli; l'**aulne**, recherché pour sa légèreté et son homogénéité; le **tilleul**, utilisé plus spécialement pour les modèles tournés.

Dans la constitution des modèles, il est à envisager certaines considérations qui nécessitent chez le modeleur, avec une documentation technique et la pratique du travail du bois, la connaissance parfaite du **dessin industriel**, de la **géométrie descriptive** et des notions assez étendues sur la pratique du moulage.

SABLES

Les fonderies sont généralement approvisionnées avec les sables suivants :

- 1^o **Sables argileux** à gros grains pour grosses pièces étuvées ;
- 2^o **Sables argileux maigres** pour noyaux ou pièces moyennes ;
- 3^o **Sables argileux doux**, à grains fins, pour petites pièces ;
- 4^o **Sables extra-siliceux** pour fabrication de noyaux spéciaux.

Les sables étant composés de **silice** et d'**argile** doivent être dosés suivant leur utilisation. La **silice** donne la porosité et la propriété réfractaire, tout en diminuant le retrait. L'**argile** sert d'agglomérant en procurant de la rigidité au sable. Un bon sable de moulage doit être composé suivant des proportions définies :

Silice, 80 à 85 %; **argile**, 8 à 10 %; **impuretés**, 5 à 12 %.

La **porosité** recherchée pour le dégagement des gaz au moment de la coulée dépend de la grosseur des grains et du serrage du sable. Dans les **sables à noyaux**, cette porosité est augmentée par l'addition de matières organiques ou de **mèches**.

Le **sable vert** est un sable non desséché et, par conséquent, humide, servant au moulage continu.

Le **sable étuvé** est un sable desséché à l'étuve et servant plus spécialement au moulage de l'acier; il doit être un peu plus gras que le sable vert et donne des empreintes plus précises.

CONFECTION DU MOULE

Le moule est constitué au **châssis** pour de petites et moyennes pièces, au **trousseau** pour des pièces de révolution ou en **coquilles** pour coulée en série de métal à bas point de fusion.

MOULAGE AU CHASSIS

Châssis. — Les châssis sont des **cadres** en fonte ou en acier dans lesquels on tasse le sable pour l'établissement des moules; ils sont généralement de forme carrée ou rectangulaire et peuvent avoir les dimensions les plus variées. Ils sont également munis de **poignées** pour leur transport; des **goujons** et des **clavettes** en facilitent le centrage.

Pièce pleine. — En fonderie, la forme des modèles détermine le procédé de moulage, ceux-ci sont parfois très différents, nous nous contenterons d'en énoncer deux :

a) Si le modèle possède une **surface de base plane**, le moulage est effectué directement en utilisant cette surface comme base de départ.

b) Si le modèle est irrégulier, la surface du **joint** doit être déterminée à l'aide d'une **fausse partie** qui sera détruite après détermination de l'empreinte dans le second châssis.

MOULAGE EN CHASSIS D'UNE PIÈCE PLEINE (Cylindre)

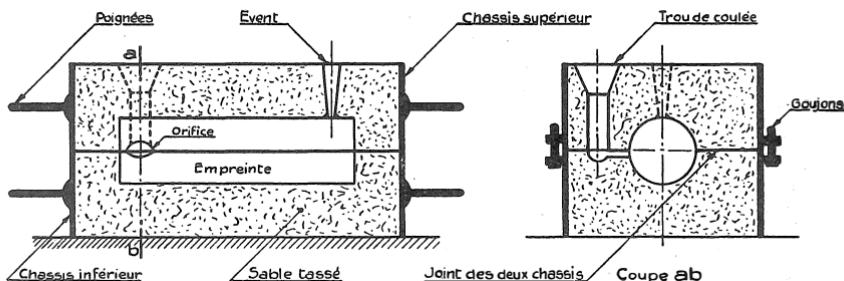


Fig. 212

L'opération qui consiste à serrer le sable autour du modèle s'appelle **foulage**. Quand le châssis est rempli, le mouleur étend sur la surface de sable vert une légère couche de sable sec; à ce moment, le modèle est noyé dans le sable jusqu'à la moitié de son épaisseur. Un deuxième châssis est ensuite posé sur le premier où l'on

achève de piler du sable vert autour de la partie supérieure du modèle, de façon à l'enrober complètement. La séparation des deux châssis est ensuite opérée avec précaution, puis on retire le modèle. On prépare finalement le canal d'amenée du métal et l'évent. Il faut également prendre la précaution de piquer le châssis supérieur de trous d'aiguille pour faciliter l'échappement des gaz.

Pièce creuse. — Quand on moule des pièces dont l'intérieur doit être creux, il est nécessaire de placer au centre du moule une pièce pour y laisser le vide désiré, cette pièce est appelée **noyau** (voir fig. 213).

MOULAGE D'UNE PIÈCE CREUSE

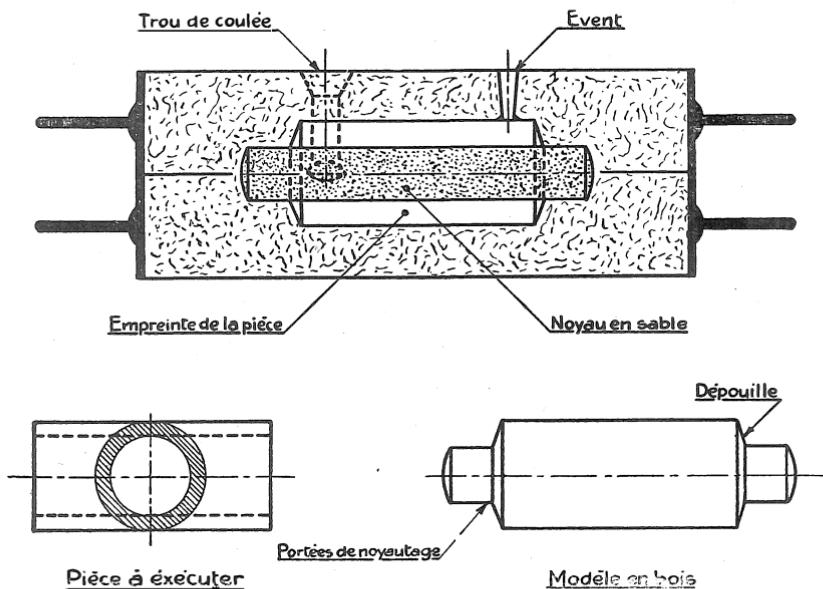


Fig. 213

Noyaux. — Ils sont généralement en sable gras, très compact, mélangé à du crottin, et ensuite passés à l'étuve. Ils sont consolidés suivant leur grosseur soit par des armatures en fonte, soit par des tubes ou des tiges de fer ou simplement des pointes de mouleur quand ils sont plus petits. On utilise également un sable spécial pour noyaux à base d'**huile de lin** ne nécessitant pas d'armature.

Un bon **noyau** doit posséder les qualités essentielles suivantes : être **poreux et perméable, solide et compressible**.

Ils sont fabriqués dans des **boîtes à noyaux** en bois, en plâtre ou en métal possédant en creux les formes des noyaux. Les boîtes

à noyaux simples sont généralement faites en deux parties, repérées par goujons de centrage. Après exécution, les noyaux sont enduits de noir liquide pour empêcher leur surface de se désagréger.

MOULAGE AVEC NOYAU

On réalise tout d'abord l'empreinte du modèle en bois plein possédant à ses extrémités des prolongements ou **portées** produisant dans le moule un creux sur lequel reposera le noyau plein. Une fois le châssis remis en place, il existe entre le noyau intérieur et le moule extérieur une **cavité annulaire** réalisant exactement la forme de la pièce creuse ou évidée.

MOULAGE AU TROUSSEAU

Ce genre de moulage est utilisé lorsque les pièces à exécuter ont des formes de révolution et lorsque la confection des modèles serait trop onéreuse par suite de leurs dimensions. Ce procédé ne convient que pour des pièces de révolution à **profil constant** (poulies, volants, cloches, etc.).

L'opération de moulage consiste à **raceler** le sable à l'aide d'une planchette garnie de tôle pour déterminer l'empreinte de la pièce. Cette raclette particulière est fixée sur un axe pour en permettre la rotation; elle prend alors l'appellation de **planche à trousser**.

MOULAGE EN COQUILLE

Les moules en sable doivent être détruits après chaque coulée, afin de dégager les pièces moulées, cet inconvénient en augmente sérieusement le prix de revient. Lorsque les pièces doivent être produites en grande série, on a avantage à employer, quand cela est possible, des **moules permanents métalliques** ou **coquilles**. Ceux-ci sont surtout utilisés pour l'exécution de pièces en métal à point de fusion peu élevé (cuivre, aluminium, zinc, etc.) et également pour le moulage de la **matière moulée**. Pour les pièces ne devant pas être travaillées superficiellement, le **moulage en coquille** donne des surfaces plus précises que le moulage au sable.

MOULAGE DE LA FONTE TREMPÉE

Quand on refroidit la fonte brusquement, elle subit une trempe qui rend sa surface blanche et très dure (pièces devant résister à l'usure).

La fonte devant être trempée est coulée directement dans des moules en fonte appelés également coquilles. Le refroidissement que subit la surface de la pièce au contact brutal du moule métallique la trempe suivant une certaine épaisseur. Les organes en fonte trempée ont de nombreux débouchés, en particulier les cylindres de laminoir à tôles et les appareils de broyage. Pour faciliter cette trempe, la fonte employée est généralement riche en **manganèse**.

MOULAGE A CIRE PERDUE

Quand il s'agit de mouler une pièce devant présenter un grand fini (statues, motifs d'ornementation), on constitue un moule provisoire et un noyau comme dans les cas précédents. On dispose ensuite une certaine épaisseur de **cire** sur le noyau. Le sculpteur exécute ses retouches sur cette cire, de manière à donner le relief définitif. Un badigeonnage à l'aide de potée spéciale est ensuite exécuté par **couches successives**. Après constitution du moule, celui-ci est chauffé jusqu'à écoulement total de la cire. Le métal en fusion prend alors la place de la cire fondue.

COULÉE DU MÉTAL

La coulée de métal en fusion doit être pratiquée avec de grandes précautions. Elle peut s'effectuer de plusieurs façons suivant la forme des pièces à obtenir.

1^o **Coulée en source** obligeant le métal à emplir le moule par sa partie inférieure.

2^o **Coulée en chute** introduisant directement le métal par la partie supérieure du moule.

3^o **Coulée en pluie** qui est une coulée en chute composée de plusieurs jets répartis sur toute la surface de la pièce.

4^o **Coulée à talon** qui est une coulée indirecte par l'intermédiaire d'un chenal auxiliaire horizontal.

Masselottes. — Les masselottes sont des **masses additives** pratiquées dans les parties supérieures des moules et en regard des parties les plus massives de la pièce pour alimenter ces dernières en vue du tassement qui s'opère dans le métal pendant sa solidification. Les masselottes ont également la propriété de conserver une certaine quantité de chaleur aux parties minces en vue d'unifier le refroidissement du moule.

Events. — Les événets sont des conduits verticaux servant à expulser l'air contenu dans le moule au fur et à mesure de son remplissage.

DÉMOULAGE ET ÉBARBAGE

Quand les pièces sont suffisamment refroidies, on procède au **démoulage** en les retirant des châssis. Quand elles sont complètement froides, on enlève le sable qui reste adhérent, et on **détruit les noyaux**. On fait disparaître ensuite les masselottes et les bavures, au burin, au chalumeau ou à la meule. On appelle cette dernière opération, **ébarbage**. Le décapage, pratiqué au **jet de sable**, présente sur les autres procédés de nettoyage de nombreux avantages. Voici les principaux :

- a) **Nettoyage parfait** des creux et des aspérités de la pièce moulée en donnant au métal un aspect agréable;
- b) **Atténuation de la dureté** de la croûte superficielle facilitant l'usinage ultérieur;
- c) Les pièces nettoyées au jet de sable peuvent être **nickelées**, **galvanisées**, **émaillées** sans autres préparations.

Quand les **masselottes** sont petites, elles peuvent être détachées au burin; quand elles sont de fortes dimensions, on les enlève avec des scies spéciales portatives.

MOULAGE MÉCANIQUE

Le moulage mécanique se pratique de plus en plus de nos jours à l'aide de **machines à mouler**. Il convient particulièrement pour la série. Les modèles ordinaires ne conviennent pas, il faut des **plaques modèles** sur lesquelles on place le châssis. Ces plaques sont en plâtre, ciment ou métal, suivant l'importance des séries. Elles se fixent sur la table de la machine. Un piston supérieur comprime le sable dans le châssis, un piston inférieur soulève ensuite la partie moulée à l'aide de chandelles.

Le **moulage en mottes** permet l'extraction du sable du châssis (motte) et réduit ainsi au minimum le nombre des châssis utilisés. Il facilite, d'autre part, le démoulage après la coulée et supprime les ennuis du transport des châssis.

33. NOUVELLE NORMALISATION DES UNITÉS UTILISÉES EN MÉCANIQUE

Le décret du **3 mai 1961** stipulant l'obligation d'employer de **nouvelles mesures de poids et de force**, l'auteur a cru logique de passer en revue ces nouvelles unités avant leur utilisation définitive. Pendant la **période de transition**, entre **décision et application**, l'utilisateur sera donc conduit à effectuer lui-même la transposition entre anciennes et nouvelles unités.

Les **tableaux** qui suivent situeront avec précision les relations entre ces diverses unités.

DÉFINITIONS USUELLES

Force. L'unité de force est le **Newton** (1) (N). C'est la force qui, en **1 seconde** communique à une masse de **1 kilogramme** une variation de vitesse de **1 m par seconde**.

La pesanteur est une force qui communique à la masse d'un corps son propre **poids**.

Une masse de **1 kg** pèse, à Paris, **9,81 N**, il en résulte qu'une force de **1 N** est égale au poids à Paris de :

$$\frac{1000 \text{ g}}{9,81} = 102 \text{ g}$$

Par rapport à l'ancienne unité de force **1 kgf**, nous aurons :

$$1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N} = \sim 10 \text{ N} = 1 \text{ da N}$$

Origine de 9,81. C'est l'**accélération** prise par un corps en **chute libre**, celui-ci parcourant pendant chaque seconde **9,81 m** de plus que pendant la seconde précédente.

Travail ou énergie. L'unité de travail est le **joule** (2) ; c'est le déplacement de **1 Newton** sur **1 mètre** de distance.

Puissance. La puissance est le travail d'une force dans un temps donné. L'unité de puissance est le **watt** (3), il correspond au travail de **1 joule en 1 seconde**. Finalement, le **watt** est le déplacement d'une force de **1 Newton** de **1 mètre** en **1 seconde**.

(1) **Newton Isaac** (1643-1727), mathématicien, physicien, astronome et philosophe anglais, qui s'est rendu immortel par la découverte des lois de la gravitation universelle et de la décomposition de la lumière.

(2) **Joule James** (1818-1889), physicien anglais, qui étudia la chaleur dégagée par les courants électriques dans les conducteurs et détermina l'équivalence mécanique de la calorie.

(3) **Watt James** (1736-1819), mécanicien et ingénieur écossais, qui conçut le principe de la machine à vapeur à double effet.

RELATIONS ENTRE ANCIENNES ET NOUVELLES UNITÉS DE MESURE

Systèmes MKS : Mètre. Kilogramme-poids. Seconde.
 MKSI : Mètre. Kilogramme-masse. Seconde.

Systèmes MTS : Mètre. Tonne. Seconde.
 CGS : Centimètre. Gramme. Seconde.

	MKS	MKSI	MTS	CGS	correspondances réelles	Correspondances approchées (2 %)
Longueur Masse Temps	m kg (poids) s	m kg (masse) s	m t s	cm g s		
Force	kgf	Newton (N)	Sthène (st) 1 st = 1 000 N	Dyne (dyn) 1 dyn = 10^{-5} N	1 kgf = 9,81 N	1 kgf = 10 N = 1 daN
Travail Energie	kgf/m ou kgm	Joule (J)	kJ	Erg 1 erg = 10^{-7} J	1 kgm = 9,81 J	1 kgm = 10 J = 1 daJ
Puissance	kgm/s	Watt (W)	kW 1 kW = 1,36 ch	Erg/s 1 erg/s = 10^{-7} W	1 kgm/s = 9,81 W	1 ch { 75 kgm/s 736 W
Contrainte ou Pression	kgf/m ² 1 kgf/m ² = 9,81 Pa	Pascal (Pa) 1 Pa = 1 N/m ²	Pieze (pz) 1 pz = 1 st/m ² = 1 000 Pa 1 hpz = 1 bar	Barye (dyn/cm ²) 1 barye = 0,1 Pa 1 Megabarye = 1 bar	1 kgf/cm ² = 10^5 Pa = 1 MPa 1 kg/mm ² = 10^7 Pa = 10 MPa 1 kgf/cm ² = 1 bar	1 N/mm ² = 10^6 PA = 1 MPa 1 kg/mm ² = 10^7 PA = 10 MPa 1 kgf/cm ² = 1 bar

Correspondance entre les unités Force et Pression

Surfaces	Force 1 kgf	Force 1 Newton	Correspondances
1 m ²	10 Pa	1 Pa	1 N/m ² = 1 Pa
1 cm ²	10^5 Pa ou 1/10 MPa ou 0,981 bar	10 000 Pa ou 10^4 Pa ou 0,0981 bar	$1 N/cm^2 = 10\ 000\ Pa$
1 mm ²	10^7 Pa ou 10 MPa	1 000 000 Pa ou 10^6 Pa ou 1 MPa	$1 N/mm^2 = 1\ 000\ 000\ Pa$ ou 1 MPa 1 kgf/cm ² = 100 000 Pa = 1 bar

34. TABLEAU DES SYMBOLES, DENSITÉS ET POINTS DE FUSION DES PRINCIPAUX MÉTAUX, ÉLÉMENTS D'ADDITION ET ALLIAGES

Métaux et éléments d'addition	Symboles		Densités	Points de fusion
	chi- miques	sim- plifiés		
Aluminium fondu	Al	A	2,56	658°
Aluminium laminé	Al	A	2,7	658°
Antimoine	Sb	R	6,71	630°
Argent	Ag	—	10,53	960°
Bismuth	Bi	Bi	9,8	271°
Bore	B	B	2,3	2.400°
Cadmium	Cd	Cd	8,64	320°
Cérium	Ce	Ce	6,7	900°
Chrome	Cr	C	6,8	1.550°
Cobalt	Co	K	8,77	1.488°
Cuivre fondu	Cu	U	8,85	1.083°
Cuivre laminé	Cu	U	8,95	1.083°
Etain	Sn	E	7,22	232°
Fer	Fe	Fe	7,88	1.527°
Iridium	Ir	Ir	22,42	2.300°
Lithium	Li	Li	0,53	180°
Magnésium	Mg	G	1,74	650°
Manganèse	Mn	M	7,21	1.265°
Mercure	Hg	—	13,59	— 39°
Molybdène	Mo	D	10,20	2.570°
Nickel	Ni	N	8,8	1.452°
Niobium	Nb	Nb	8,5	1.900°
Or fondu	Au	—	19,25	1.063°
Or laminé	Au	—	19,36	1.063°
Phosphore	P	P	1,83	44°
Platine	Pt	Pt	21,48	1.744°
Plomb	Pb	Pb	11,37	327°
Sélénium	Se	Se	4,8	217°
Silicium	Si	S	2,35	1.430°
Soufre	S	—	2,07	114°
Tantale	Ta	Ta	16,6	3.000°
Titane	Ti	T	4,5	1.820°
Tungstène	W	W	19,1	3.460°
Uranium	U	U	18,68	1.850°
Vanadium	V	V	5,6	1.725°
Zinc	Zn	Z	7,19	419°
Zirconium	Zr	Zr	6,4	1.750°

DENSITÉS ET POINTS DE FUSION DES PRINCIPAUX ALLIAGES

Alliages	Densités	Points de fusion
Acier de cémentation.....	7,7	1.400°
Acier coulé	7,5	1.400°
Acier fondu	7,85	1.400°
Acier forgé	7,85	1.400°
Bronzes	7,5 à 8,5	900°
Duralumin	2,8	650°
Fonte blanche	7,6	1.100°
Fonte grise	6,9	1.200°
Laitons	7,3 à 8,4	905° à 1.025°
Maillechorts	8,3 à 9,2	950° à 1.021°

BIBLIOGRAPHIE

Cours de Technologie générale, par G. BREVET. Édité par l'Auteur.

Cahier de Technologie professionnelle, par A. FOURGEAUD. Édité par l'Auteur.

L'Ajusteur mécanicien, Tome I. Travail à la main, par J. THIBAUDEAU.
Léon Eyrolles, éditeur.

Fascicules technologiques de l'Ouvrier mécanicien, par R. CAILLAUT.
Delagrave, éditeur.

Eléments de Métallurgie, par A. JACQUET et D. TOMBECK. Dunod, éditeur.

Précis de Métallurgie, par H. PÉCHEUX, J.-B. Baillière et Fils, éditeurs.

L'Aluminium et ses alliages. Editions de l'Aluminium français.

Manuel moderne de Soudure autogène, par R. GRANJON et R. MESTIER.
Publications de la Soudure autogène.

Encyclopédie Larousse du XX^e siècle. Librairie Larousse.

Catalogues descriptifs et notices techniques des Etablissements : Aubert et Duval,
l'Aluminium Français, Société du Duralumin, Aciéries électriques d'Ugine,
Jacob Holtzer, La Précision Mécanique, Fenwick S.A., Outilage R.B.V., La
Fibre Vulcanisée.

Tableau de Sidérurgie, aimablement communiqué par la Chambre syndicale de
la Sidérurgie française. Création Office parisien de Publicité.

TABLE DES MATIÈRES

Avant-propos	6
---------------------	---

PREMIÈRE PARTIE

MATIÈRES PREMIÈRES UTILISÉES EN AJUSTAGE ET EN PETITE MÉCANIQUE

1. Les métaux	9
Métaux ferreux	16
Le fer	16
La fonte	25
L'acier	41
Les aciers alliés. Au manganèse. Au nickel. Au chrome. Au silicium. Au tungstène. Au vanadium. Au molybdène. Au cobalt. A l'aluminiun	67
Les métaux non ferreux. Le cuivre. Le zinc. Le plomb. L'étain. L'anti-moine. Le nickel. Le manganèse.....	78
Les alliages. Les bronzes. Les laitons. Les maillechorts. Alliages d'étain, de plomb et de zinc.....	87
Les métaux légers. L'aluminium. Le magnésium.....	94
2. La stellite, les carbures métalliques, la céramique et le diamant	107
3. Contrôle des nuances d'acier	112
4. Désignation normalisée des métaux et alliages	114
5. Les essais de métaux	120
6. Les matières diverses. Bois. Caoutchouc. Cuir. Ebonite. Fibre vulcanisée. Bakélite. Mica. Amiante. Matières plastiques. Araldite	141
7. Les huiles	151
8. Les lubrifiants	154
9. Les joints	159

DEUXIÈME PARTIE

OUTILS UTILISÉS PAR L'AJUSTEUR ET LE MÉCANICIEN EN PETITE MÉCANIQUE

1. Les étaux	163
2. Les outils de traçage	167
3. Les limes	174
4. Les outils de choc	180
5. Les marteaux	185
6. Les scies	188
7. Les outils de vérification et de mesure	194
8. Les verniers	199
9. Les outils de perçage	208
10. Les visebrequins	215
11. Les tournevis	216
12. Les pinces et les clefs	218
13. Les appareils de levage et de manutention	222

TROISIÈME PARTIE

OPÉRATIONS MÉCANIQUES EXÉCUTÉES PAR L'AJUSTEUR
ET LE MÉCANICIEN EN PETITE MÉCANIQUE

1. Traçage	229
2. Composition. Forgeage et traitement des outils de coupe.....	232
3. Angles composant la coupe des outils.....	234
4. Vitesses de coupe	237
5. Equipages de poulies et de roues dentées.....	243
6. Perçage. Machines à percer.....	247
7. Calibres de perçage. Cheminées et canons trempés.....	259
8. Centrage des pièces. Piétage.....	261
9. Filetage. Systèmes de filetages.....	263
10. Taraudage	271
11. Filetage à la filière.....	277
12. Vérification des filets de vis.....	284
13. Alésage	286
14. Mandrinage et brochage.....	296
15. Rabotage. Raboteuses. Etaux-limeurs. Problèmes d'étaux-limeurs.....	300
16. Mortaisage	317
17. Rectification	322
18. Grattage	352
19. Rodage et brunissage.....	355
20. Polissage. Vernissage	357
21. Recouvrement des métaux. Protection contre l'oxydation et la corrosion	361
22. Ajustements. Système à limites international I.S.A. Vérificateurs à tolérances	369
23. Montage des pièces par cônes.....	385
24. Traitements mécaniques des métaux. Forgeage. Laminage. Etirage. Tréfilage. Emboutissage. Matriçage ou estampage. Filage. Contrôle des traitements mécaniques.....	391
25. Contrôle des températures.....	399
26. Traitements thermiques et thermochimiques des métaux ferreux. Points de transformation. Trempe. Revenu. Recuit. Cémentation. Nituration. Malléabilisation. Contrôle des traitements thermiques et thermochimiques	406
27. Assemblages. Soudure à l'étain. Brasage. Soudure autogène. Soudure électrique. Aluminothermie	422
28. Désintégration des métaux. Etincelage.....	436
29. Calculs d'atelier. Vérification des ajustages en queue d'hironde. Contrôle de l'angle d'une entaille. Barre-sinus. Rapporteur d'angles « sinus ».	438
30. Transmissions	444
31. Façonnage	452
32. Notions élémentaires de fonderie.....	454
33. Nouvelle normalisation des unités utilisées en mécanique.....	461
34. Tableau des symboles des densités et points de fusion des principaux métaux, éléments d'addition et alliages.....	463
Bibliographie	464