



**OFPPT**

**ROYAUME DU MAROC**

**مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل**

*Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail*

*DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION*

**RÉSUMÉ DE THÉORIE  
&  
GUIDE DES TRAVAUX PRATIQUES**

<b>MODULE</b>	<b>TECHNOLOGIE PROFESSIONNELLE</b>
<b>N° 14</b>	<b>( PARTIE1 )</b>

**SECTEUR : FABRICATION MECANIQUE**

**SPECIALITE : TFM**

**NIVEAU : T**

## PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

Télécharger tous les modules de toutes les filières de l'OFPPT sur le site dédié à la formation professionnelle au Maroc : [www.marocetude.com](http://www.marocetude.com)

Pour cela visiter notre site [www.marocetude.com](http://www.marocetude.com) et choisissez la rubrique :

### MODULES ISTA



The screenshot shows the website interface for Maroc Etude.Com. At the top, a navigation bar contains the following links: HOME, LIVRES, **MODULES ISTA**, ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, and SE CONNECTER. Below the navigation bar is the site's logo, "Maroc Etude.Com", and the tagline "Connaissance - Métier - Technique". A secondary navigation bar includes links for Annonces Google, Emploi Maroc, Messagerie, Télécharger Un Jeu, and Maroc Annonces. A search bar is located on the right side of the page.

The main content area is divided into three columns:

- Left Column:** Contains a notification "Nous avons 14 invités en ligne", a list of links under "Annonces Google" (Annonces Google, Emploi Maroc, Jeux Télécharger Gratuit, Jeux PC En Ligne), a "Connexion" section with a dropdown arrow, and a login form with fields for "Identifiant" (containing "sniper") and "Mot de passe", a "Se souvenir de moi" checkbox, and a "Connexion" button. Below the form are links for "Mot de passe oublié ?" and "Identifiant oublié ?".
- Center Column:** Features a promotional banner for "MacKeeper" with a "-20%" discount. The text reads: "Notre Bibliothèque que ...Livres à Télé charger Gratuitement", "MacKeeper -20%", "Complete your Purchase Now and save 20% Guaranteed with this Coupon Code", and "Apply Discount Automatically". It includes logos for Mac and Universal and a quote: "On ne jouit bien que de ce qu'on partage" [Madame de Genlis].
- Right Column:** Contains a "recherche..." search bar and a list of links under "Annonces Google": "Jeu De Jeux", "Jeux Sur Internet", "Ecole Ingénieur", "Dépanner et configurer votre réseau à domicile (Outil de Diagnostic)", "Wi-Fi / Ethernet", "Console de jeu", "Imprimante", and "Messagerie".

*Document élaboré par :*

*Nom et prénom*  
**NICA DORINA**

*Affectation*  
**DRIF / CDC GM**

*Révision linguistique*

-  
-  
-

*Validation*

- ETTAIB Chouaïb

-  
-

**OBJECTIF DU MODULE****MODULE 14 : TECHNOLOGIE PROFESSIONNELLE**

Code :

Durée : 110 h

**OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU  
DE COMPORTEMENT****COMPORTEMENT ATTENDU**

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit *exploiter la technologie professionnelle liée à la fabrication mécanique*, selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent.

**CONDITIONS D'ÉVALUATION**

- Travail individuel
- A partir
  - De problèmes théoriques et de données se rapportant à des travaux en atelier
- À l'aide :
  - Formulaires, abaques et diagrammes
  - D'une bibliographie technique de référence

**CRITÈRES GÉNÉRAUX DE PERFORMANCE**

- Analyse d'un problème
- Maîtrise des principes de technologie professionnelle
- Utilisation exacte de la terminologie appropriée

*(à suivre)*



**OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU  
DE COMPORTEMENT (suite)****PRÉCISIONS SUR LE  
COMPORTEMENT ATTENDU**

- Organes et éléments

**CRITÈRES PARTICULIERS DE  
PERFORMANCE**

- Définition et identification exacte des éléments suivants :
  - Paliers
  - Accouplement d'arbres :  
Embrayages, Manchons et joints,  
Freins
  - Transmission de mouvement :  
Poulies, courroies et chaînes,  
Engrenages, Réducteur
  - Système bielle-manivelle
  - Cames
  - Pistons
  - Graissage et lubrification

## OBJECTIFS OPÉRATIONNELS DE SECOND NIVEAU

**LE STAGIAIRE DOIT MAÎTRISER LES SAVOIRS, SAVOIR-FAIRE, SAVOIR PERCEVOIR OU SAVOIR ÊTRE JUGÉS PRÉALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF DE PREMIER NIVEAU, TELS QUE :**

**Avant d'apprendre à maîtriser la technologie générale relative aux matériaux et à la fabrication des pièces brutes (A) :**

1. Connaître les procédés de fabrication des matériaux
2. Connaître les principes d'obtention de pièces
3. Connaître les formes standard commercialisées et leurs coûts
4. Connaître les précautions d'usinage des pièces suivant leur mode d'élaboration (Difficulté d'usinage, les départs de cotation, les balançages, ...)

**Avant d'apprendre à maîtriser la technologie d'atelier (B) :**

5. Connaître les avantages et les risques de chaque moyen de fabrication
6. Connaître le principe, la cinématique, les caractéristiques et les limites de chaque moyen

**Avant d'apprendre à maîtriser la technologie machine (C) :**

7. Connaître la schématisation des organes
8. Connaître le principe de fonctionnement des organes et leurs conditions de fonctionnement
9. Connaître les précautions de montage et démontage d'organes
10. Connaître leurs représentations commerciales et leurs coûts

**Avant d'apprendre à se sensibiliser aux procédés d'usinage CNC (D) :**

11. Savoir distinguer la nature de travail à exécuter
12. Se soucier du coût de production
13. Avoir le souci de faire une étude comparative de mise en production

# TECHNOLOGIE PROFESSIONNELLE

# SOMMAIRE

## TECHNOLOGIE PROFESSIONNELLE

### CHAPITRE 1

<b>MATERIAUX</b> .....	9
1. Notion de métallurgie.....	9
2. Propriétés physiques des matériaux.....	9
3. Essais mécaniques des matériaux.....	11
4. Principaux alliages industriels.....	18
5. Traitements des aciers.....	22
6. Traitements thermochimiques.....	26
7. Traitements électrochimiques.....	28

### CHAPITRE 2

<b>FABRICATION DES PIÈCES BRUTES</b> .....	29
1. Notion de fonderie.....	29
2. Le moulage.....	30
3. Le formage.....	36
4. Découpage.....	41
5. Métallurgie des poudres.....	44
6. Le soudage.....	45

### CHAPITRE 3

<b>PROCEDES D'USINAGE CONVENTIONNEL</b> .....	50
1. L'usinage.....	50
2. Tournage.....	57
3. Perçage et alésage.....	64
4. Fraisage.....	72
5. Travaux de brochage.....	80
6. Rabotage.....	82
7. La rectification.....	87

### CHAPITRE 4

<b>PROCEDES SPECIAUX D'USINAGE</b> .....	95
1. Rodage.....	95
2. Usinage par électro-érosion.....	98
3. Schémas cinématiques.....	103
4. Principe de fonctionnement des organes de machines.....	111
5. Entretien des machines-outils.....	115

**CHAPITRE 5**

<b>TECHNOLOGIE DE CONSTRUCTION D'UNE MACHINE-OUTIL.....</b>	<b>117</b>
1. Ajustements.....	117
2. Vis de fixation.....	121
3. Ecrous.....	121
4. Assemblages rivetés.....	122
5. Goupilles.....	122
6. Guidages linéaires.....	123
7. Filetages.....	124
8. Assemblage par vissage.....	131
9. Joints d'étanchéité .....	133
10. Roulements .....	134
11. Paliers .....	139
12. Accouplements.....	140
13. Transmission de mouvement.....	140
15. Graissage et lubrification.....	145
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>148</b>

## Chapitre 1

### Matériaux

#### 1. Notion de métallurgie

La **métallurgie** est l'ensemble des opérations qui permettent, en partant du **minerai**, d'obtenir le métal correspondant, d'abord sous forme de lingots, eux-mêmes à transformer en produits du commerce.

Le minerai extrait des **mines** souterraines contient jusqu'à 60 % de **métal** souvent sous forme d'oxyde mêlé à la terre et à des impuretés. Le minerai chauffé à la température de fusion\* du métal (\*transformation du métal de l'état solide à l'état liquide), libère ce dernier.

Le métal encore liquide est recueilli dans des moules où il prend, en refroidissant, l'état solide généralement en **lingots** ou gueuses\* (\*élément de fonte de première fusion dont la surface est très rugueuse).

Enfin des opérations d'affinage\*(\*production de métal fin par purification) permettent, s'il y a lieu, l'élaboration\* d'un produit plus pur dit **métal fin**.

Les industries métallurgiques ont pour but de produire économiquement des matières d'œuvre métalliques ainsi que certains objets commerciaux conformes aux normes, ceci sans nécessiter d'usinage ultérieur.

#### 2. Propriétés physiques des matériaux

Les matériaux utilisés en construction mécanique doivent posséder les propriétés diverses exigées des mécanismes considérés.

##### 2.1 Propriétés physiques pratiques

Elles intéressent principalement la production des pièces mécaniques.

**Ductilité.** Aptitude du matériau à être étiré en fils de faible section (acier, cuivre, laiton, aluminium).

**Malléabilité.** Aptitude à la déformation à chaud (ou à froid) par choc ou par pression. Réduction en feuilles minces par laminage (acier...).

**Fusibilité.** Aptitude à la fusion à chaud (fonte, bronze).

**Soudabilité.** Aptitude à l'assemblage par soudage sans altération de la résistance (acier sur acier).

**Usinabilité.** Aptitude d'un matériau à se laisser façonner par formation de copeaux à l'outil de coupe.

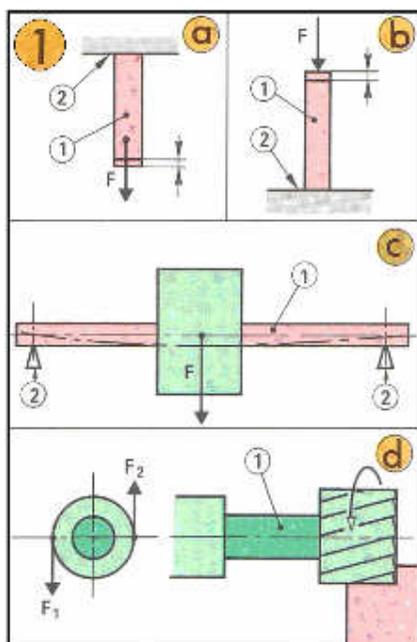
## 2.2 Propriétés mécaniques

Elles intéressent surtout le fonctionnement des pièces, leur comportement sous les contraintes par compression, traction, torsion, choc, vibration, frottement, ... etc.

**Résistance mécanique (R).** C'est la charge par  $\text{mm}^2$  que peut supporter le matériau considéré s'exprime en  $\text{daN/mm}^2$  ou hbar.

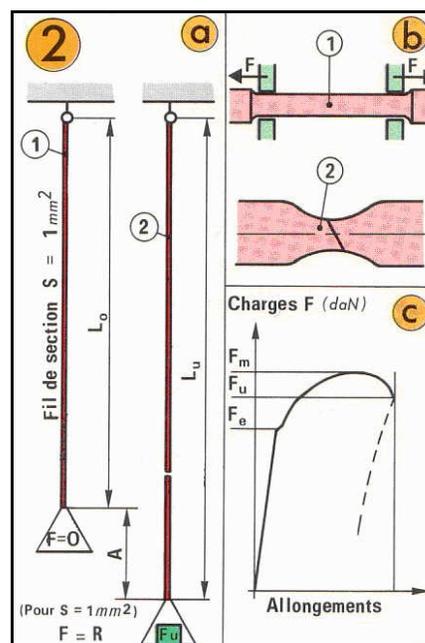
$R_r$  : Pour rupture par compression ou par traction.

$R_e$  : Limite de  $R < R_r$ , au-delà de laquelle les déformations du matériau deviennent permanentes ( $R_e$  = Limite élastique) (fig. 1 et 2).



**Contraintes mécaniques**

**a) Traction ; b) Compression ; c) Flexion :** Barre sous charge  $F$  en son milieu ; **d) Torsion :** Arbre tournant soumis à un couple de force  $F_1, F_2$ .  
 (1) Pièce sous contrainte ; (2) Appui, encastrement, etc.



**Essai de traction (1)**

**a) Expérience sur un fil métallique** de section =  $1 \text{ mm}^2$ . (1) Fil sous charge nulle ; (2) Fil sous charge  $F = R$  en  $\text{daN/mm}^2$  ou hbar . Allongement  $A \% = 100 (L_u - L_0) : L_0$  ;  
**b) Principe de l'essai.** (1) Eprouvette ; (2) Forme de la rupture sous contrainte ;  
**c) Diagramme de l'essai.**

**Dureté (H).** C'est la résistance à la pénétration du matériau par un corps plus dur sous une charge.

**Résilience (K).** C'est la résistance unitaire du matériau au choc : s'exprime en  $J/cm^2$  ou énergie développée pour rompre un barreau de  $1\text{ cm}^2$  de section ( $1\text{ J} = 1\text{ N}\cdot\text{m}$ ). Le joule (J) est l'unité d'énergie ou de travail.

### 2.3 Autres propriétés

Les pièces possèdent des surfaces fonctionnelles pour les liaisons mécaniques avec rotation ou glissement ce qui nécessite des aptitudes supplémentaires.

**Qualité de frottement.** On distingue les frottements :

- à sec. Ex. fonte / fonte, fonte / acier, acier / bronze ;
- sous lubrification entre deux matériaux quelconques.

**Qualité d'inoxidabilité.** L'oxydation des surfaces altère leur aptitude au glissement. Les matériaux sont, en ordre décroissant d'inoxidabilité fonte et bronze, acier trempé et poli, laiton, acier ordinaire.

## 3. Essais mécaniques des matériaux

Les essais mécaniques ont pour but de définir les diverses caractéristiques des matériaux qui permettent :

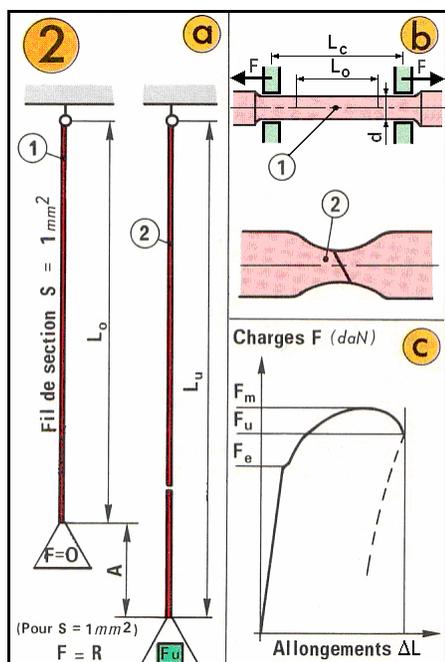
- de comparer les matériaux entre eux ;
- de les choisir en fonction des sollicitations mécaniques subies par les pièces ;
- de vérifier que le matériau livré correspond à celui qui était demandé.

Les essais mécaniques se pratiquent soit sur les matériaux bruts, soit sur les pièces finies, soit (le plus souvent) sur des éprouvettes-échantillons du matériau considéré.

### 3.1 Essai de traction (fig. 2 et 3)

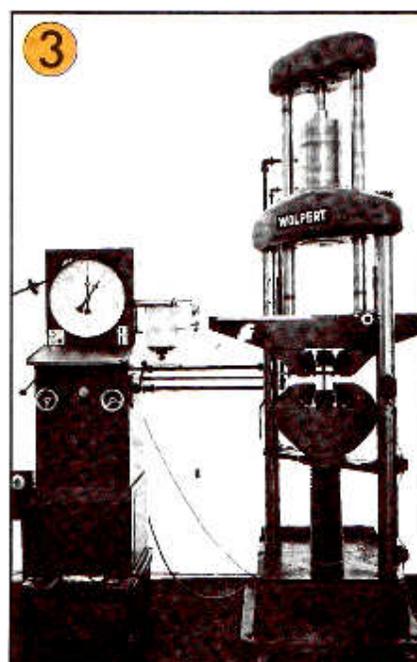
Il permet de définir plusieurs caractéristiques mécaniques :

- la résistance à la traction  $R_m$  (ou  $R$ ) appelée également **ténacité** ;
- la limite apparente d'élasticité  $R_e$  ;
- le pourcentage d'allongement après rupture  $A\%$ .



**Essai de traction (1)**

- a) Expérience sur un fil métallique de section = 1 mm<sup>2</sup>.** (1) Fil sous charge nulle ; (2) Fil sous charge  $F = R$  en daN/mm<sup>2</sup> ou en hbar . Allongement  $A \% = 100 (L_u - L_0)/L_0$  ;  
**b) Principe de l'essai.** (1) Epreuve de diamètre  $d$  ; (2) Forme de la rupture sous contrainte ;  
**c) Diagramme de l'essai.**



**Essai de traction (2)**

*Cliché Wolpert.* Machine d'essai de traction. L'éprouvette est prise entre deux systèmes à mâchoires. Pendant l'essai le plateau de la mâchoire supérieure est appelé vers le haut au moyen d'un système hydraulique. Les efforts de traction et les allongements de l'éprouvette sont enregistrés. Effort maxi : 20 kdaN (20 000 daN).

**Principe de l'essai**

On soumet une éprouvette échantillon du matériau à étudier à un effort de traction dont on peut augmenter la valeur progressivement.

**Eprouvette**

Afin que les résultats d'essais soient comparables, il faut tous les effectuer dans les mêmes conditions, en respectant la forme et les dimensions normalisées d'éprouvettes :

- Forme cylindrique pour les métaux en barre (fig. 2b) ;
- Forme prismatique pour les métaux en feuille.

$d$  = diamètre de l'éprouvette ;

$$S_o = \text{section initiale de l'éprouvette} : S_o = \frac{1}{4} \pi d^2 ;$$

$L_o$  = longueur entre les deux repères quand la charge  $F$  est nulle.

**Machine (fig. 3)**

Elle assure un effort de traction qui croît lentement jusqu'à rupture de l'éprouvette.

Le cadran indique simultanément à chaque instant :

- l'effort de traction  $F$  ;
- l'allongement de l'éprouvette  $\Delta L$ .

Un enregistreur permet de tracer la courbe de traction  $\Delta L = f(F)$

**Expérience :**

Recherche expérimentale de la charge  $F$  capable de provoquer la rupture d'un fil d'acier de section  $1 \text{ mm}^2$ . Cette charge  $F \rightarrow R_r$  est comprise entre 30 et 80 daN. En plaçant des charges croissantes pendant quelques instants, on constatera par exemple :

- Jusqu'à  $F = 40 \text{ daN}$  le fil s'allonge puis, après enlèvement de la charge, il reprend sa longueur initiale.
- Au-delà de 40 et jusqu'à 60 daN le fil ne revient pas à sa longueur initiale.
- Pour  $F = 60 \text{ daN}$  le fil se rompt après s'être allongé de 15%.

**Résultats :**

Limite élastique  $R_e = 40 \text{ daN/mm}^2$  ou 40 hbar.

Résistance à la rupture  $R_r = 60 \text{ daN/mm}^2$  ou 60 hbar.

Allongement %  $A = 15 \%$ .

**Nota :** Les essais de résistance à la traction s'effectuent sur des éprouvettes normalisées.

**Application :** Calculer  $R_e$ ,  $R_m$  et  $A \%$ .

Données :  $F_e = 16\,000 \text{ N}$

$$F_m = 29\,000 \text{ N}$$

$$S_0 = 76,5 \text{ mm}^2$$

$$L_u = 70 \text{ mm}$$

$$L_0 = 50$$

**Résultats :**

$$R_e = \frac{F_e}{S_0} = \frac{16\,000}{76,5} = 209 \text{ N/mm}^2$$

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} = \frac{29\,000}{76,5} = 379 \text{ N/mm}^2$$

$$A \% = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100 = \frac{70 - 50}{50} \times 100 = 40 \%$$

**Nota :** La contrainte pratique de résistance à la traction d'une pièce mécanique doit toujours être inférieure à  $\frac{R_e}{\alpha}$  ( $\alpha$  : coefficient de sécurité varie entre 2 et 10).

### 3.2 Essai de dureté (fig. 4)

L'essai s'effectue par pénétration sous charges déterminées, soit sur un échantillon du matériau, soit sur la pièce elle-même.

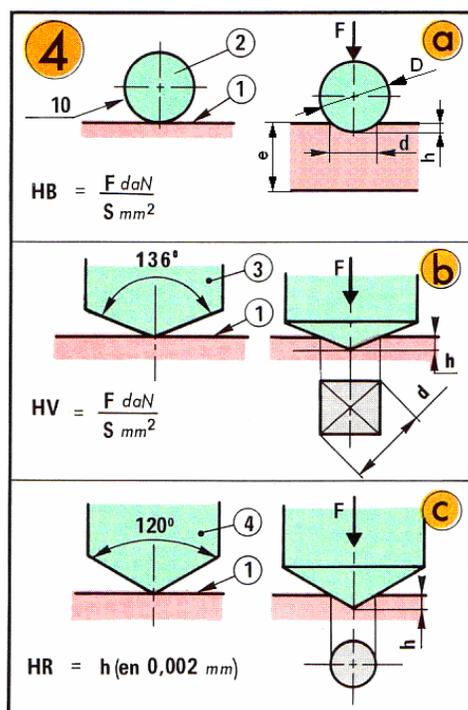
La dureté d'un métal est la résistance qu'il oppose à la pénétration d'un corps plus dur. Pour des conditions expérimentales données, la dureté d'un métal A est d'autant plus grande que sa pénétration par un corps B est faible. Le symbole de la dureté est H (Hardness).

On distingue trois grands types d'essais. Certaines machines sont équipées pour réaliser les trois.

**Fig. 4 a. Dureté HB.** Essai Brinell sous une bille d'acier trempé.

**Fig. 4 b. Dureté HV.** Essai Vickers sous une pointe pyramidale en diamant.

**Fig. 4 c. Dureté HR.** Essai Rockwell sous une pointe conique en diamant.



**a) Essai de Brinell :** résultat d'après  $d$ .

**b) Essai de Rockwell :** résultat d'après  $h$ .

(1) Pièce échantillon ; (2) Bille en acier trempé ;  
(3) Pyramide en diamant ; (4) Cône en diamant ;  
 $F$  : Force appliquée

**c) Essai de Vickers :** résultats d'après  $d$ .

#### a) Essai de Brinell

##### Principe

Il consiste à imprimer dans le métal étudié, une bille d'acier très dur de diamètre  $D$  sous l'action d'une charge  $F$ .

$D$  et  $F$  dépendent du matériau à essayer. Les valeurs les plus courantes sont  $D = 10 \text{ mm}$  et  $F = 29\,420 \text{ N}$ , elles sont utilisées surtout pour les essais des métaux ferreux et des bronzes.

**Désignation :** HB sans autre indication si  $D = 10 \text{ mm}$ ,  $F = 29\,420 \text{ N}$  et la durée 10 à 15 s.

Pour tous les autres cas les valeurs de  $D$  et  $F$  doivent être précisées.

**Exemple :**

H 2,5 – 1 840 – 15

D = 2,5 mm

F = 1 840 N

durée 15 s

**Mesure :** Diamètre (d) de l'empreinte.**Résultat :** La dureté Brinell HB est un nombre proportionnel au rapport :

$$\frac{F \text{ (charge en N)}}{S \text{ (aire de l'empreinte en mm}^2\text{)}}$$

$$HB = \frac{2 F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

**Remarques**

- L'empreinte laissée par la bille est importante :  $d \approx 3 \text{ mm}$ .
- La dureté du matériau doit être inférieure à celle de la bille (la solution est déconseillée si  $HB \geq 250$ ).
- L'épaisseur  $e \geq 10 h$  pour éviter les déformations.
- L'essai de traction est destructif, il faut prélever sur la pièce un échantillon. L'essai de dureté n'est pas destructif.
- Pour les aciers non alliés la dureté Brinell est liée à la résistance à la traction par la relation :

$$R_m = 3,5 HB$$

$$N/mm^2$$

- Domaine d'utilisation : Pièces brutes de laminage ou de moulage.

**b) Essais Rockwell****Principe**

Il consiste à imprimer en deux étapes un pénétrateur, **bille d'acier** ou **cône de diamant**, dans le matériau à tester en exerçant deux charges d'intensité connue  $F_0$  et  $F_1$ .

- **Essai au cône de diamant**

Angle au sommet  $120^\circ$  est utilisé pour le contrôle de la dureté des matériaux durs  $HB > 250$  ( $R_m > 900 \text{ N/mm}^2$ ). L'empreinte doit être réalisée sur une surface propre. **Résultat : HRC.**

- **Essai à la bille**

Différents diamètres de billes sont utilisés, le plus courant pour les alliages de Fe, Al, Cu, est celui de 1,58 mm. L'essai à la bille n'est pas recommandé si  $HB \geq 250$ . L'empreinte peut être réalisée sur une surface brute (mais exempte d'oxydation). **Résultat dureté HRB.**

**c) L'essai Vickers**

**Principe**

Il consiste à imprimer dans le métal étudié un pénétrateur de diamant en forme de pyramide à base carrée, d'angle au sommet de  $136^\circ$ , sous l'action d'une charge  $F$ . La dureté du matériau est fonction de la grandeur de l'empreinte laissée par le pénétrateur.

On mesure la diagonale de l'empreinte à l'aide d'un microscope spécial puis on calcule l'aire de la pyramide à base carrée :

$$S = \frac{d^2}{2 \sin \frac{136^\circ}{2}}$$

**Charge à utiliser**

Elle peut varier de 49 N à 981 N ; la charge d'essai normale est de 294 N.

**Durée du maintien de la charge :** 10 à 15 s.

**Résultat :**

Dureté Vickers :

$$HV = \frac{F \text{ (charge en N)}}{S \text{ (aire en mm}^2\text{)}} = \frac{2 F \sin 136^\circ / 2}{d^2}$$

**Correspondance entre résistance et dureté**

Des essais comparatifs de la résistance  $R$  et de la dureté  $HB$  permettent de considérer l'existence d'un rapport constant entre ces deux grandeurs en ce qui concerne les aciers courants non trempés.

Pour les aciers :

$$0,36 \approx \frac{R_r \text{ (en daN / mm}^2\text{)}}{HB \text{ (en nombre de dureté Brinell)}}$$

**Exemple :** Quelle est la résistance  $R_r$  d'un acier dont la dureté  $HB = 170$  ?

On a  $R_r \approx 170 \times 0,36 = 61 \text{ daN/mm}^2$  ou 61 hbar.

### 3.3 Essai de résilience (fig. 5)

Il permet d'évaluer la fragilité au choc.

#### Principe de l'essai

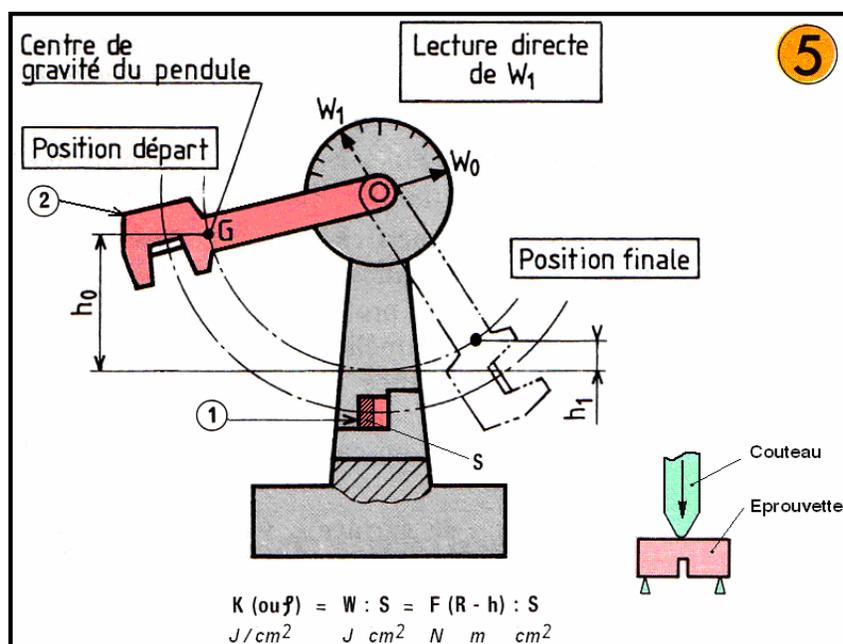
La résilience (symbole K) caractérise la résistance à la rupture par choc d'un matériau. Un métal résistant bien aux chocs a une grande résilience.

L'essai consiste à rompre d'un seul coup à l'aide d'un « couteau » une éprouvette entaillée en son milieu et reposant sur deux appuis (fig. 5).

On mesure l'énergie absorbée et on déduit la résilience qui s'exprime en joule par  $\text{cm}^2$  ( $\text{J}/\text{cm}^2$ ).

#### Machine d'essai

La plus utilisée est le mouton pendulaire de Charpy (fig. 5).



#### Essai de résilience

##### Principe de l'essai au Mouton pendulaire de Charpy.

(1) Epreuve ; (2) Masse frappante de poids F, dépassant le point après rupture de l'épreuve.

$$\frac{\rho \text{ ou } K}{\text{J}/\text{cm}^2} = \frac{F(R-h) : S}{\text{N m cm}^2}$$

Le pendule a la forme d'un disque présentant une entaille biseautée ou couteau. L'éprouvette se place de façon telle que le plan d'oscillation coïncide avec le plan axial du couteau.

Le couteau est monté à une hauteur  $h_0$ , l'énergie disponible est  $W_0$  joules.

Le couteau tombe, casse la pièce et remonte à une hauteur  $h_1$ , l'énergie résiduelle disponible est  $W_1$ , elle est lue directement sur le cadran de l'appareil.

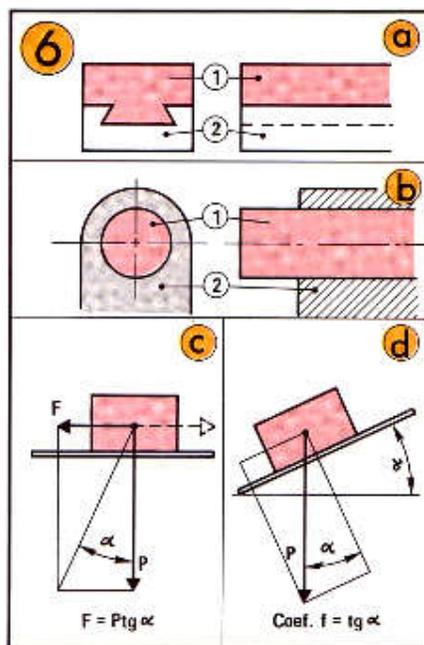
### Énergie absorbée par le choc

$$W = W_0 - W_1$$

$$\text{Résilience en J/cm}^2 = \frac{W \text{ (Energie absorbée par le choc en Nm ou J)}}{S \text{ (Section de la cassure de l'éprouvette en cm}^2\text{)}}$$

### 3.4 Essai de frottement (fig. 6)

L'aptitude au glissement d'un matériau sur un autre est mesurée par un rapport entre deux grandeurs. Ce rapport est dit coefficient de frottement.



#### Le frottement

- a) Entre surfaces planes. (1) Coulisseau ; (2) Coulisse.  
 b) Entre surfaces circulaires. (1) Pièce mâle ; (2) Pièce femelle. c) Glissement sur un plan horizontal.  
 d) Glissement sur un plan incliné d'un corps de poids P.

#### Expérience :

Pour déplacer par glissement un corps de poids P sur un plan horizontal, on doit exercer une force horizontale F mesurable au dynamomètre.

On a coefficient de frottement :  $f = F/P$ .

Le même glissement pourrait résulter d'une inclinaison  $\geq \alpha$  appliquée au plan précédemment horizontal.

On a coefficient de frottement :  $f = \text{tg } \alpha = F/P$ .

**Quelques valeurs de f** (approximatives pour surfaces lisses) : selon les matériaux en contact.

Arbres (*acier*) sur coussinets (*bronze ou fonte*) : 0,15

Roues (*acier*) sur rails (*acier*) : 0,18

Courroie (*cuir*) sur poulies (*acier*) : 0,35

Freins (*ferodo sur acier*) : 0,45

Pneus sur route sèche, revêtement moderne : 0,90.

## 4. Principaux alliages industriels

Souvent divers métaux sont mélangés entre eux ou avec d'autres corps pour allier leurs qualités respectives ou en acquérir de nouvelles. On obtient ainsi des alliages.

La métallurgie procure à l'industrie tous les métaux et alliages utilisés dans les constructions mécaniques et les industries connexes, notamment :

- Les métaux ferreux : fontes et aciers ;
- Le cuivre et ses alliages : laitons, bronzes, etc. ;
- L'aluminium et ses alliages : duralumin, alpax, etc.

**Nota :** *Le fer pur n'est pratiquement pas utilisé en construction.*

#### 4.1 Les métaux ferreux

Ce sont des alliages complexes contenant 20 à 99,9 % de fer et toujours du carbone (0,1 à 6%).

Les fontes contiennent 2 à 6 % de carbone.

Les aciers contiennent 0,1 à 1 % de carbone.

Tous les métaux ferreux sont issus directement ou non de la fonte. Cette dernière permet d'obtenir les pièces mécaniques moulées.

#### 4.2 Production de la fonte

On distingue :

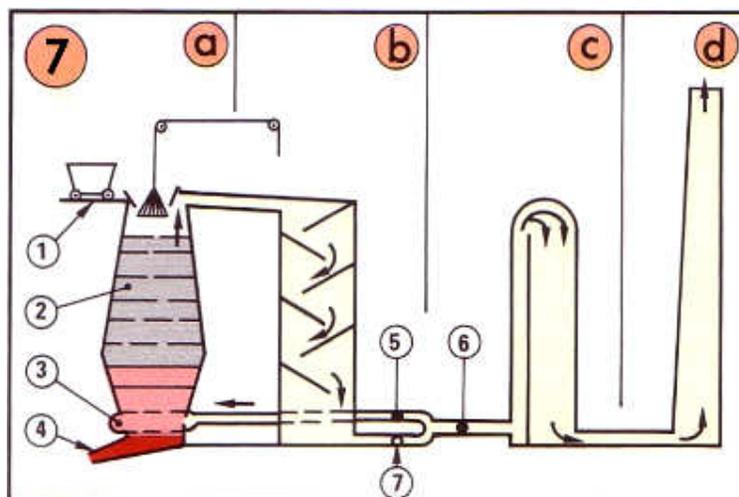
- la fonte de 1<sup>ère</sup> fusion de haut-fourneau issue du minerai ;
- la fonte de 2<sup>ème</sup> fusion de cubilot\* (\*four à cuve, chauffé au coke).

##### • Fonte de première fusion

**Cycle de production dans un haut-fourneau** (fig. 7).

- Le minerai tout venant est trié, concassé et lavé.
- Le minerai propre additionné de **coke métallurgique\*** (\*combustible issu de la houille) et de **fondant\*** (\*carbonate facilitant la fusion de la fonte dans le cubilot et l'élimination des impuretés) est versé dans le haut-fourneau en marche continue.
- L'air (chaud et sous pression) soufflé au bas active la combustion jusqu'à 1600 °C.
- La fonte en fusion s'écoule tout en bas par un trou de coulée au-dessus duquel sont évacuées les impuretés.
- Les gaz chauds ascendants se dépoussièrent puis chauffent les éléments d'un récupérateur de chaleur agissant thermiquement sur l'air soufflé.

**Nota :** *Souvent la fonte produite au haut-fourneau est transformée sur place en acier avant même son refroidissement. Voir fig. 8, la chaîne des transformations au départ du haut-fourneau.*



### Ensemble métallurgique Schéma de traitement du minerai de fer.

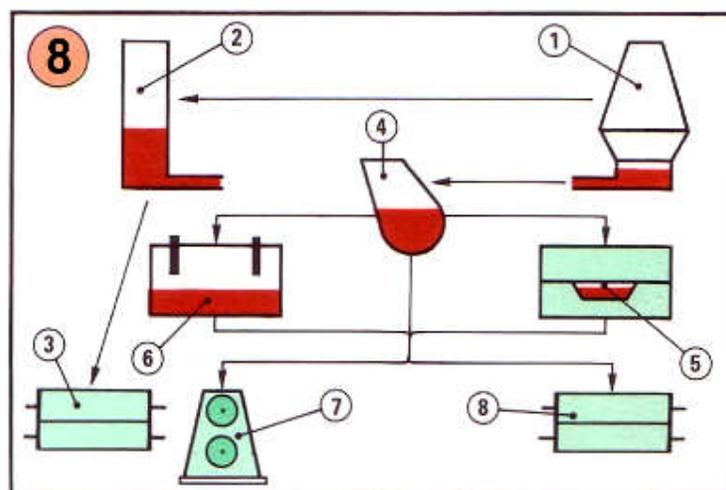
#### a) Haut-fourneau.

(1) Chargement ; (2) Ventre ; (3) Soufflerie ; (4) Orifice de coulée.

#### b) Dépoussiéreur.

c) Récupérateur de chaleur ;  
(5, 6) Vannes obturatrices ; (7) Ventilateur.

#### d) Cheminée d'évacuation.



### Chaîne des produits ferreux

#### À partir du minerai de fer. (1)

Haut-fourneau (fonte 1<sup>ère</sup> fusion) ;

(2) Cubilot (fonte 2<sup>ème</sup> fusion) ; (3)

Moulage de fonte en châssis ; (4)

Convertisseur d'acier ; (5) Four

Martin ; (6) Affinage au four

électrique ; (7) Laminoir d'ébauche ;

(8) Moulage d'acier.

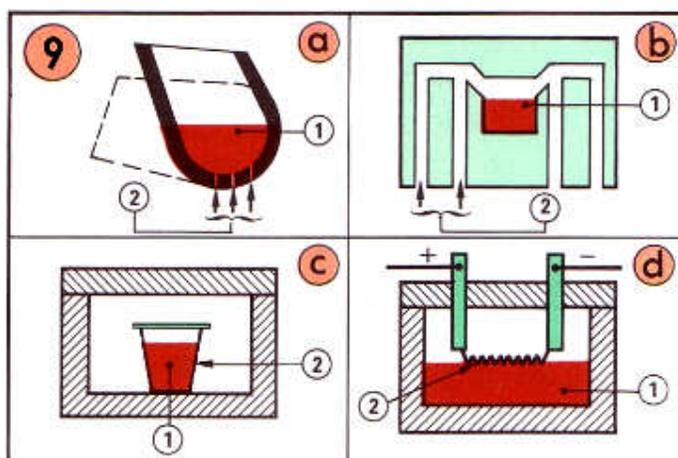
#### • Fonte de deuxième fusion

Les pièces mécaniques en fonte moulée, dite de fonte mécanique, utilisées en construction mécanique, sont produites à l'issue d'une deuxième fusion dans un cubilot à partir de gueuses de première fusion et de riblons (déchets) de fonte et d'acier.

#### Fontes spéciales :

- Avec addition de nickel + silicium : **fontes de trempe** ;
- Avec addition de chrome + aluminium : **fontes de frottement** ;
- Avec réduction du carbone : **fontes malléables**.

#### 4.3 Production des aciers (fig. 8 et 9)



### Élaboration des aciers.

#### Diverses techniques.

**a) Convertisseur Bessemer basculant** (procédé Thomas). (1) Fonte liquide ; (2) Air soufflé.

**b) Four à gaz** (procédé Martin). (1) Acier + additions ; (2) Gaz combustible.

**c) Four à creuset.** (1) Acier liquide ; (2) Creuset.

**d) Four électrique.** (1) Acier ; (2) Arc électrique.

Les divers procédés permettent d'obtenir l'acier :

- Soit en retirant de la fonte le carbone en excès ;
- Soit en dosant le carbone et autres additifs dans un métal à très faibles teneurs autres que le fer.

- **Convertisseur Bessemer**

Ce procédé *Thomas* (inventé en 1876) consiste à brûler une partie du carbone d'une fonte à l'état liquide par soufflage d'air comprimé. La fonte se transforme en acier versé dans des lingotières. Les lingots de 200 à 400 kg seront ensuite transformés.

- **Four Martin**

Le procédé *Martin* (inventé en 1855) consiste à fondre un mélange dosé de fonte, de ferraille ou riblon et d'autres additifs, dans un four chauffé à l'aide d'un mélange d'air et de gaz préalablement réchauffé. L'acier est versé dans des lingotières ou encore dans des moules pour obtenir les pièces brutes en acier moulé.

- **Creuset**

La fusion à l'abri de toute impureté permet d'obtenir les aciers fins par un dosage convenable des constituants (fer + additifs).

- **Four électrique**

La chaleur est produite par l'établissement d'un arc électrique entre deux électrodes pour fondre les aciers fins de construction.

#### Aciers spéciaux :

- Avec addition de nickel : **aciers inoxydables**.

- Avec addition de silicium : **aciers à ressort**.
- Avec addition d'aluminium : **aciers indéformables**.
- Avec addition de chrome : **aciers durs et tenaces**.
- Avec addition de tungstène : **aciers de coupe**.

#### 4.4 Les métaux non-ferreux

On désigne ainsi tous les métaux ou alliages ne comportant pas de fer. Voici les principaux :

**Cuivre** : métal non allié, rouge, malléable, ductile\* (\*qui peut être allongé ou étiré sans se rompre).

**Bronze** : cuivre + 10 à 25 % étain (*pièces moulées frottantes*).

**Laiton** : cuivre + 20 à 40 % zinc (*métal en barre, peu oxydable*).

**Maillechort** : cuivre + zinc + 25 % nickel (*pièces inoxydables*).

**Aluminium** : métal non allié, gris blanc, malléable, ductile.

**Alpax** : aluminium ± 13 % silicium (*pièces moulées*).

**Duralumin** : aluminium + 3 % cuivre (*pièces forgées*).

**Duralinox** : aluminium + 5 % magnésium (*pièces chaudronnées*).

### 5. Traitements des aciers

#### 5.1 Définition et but

Les traitements consistent à agir par des moyens mécaniques, thermiques ou chimiques sur les matériaux pour en modifier les caractéristiques dans leur masse tout entière ou seulement sur tout ou partie de leur surface. Les principales caractéristiques sont modifiées ou procurées par les traitements à différents stades de l'élaboration des pièces :

- sur le matériau brut : pièces forgées, pièces embouties, barres et feuilles ;
- sur les pièces demi-finies : pièces comportant des surfaces fonctionnelles à terminer après traitement ;
- sur pièces finies : pièces à protéger contre les agents chimiques.

#### • Caractéristiques visées

Les traitements améliorent surtout les caractéristiques mécaniques (R, H, A, K) et les qualités de surface (coefficient de frottement et inoxydabilité).

#### 5.2 Traitements mécaniques

Les actions mécaniques telles que martelage, traction-compression alternée, frottement, rendent les métaux plus durs (H ↗), plus résistants (R ↗), mais moins résilients (K ↘) et elles abaissent leur caractéristique d'allongement (A ↘).

## • Écrouissage

L'ensemble des modifications qui précèdent atteint une valeur maximale caractérisant l'état d'écrouissage. Généralement c'est un état mécanique négatif auquel il faut remédier, mais parfois au contraire on le recherche lorsque H est la caractéristique dominante désirée.

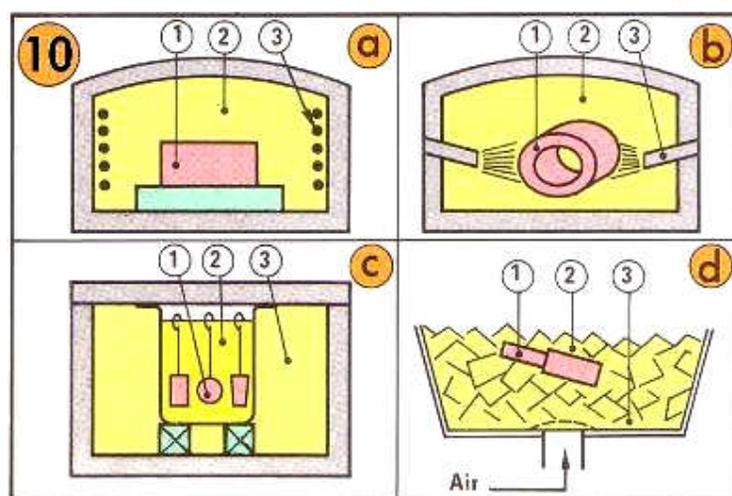
### 5.3 Traitement thermique des aciers

Ils s'appliquent aux divers alliages métalliques utilisés en construction mécanique et agissent selon la composition de ces derniers. Pour les aciers, seuls considérés ici, ils modifient surtout la structure due à la présence de carbone (0,1 à 1 % C) dans l'acier.

Fig. 10. Modes de chauffage.

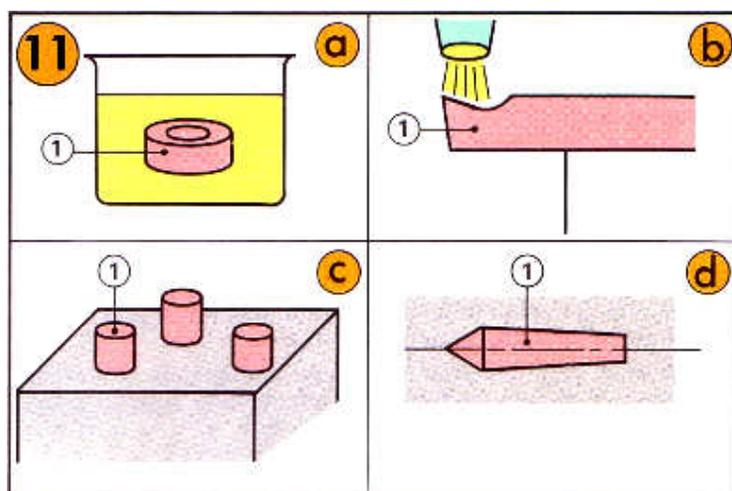
Fig. 11. Modes de refroidissement.

Fig. 12. Traitements thermiques de l'acier.



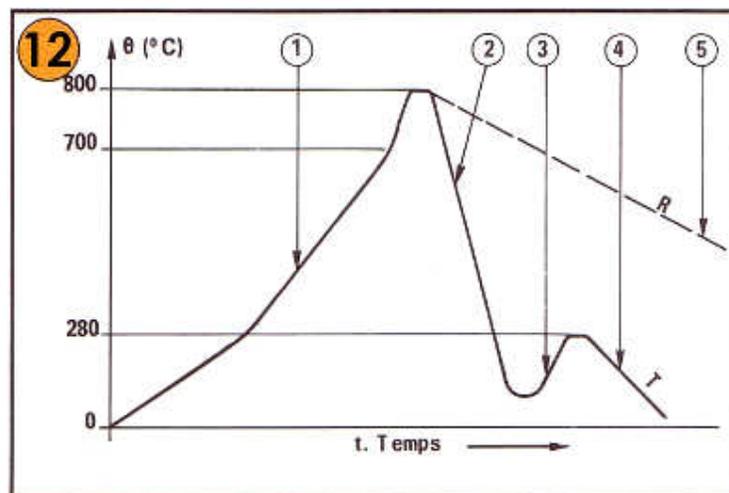
#### Modes de chauffage

Pour température  $\leq 1\ 300\ ^\circ\text{C}$ . a) Four électrique. b) Four à gaz. c) Four à bain chauffé. d) Foyer à charbon. (1) Pièce à chauffer ; (2) Enceinte chauffée ; (3) Source productrice de chaleur.



#### Modes de refroidissement

Vitesses de refroidissement de la pièce traitée. a) Rapide : en bain d'eau ou d'huile. b) Peu rapide : sous jet d'air. c) Normale : à l'air libre. d) Retardée : dans une poudre réfractaire. (1) Pièce à refroidir.



**Traitements thermiques de l'acier. Diagrammes-typés pour l'acier ordinaire au carbone pour trempé (T) à 800 °C avec revenu à 280° = (1 + 2 + 3 + 4).**

(1) Chauffage lent, rapide puis très rapide ; (2) Refroidissement rapide interrompu ; (3) Réchauffage ; (4) Refroidissement assez rapide. **Pour recuit (R) à 800°C (1 + 5).**

### • La trempe

Un chauffage de l'acier au-dessus de 800 °C suivi d'un refroidissement rapide rend toute la masse plus dure ( $H \uparrow$ ) et dans certaines conditions plus résistantes ( $R \uparrow$ ). L'expression « tremper » est due à la méthode de refroidissement par plongée de la pièce chaude dans un fluide (eau, huile, gaz).

En général, la trempe consiste à soumettre l'acier à un cycle thermique comprenant successivement :

- un chauffage destiné à mettre certains constituants en solution solide dans la phase stable, à haute température (austénitisation) ;
- un refroidissement (trempe) de mode approprié, effectué à partir d'une certaine température dite température d'austénitisation, jusqu'à une autre température plus basse et pouvant être différente de la température ambiante.

La trempe est souvent la première étape d'un traitement plus complexe, comportant ensuite un ou plusieurs revenus.

L'ensemble de ces traitements a pour but une amélioration des caractéristiques du métal traité, par exemple la résilience pour une résistance déterminée.

### **Effets de la trempe**

La trempe peut produire l'un des effets suivants :

- la solution solide stable à chaud subit pendant le refroidissement un changement de phase pratiquement total s'accompagnant d'un accroissement notable de la dureté (trempe martensitique, trempe bainitique) ;

- la solution solide ne se transforme que partiellement au refroidissement en constituants durs ; un ou des traitements thermiques complémentaires pourront produire un nouvel accroissement de dureté, soit en parachevant la transformation, soit en provoquant la précipitation de composants moins solubles à froid (durcissement secondaire) ;
- la solution solide stable à chaud ne subit pratiquement aucune transformation jusqu'à la température ambiante ; il y a en général adoucissement du métal (trempe des aciers inoxydables austénitiques : hypertrempe) ; pour certains aciers inoxydables un réchauffage subséquent à température moyennement élevée peut produire un durcissement secondaire.

**Note :** le terme « trempe » ne s'applique qu'au type de refroidissement : trempe à l'eau, trempe à l'huile, trempe à l'air soufflé... Il est improprement utilisé pour désigner le traitement de durcissement par trempe.

### ***Durcissement par trempe après chauffage superficiel***

On pratique un chauffage localisé de la surface d'une pièce (par induction ou à l'aide d'un chalumeau), suivi d'un refroidissement par aspersion ou immersion.

Ceci confère une grande dureté en surface, sans modifier les caractéristiques mécaniques à coeur et améliore la tenue à la fatigue (portées de vilebrequins, flancs de dents, arbres à cames, etc.).

#### **• Le revenu**

Après une opération de trempe on améliore la résilience ( $K \nearrow$ ) soit localement, soit totalement en interrompant le refroidissement rapide ou en réchauffant jusqu'à 400 ou 500 °C la pièce trempée et refroidie. On peut également par un revenu réduire l'écrouissage.

Le revenu est un traitement thermique effectué sur un produit après durcissement par trempe, en vue de modifications lui conférant les caractéristiques d'emploi désirées.

Ce traitement provoque la formation d'une structure plus proche de l'état d'équilibre physico-chimique que celle obtenue lors de la trempe.

En règle générale, le revenu se traduit :

- soit par un adoucissement qui conduit à une amélioration des caractéristiques de ductilité ;
- soit par un durcissement secondaire.

#### **• Le recuit**

Le recuit a pour but, séparément ou simultanément :

- de réduire les conséquences sur la structure dus à la solidification, à une déformation, à un soudage ou un traitement thermique antérieur ;

- de mettre le métal dans un état adouci défini ou de tendre vers cet état, si la structure a été perturbée par les traitements antérieurs ;
- de provoquer la formation de structures favorables à l'usinage ou à la déformation à froid ;
- de provoquer la formation d'une structure déterminée en vue, par exemple, d'un traitement thermique ultérieur ;
- d'éliminer ou de réduire les contraintes internes ;
- d'atténuer les hétérogénéités de la composition chimique du métal.

Le cycle thermique comporte :

- un chauffage jusqu'à une température dite température de recuit, déterminée en vue du but à atteindre ;
- éventuellement, un maintien isotherme ou des oscillations autour de cette température ;
- un refroidissement à l'air calme, en suivant une loi imposée.

Un chauffage au-dessus de 800 °C suivi d'un refroidissement très lent détruit totalement les effets de la trempe ou de l'écrouissage.

### **Réversibilité des traitements des aciers.**

1. L'acier écroui peut être recuit. L'acier recuit peut être écroui.
2. L'acier trempé peut être revenu ou recuit. L'acier revenu ou recuit peut être trempé.

## **6. Traitements thermochimiques**

Ils consistent à incorporer à chaud dans l'acier un corps améliorant les aptitudes des surfaces.

### • **Cémentation (fig. 13).**

Incorporation à chaud (900 °C) de carbone dans la couche superficielle d'un acier à faible teneur de carbone, suivie d'une opération de trempe. Résultats :

<b><i>dans la masse</i></b>	<b><i>en surface</i></b>
R et K inchangés	H : très amélioré

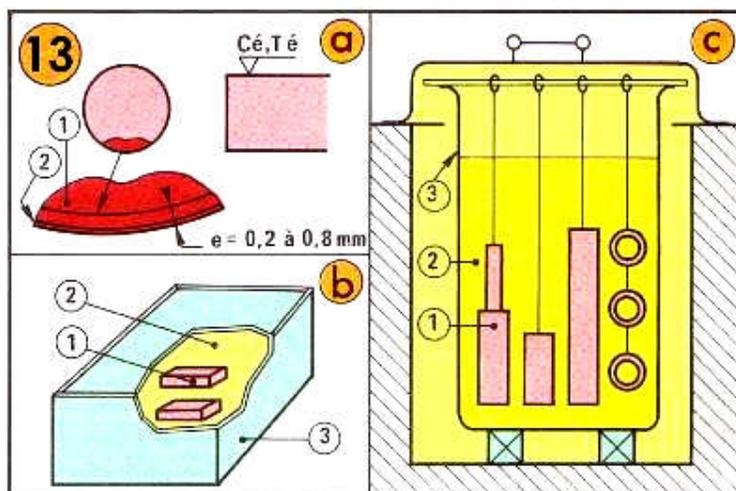
Les surfaces fonctionnelles doivent être ensuite rectifiées.

On utilise pour cémenter divers produits :

**Cément solide** : pièces en caisses. Vitesse de pénétration 0,1 mm par heure de chauffe.

**Cément liquide** : pièces dans un bain (cyanure de sodium). Vitesse de pénétration 0,3 mm par heure de chauffe.

**Cément gazeux** (gaz carbonique).



### Traitements thermochimiques

#### Cémentations de l'acier.

##### a) Pièce cylindrique à cémenter.

(1) intérieur non traité ;

(2) Extérieur cémenté.

##### b) Cémentation au ciment en caisse.

(1) Pièces ; (2) Ciment ;

(3) Caisse en acier.

##### c) Cémentation liquide au cyanure de sodium.

(1) Pièce ;

(2) Cyanure ; (3) Cuve en acier.

### • Nituration

Incorporation à chaud (550 °C) d'azote dans la couche superficielle d'un acier spécial à l'aluminium. On obtient la formation de nitruure de fer, très dur 0,3 mm en 48 h. Le résultat est analogue à celui de la cémentation mais sans trempe, ni oxydation, ni déformation, grâce à la modération de la température de traitement. Il est ainsi possible de nitrurer des pièces complètement achevées (y compris éventuellement la finition par rectification).

### **Conduite des traitements thermiques**

Chaque traitement est caractérisé par :

- la température à atteindre et la durée de chauffe ;
- le régime de chauffe et de refroidissement.

### **Moyens de chauffage**

On distingue principalement :

- le feu de forge artisanal au charbon ( $\theta = 200$  à  $1\ 000$  °C) ;
- les fours à gaz, ou électriques, ou à bain de sels ( $\theta = 200$  à  $1\ 300$  °C).

La température est réglée dans les fours à  $\pm 20$  °C au moyen d'appareils pyrométriques.

### **Déformations dues aux traitements thermiques**

Au-delà de 600 °C les pièces se déforment en cours de chauffage et surtout au cours du refroidissement rapide cas de la trempe. Ceci justifie la prévision de surépaisseurs de 0,2 à 0,5 mm à enlever après traitement, par rectification abrasive (sauf après nituration).

**Quelques exemples de traitements thermiques**

- **Outil de four, en acier rapide au tungstène.** Trempe : chauffage lent au four à 900 °C, rapide à 1 250 °C, refroidissement à l'air soufflé.
- **Peinte fixe de tour, en acier au carbone de classe C.**

Trempe : chauffage à 850 °C, refroidissement à l'eau ;

Revenu : réchauffage à 250 °C, refroidissement à l'eau.

**7. Traitements électrochimiques**

Ce sont surtout des opérations de protection par recouvrement électrolytique de pièces en acier au moyen d'une couche de cuivre (*cuivrage*), de nickel (*nickelage*) ou de chrome (*chromage*).

## Chapitre 2

### Fabrication des pièces brutes

#### 1. Notion de fonderie

La **fonderie** est l'ensemble des opérations qui permettent de produire des pièces brutes par moulage d'un métal à l'état liquide dans une forme : **le moule**. Ce dernier est réalisé le plus souvent d'après un modèle en bois ou en métal léger.

Le dessinateur établit le dessin de la pièce.

Le modelleur détermine et construit le modèle : *modelage*.

Le mouleur fabrique le moule : *moulage*.

Le fondeur coule le métal fondu et après refroidissement extrait du moule la pièce pourvue des éventuelles surépaisseurs d'usinage (1 à 5 mm).

La fonderie intéresse de nombreux métaux et alliages.

#### **Exemples :**

Acier moulé : roue de wagon ;

Fonte moulée : banc de tour, chariot de machine-outil ;

Bronze moulé : coussinet d'arbre tournant ;

Alliage d'aluminium : *carter* léger.

La qualité d'une pièce moulée, dépendra :

- du **matériau** (nature et composition) ;
- des **conditions de coulée**.

Selon le métal utilisé, l'empreinte du moule aura des dimensions variables en fonction du **retrait du métal liquide** lors de sa **solidification**. De plus elle sera ou non convenablement remplie par le liquide selon l'**indice de coulabilité** de ce dernier.

Lors d'une opération de fonderie, le fondeur ne peut intervenir que sur les paramètres liés

- à la **coulée** (température du métal, vitesse de remplissage du moule) ;
- à la **pièce** (formes, dimensions) ;
- au **moule** (nature, qualité, température, mode d'alimentation du métal, refroidissement).

Il est donc important de déterminer avec justesse le type de moulage à utiliser en fonction de :

- la **pièce** (nature et forme) ;
- la **série** (renouvelable, nombre de pièces) ;
- la **destination** (usinage ou non).

## 2. Le moulage

### 2.1 Moulage en sable

Consiste à réaliser l’empreinte dans un **sable argilo-siliceux** à l’aide d’un **modèle** ayant la forme de la pièce. Les **parties creuses de la pièce** sont obtenues à partir de **noyaux**.

Un moule est constitué d’au moins deux parties, **châssis**, dont la surface commune est appelée **plan de joint**.

Ce type de moulage s’applique à des séries minimales de pièces variant de 100 à 1 000 selon les sables utilisés et les modes de réalisation des moules et des noyaux.

- **Le moule**

Le sable est tassé autour du modèle placé dans un **cadre métallique : le châssis**.

Des **mandrins** matérialisent les **trous d’évents** (évacuation des gaz durant la coulée) et de **coulée** (remplissage du moule).

Le nombre de châssis dépend de la complexité de la pièce et de son volume. Les éléments de châssis sont liés et fixés entre eux et délimitent les plans de démoulage du modèle.

- **Le modèle**

Réalisé en bois, en plastique, en plâtre ou en métal, ses formes et dimensions dépendent

- du **retrait** du métal coulé ;
- du ou des **plans de démoulage** (dépouilles) ;
- éventuellement des **portées de noyaux** et des **surépaisseurs d’usinage**.

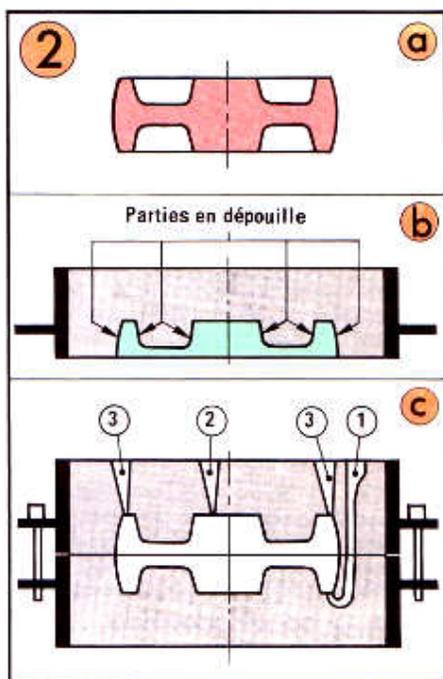
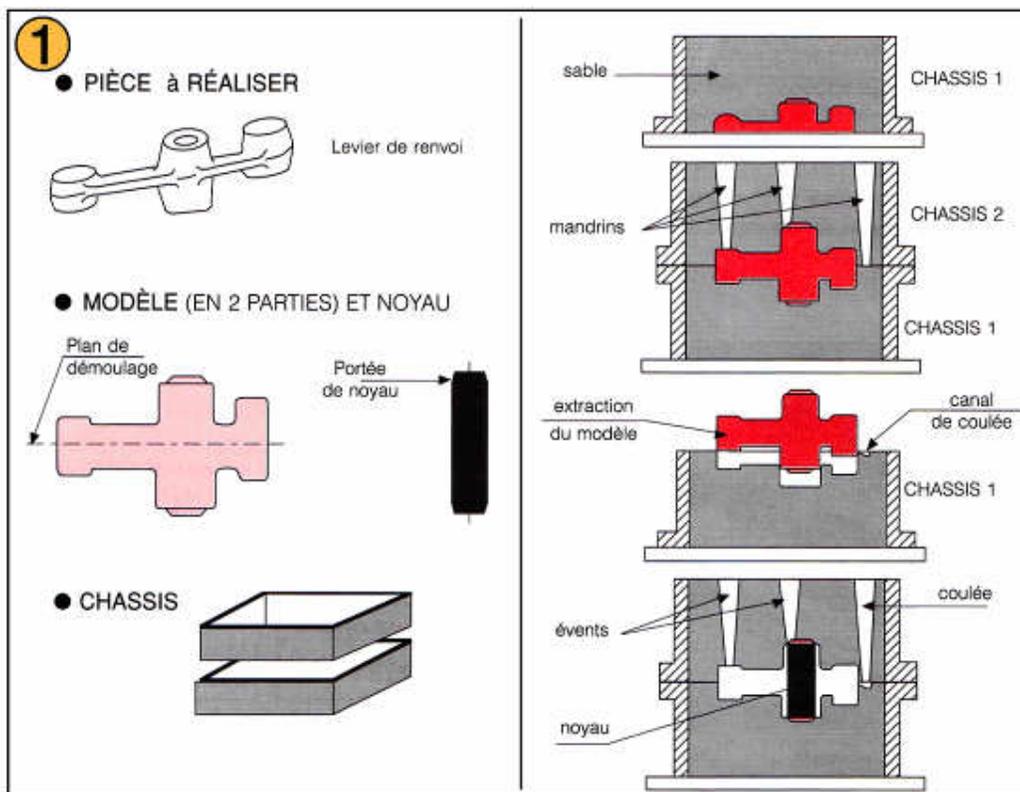
- **Les noyaux**

Ils sont réalisés dans des boîtes à noyaux avec des sables agglomérés ou serrés.

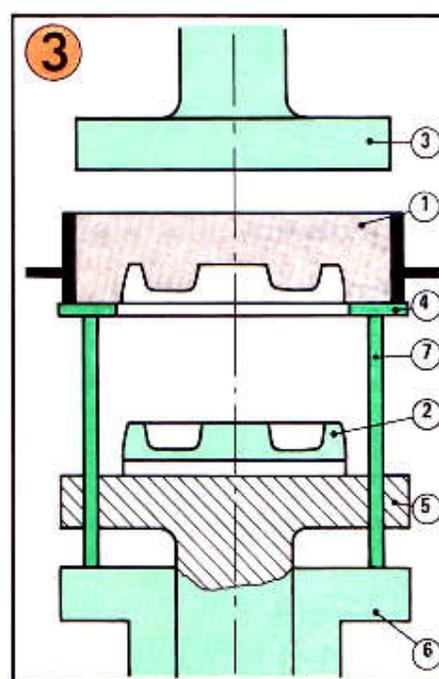
- **Principe du moulage en sable** (fig.1)

- **Moulage manuel** (fig. 2)

Le mouleur construit entièrement le moule en sable sur le modèle en bois, extrait le modèle, façonne les orifices d’entrée du métal liquide (**trou de coulée**) et d’évacuation des gaz (**évents**) ainsi que le logement d’un excédent (**masselotte**). Enfin il assemble les diverses parties du moule.



**Moulage d'une poulie**  
a) Pièce à obtenir. b) Moulage d'une 1<sup>ère</sup> moitié de moule sur un demi-modèle en bois. c) Finition du moulage.  
(1) Trou de coulée ; (2) Trou pour masselotte ; (3) Deux trous d'évents.



**Moulage mécanique**  
**Production d'un demi-moule pour poulie**  
(voir fig. 2b) sur machine à mouler.  
(1) Demi-moule en sable ; (2) Demi-modèle en bois ; (3) Plateau-presseur ; (4) Peigne ; (5) Plateau-vibreux ; (6) Plateau porte-chandelles (7).

### • Moulage mécanique

En série, le moulage en sable est réalisé mécaniquement et tassé par vibrations sur une machine à mouler. Ensuite un **plateau à chandelles** soulève la partie de moule terminée en abandonnant le modèle fixé sur la table de machine. Dans ce cas le modèle est en métal (plaque-modèle) lorsque le nombre de pièces à faire le justifie.

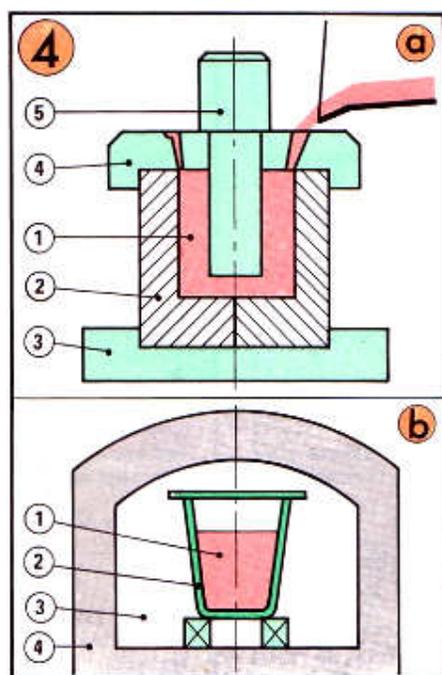
**Exemple de moulage en sable.** Une poulie (fig. 3).

Cette fabrication nécessite un modèle-bois en deux moitiés repérées par chevilles. La première moitié est moulée dans un **châssis**. Après retournement et mise en place de la deuxième moitié de modèle on achève le moulage.

Après extraction du modèle sont pratiqués **le trou de coulée**, **le trou dé vent** et les logements de **masselotte**.

Enfin on remmoule en assemblant d'après les repères diverses parties du moule après un **étuvage** qui le rend **réfractaire**.

### 2.2 Moulage en moule (coquille) métallique (fig. 4a)



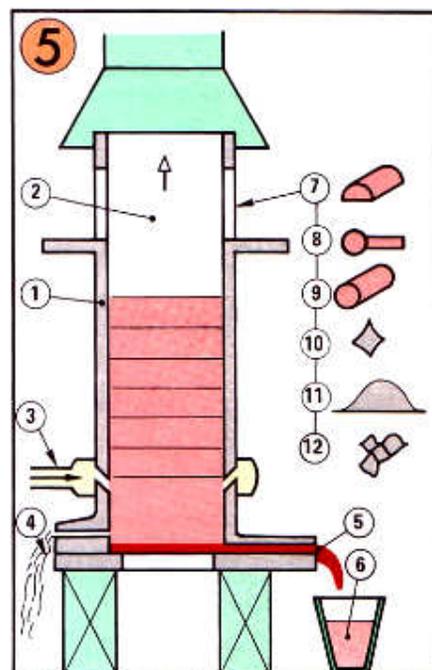
**Moulage en coquille**

#### Production de pièces en alliages cuivreux.

**a) Coulée en moule métallique** (ou « en coquille »). (1) Pièce ; (2) Demi-coquille ; (3) Semelle ; (4) Couvercle ; (5) Noyau.

#### b) Fusion du métal au creuset.

(1) Métal ; (2) Creuset ; (3) Combustible ; (4) Four.



**Fusion de fonte**

#### Production en cubilot.

(1) Corps ; (2) Poste de chargement ; (3) Soufflerie ; (4) Evacuation des scories ; (5) Coulée de la fonte ; (6) Poche.

**Nature du chargement ;** (7) Fonte de 1<sup>ère</sup> fusion ; (8, 9) Bocage et ferrailles ; (10) Eléments d'addition ; (11) Fondant (castine) ; (12) Coke.

Un **moule en sable** ne peut être utilisé qu'**une seule fois** et cela occasionne des frais de manutention et de matières.

Pour répondre à des besoins de productions de pièces par séries de plus en plus importantes, les **moules en acier et en fonte** se sont développés.

Ces moules ont des possibilités de démoulage dans plusieurs directions et suivant le mode de coulée utilisé, la qualité des pièces obtenues est telle que certains usinages sont supprimés pour de nombreuses pièces.

Cette technique n'est intéressante, au plan économique, que pour des séries de quelques milliers de pièces et un moule permet de couler **plusieurs dizaines de milliers de pièces**.

La production en grande série des pièces en métaux non-ferreux (point de fusion < 1 000 °C) est souvent réalisée dans un moule en acier appelé **coquille**, utilisable un grand nombre de fois. Le moule est démontable et permet d'en retirer la pièce moulée après son refroidissement.

Le moulage en coquille est économique et précis tolérance 0,05 à 0,2 mm pour les pièces en alliages de cuivre et d'aluminium. On peut faire « venir de fonderie\* » (\* venu de fonderie : se dit d'un trou ou d'une surépaisseur réalisés dans une pièce par moulage en fonderie) les trous lisses et même les trous taraudés en plaçant dans la coquille des tiges lisses ou filetées appelées noyaux.

### Exemples de durées de vie des moules

(en nombre de pièces coulées)

Nature du matériau coulé	Coulée par gravité	Coulée sous pression
Alliages d'Al	70 000	120 000
Alliages de Cu	20 000	40 000
Alliages de Zn	100 000	500 000

- **Coulée en coquille par gravité**

L'empreinte est réalisée par **usinage** (traditionnel ou par électro-érosion) et le métal en fusion la remplit par l'action de la pesanteur.

La surface de l'empreinte en contact avec le métal en fusion est enduite d'un **poteyage** qui permet :

- de **faciliter le démoulage** de la pièce,
- de **protéger le moule**,
- **d'isoler thermiquement** le métal coulé des parois du moule.

Pour des besoins de **productivité**, **l'automatisation** est désormais liée aux dispositifs de coulée :

- ouverture et fermeture du moule,
- éjection des pièces,
- mise en place et retrait des noyaux,
- régulation de la température du moule, ...

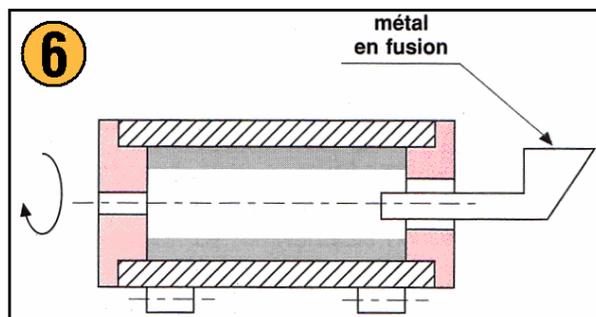
- **Coulée sous pression**

Dérivée de la coulée par gravité, ce moulage se fait sur des **machines à mouler** qui refoulent le métal fondu dans l'empreinte sous l'action d'un **piston** (avec des pressions pouvant dépasser 1 000 bars en moulage haute pression).

- **Coulée par centrifugation**

Appliquée au moulage de tubes, cette technique utilise la **force centrifuge** créée par la rotation d'un moule dans lequel est introduit le métal liquide. Les accélérations appliquées à l'alliage coulé peuvent atteindre plusieurs dizaines de g.

Les moules peuvent parfois être en graphite, placés dans une enveloppe métallique.



### 2.3 Moulage à modèle perdu

Ce procédé utilise un modèle destructible à la coulée, **en cire** (pièces en séries) ou en **polystyrène expansé** (pièces unitaires), obtenu par moulage ou par modelage et le moule est en une partie.

Les plans de démoulage et de dépouille ne sont plus nécessaires et cette technique utilisée dans le moulage de statues autrefois, est adaptée à des **petites pièces précises** en série ou des **pièces unitaires** de formes complexes aujourd'hui.

## 2.4 Particularités du moulage

Les pièces produites en fonderie présentent des surfaces en dépouille\* (\*surface en légère pente) et sont sujettes au retrait\* (\*différence de dimension entre un moule et la pièce correspondante après refroidissement en ‰ ; diminution de dimension du bois après séchage en %).

- **Les dépouilles**

Pour extraire le modèle du moule lors du moulage en sable et pour extraire la pièce moulée lors du moulage en coquille les faces parallèles à la direction d'extraction sont en légère dépouille ;  $\approx 6\%$  pour le moulage en sable et  $\approx 2\%$  pour le moulage en coquille.

L'examen de la pièce moulée permet de constater l'existence de faces en pente (dépouille), ainsi qu'un petit cordon en saillie (ligne de séparation des éléments du moule en contact avec la pièce).

- **Le retrait**

La pièce à l'état liquide se contracte en refroidissant : c'est le retrait, théoriquement égal au produit du coefficient de dilatation thermique du métal ( $\lambda$ ) par sa température de fusion ( $t$ ) et par la dimension considérée ( $L$ ).

Le retrait =  $\lambda \cdot t \cdot L$ .

Pour ne pas avoir une pièce trop petite, il faut donc faire un moule plus grand. Dans ce but les constructeurs de modèles en bois et de moules en métal utilisent un mètre gradué dit à retrait = 1 m + retrait.

Valeurs pratiques des coefficients de retrait :

- pour la fonte 10 ‰ ou 1 cm pour 1 m ;
- pour l'acier : 15 ‰ ou 1,5 cm pour 1 m.

## 2.5 Appareils de fusion

Les appareils utilisés en fonderie permettent :

- de refondre en vue de le mouler un métal déjà fondu une première fois : d'où le nom « **produits de deuxième fusion** ».
- de modifier les caractéristiques chimiques du produit (alliage) et en conséquence des caractéristiques mécaniques.

- **Le creuset** (fig. 4b).

Ce pot en acier est très employé pour fondre les alliages de cuivre et d'aluminium. Capacité des creusets 10 à 1000 kg.

La fusion ne met pas en contact le combustible et le métal ce qui permet de préserver la pureté de ce dernier.

- **Le cubilot** (fig. 5).

C'est l'appareil de fusion le plus utilisé en fonderie de fonte diamètre 0,5 à 4 m, hauteur 2 à 8 m, capacité de production 100 à 10 000 kg par heure.

Pour obtenir de la fonte mécanique ordinaire, on verse dans le cubilot des produits ferreux et du coke en couches alternées. L'intérieur du cylindre est recouvert d'une argile réfractaire\* (\*qui résiste aux hautes températures) jusqu'à 1 600 °C.

Le métal liquéfié laisse les impuretés surnager et s'évacuer. La fonte recueillie dans une poche\* (\*récipient contenant le métal fondu) est aussitôt versée dans les moules.

## 2.6 Économie de la fonderie

**Avantages.** Economie de métal. Prix de revient modéré. Très nombreuses applications.

**Inconvénients.** Risque d'inclusions de gaz ou d'impuretés dans le métal des pièces mécaniques.

## 3. Le formage

Les techniques de formage des pièces mécaniques utilisent la propriété de **déformation plastique d'un matériau** pour lui faire épouser une forme donnée, par un outillage approprié, sans rupture des fibres.

### 3.1 Mise en forme par écrasement

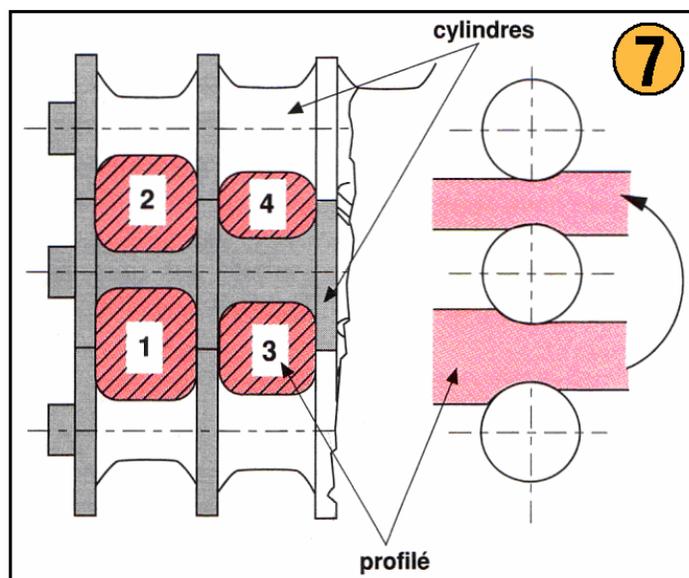
- **Laminage**

Consiste à façonner des produits de section constante et de grande longueur (tôles, profilés), par **écrasement** entre deux **cylindres cannelés radialement, à chaud ou à froid**.

Ce travail se fait à partir d'**ébauches** venant de **fonderie** (lingots) qui, par passages successifs entre les **cylindres de laminoir**, arrivent progressivement aux dimensions et formes marchandes.

Le laminage conduit à deux types de produits :

- **les semis finis** (brames, blooms, billettes, ...) ;
- **les finis** (ronds, carrés, hexagonaux, tôles, profilés, ...).



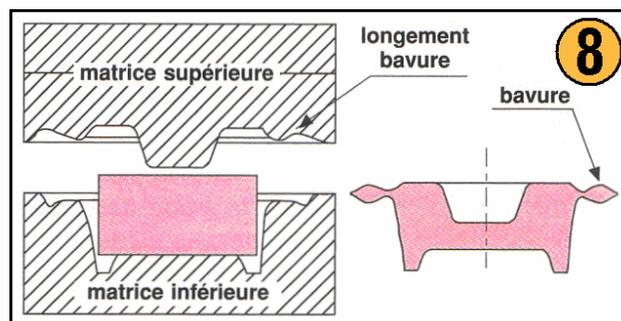
- **Matricage - Estampage**

Ces deux termes sont aujourd'hui synonymes, mais la distinction matricage (métaux non ferreux) et estampage (métaux ferreux) est encore usitée dans certaines industries.

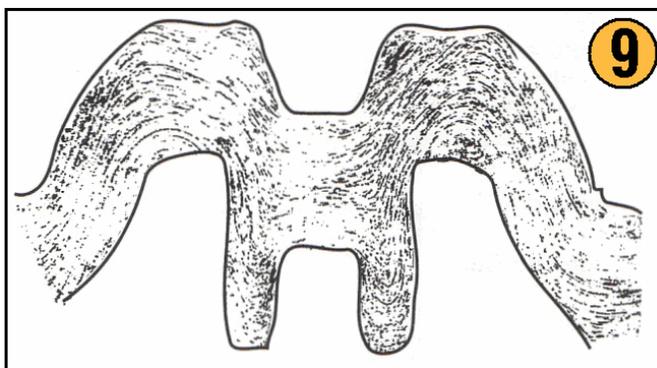
Cette technique consiste à **former à chaud**, une ébauche appelée **lopin** entre **deux matrices**, dans lesquelles des empreintes sont **creusées** par usinage conventionnel ou par **électro-érosion**.

Les matrices peuvent avoir plusieurs empreintes qui correspondent à des passes successives de mise en forme du lopin.

Sous l'action de **chocs répétés** ou d'une **pression**, le lopin remplit les empreintes et l'excédent de matière constitue la **bavure** logée dans le **plan de joint**.



Les pièces ainsi obtenues ont une qualité 9 à 11 et leurs caractéristiques mécaniques sont accrues par rapport à celles du matériau d'origine, car ce procédé améliore la **compacité** et provoque un « **fibrage** » dans les pièces (voir fig. 9)

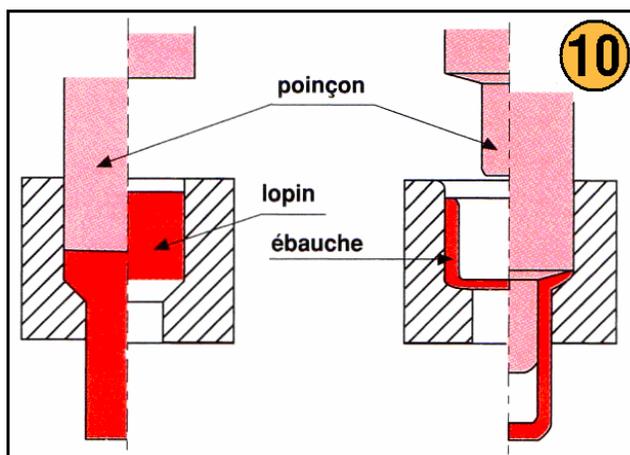


- **Filage ou extrusion**

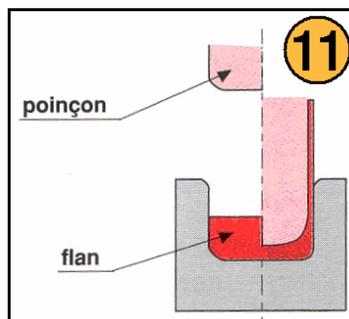
Consiste à forcer le métal d'un lopin, d'un flan ou d'une ébauche forgée à passer dans une **filière ou entre une matrice et un poinçon par choc ou par pression**. Selon la **malléabilité** de la matière, l'opération se fait à **chaud ou à froid**.

Il existe deux types d'extrusion ou filage :

- **filage direct** (fig. 10) ;



- **filage inverse** (fig. 11).



Les pièces obtenues ont une qualité dimensionnelle de 7 à 11 et épaisseur des tubes filés est constante. Les caractéristiques mécaniques des aciers sont améliorées notablement et les pièces ont une faible rugosité ( $Ra = 1 \text{ à } 4 \mu\text{m}$ ).

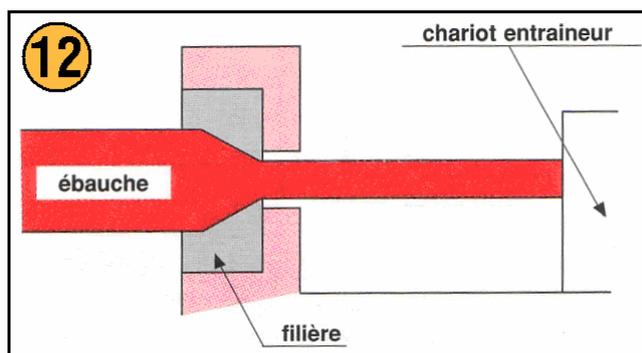
### • Tréfilage - Etirage

Consiste à **étirer une ébauche**, le plus souvent laminée, au travers d'une **filière**. Généralement, cette opération se réalise à froid.

La matière subit un **écrouissage important** qui **augmente sa résistance élastique** et **sa résistance à la rupture par traction**.

Suivant les sections obtenues on parle de :

- tréfilage pour les fils calibrés (⊙) ;
- étirage pour les profils quelconques (□, ⊙, ⊕ ...)



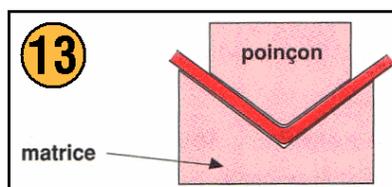
Les pièces obtenues par ce procédé ont des qualités géométriques et dimensionnelles de qualité 9 à 11.

### 3.2 Mise en forme par déformation

La mise en forme des **produits plats**, s'effectue par déformation progressive et sans modification notable d'épaisseur de la tôle plane.

### • Pliage

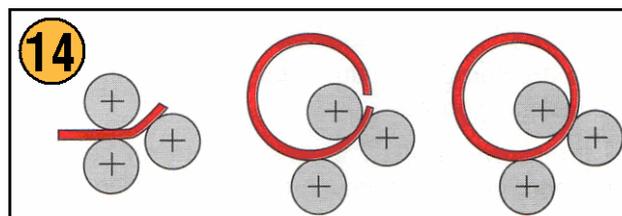
La tôle est **serrée** entre un **poinçon** et une **matrice en Vé** dont l'angle est sensiblement égal à celui du pli à réaliser.



Consiste à donner une forme de révolution à génératrices rectilignes à une tôle, par passage entre des rouleaux.

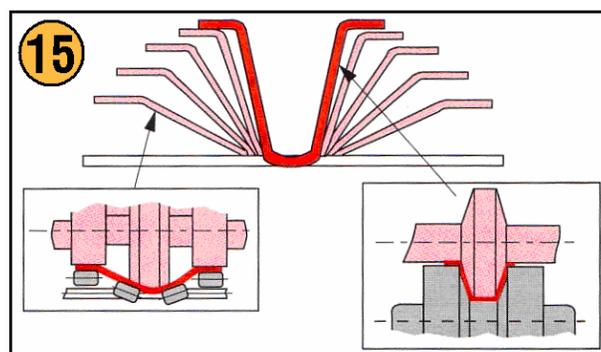
- **Roulage**

Consiste à donner une **forme de révolution à génératrices rectilignes** à une **tôle**, par passage entre deux **rouleaux**.

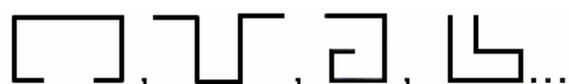


- **Profilage**

Consiste à donner une **forme profilée à une tôle** de grande longueur par l'action progressive de **galets de formes complémentaires**, couplés deux à deux.



Formes obtenues :

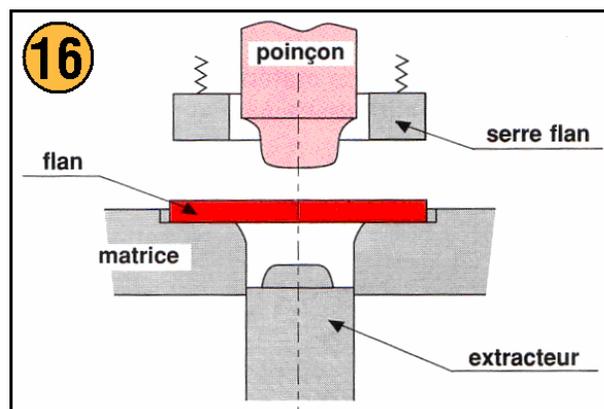


- **Emboutissage**

Consiste à obtenir des pièces de **forme creuse** à partir d'**ébauches** appelées **flans**, par l'action d'un **poinçon** et d'**une matrice de formes complémentaires**.

Suivant l'épaisseur du relief de la pièce, l'opération se fait en **une ou plusieurs passes** sur des presses à vérins ou à systèmes mécaniques de transformation de mouvements pour les plus importantes.

Les opérations d'emboutissage se font de plus en plus souvent sur les mêmes machines que les opérations de découpage.



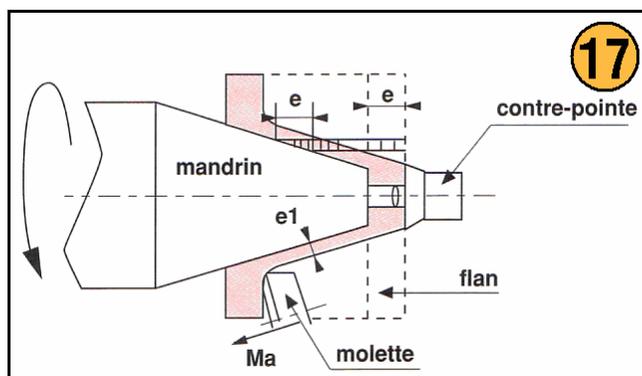
### 3.3 Mise en formécrasement - pliage

Consiste à provoquer une **déformation** de la matière sous l'action de **deux phénomènes** :

- **le pliage** (le métal épouse la forme d'un mandrin) ;
- **l'extrusion à froid du métal** entre le mandrin et une molette mobile.

Le **floutournage** est l'application directe de ces deux principes liés au cours d'une seule opération.

Les pièces sont réalisées à partir de flans ou de cylindres suivant leurs formes finies.



Ce procédé entraîne une économie de matière qui contribue à son essor dans des industries utilisant des matériaux de grande valeur (aérospatiale, aéronautique, nucléaire, ...).

## 4. Découpage

### 4.1 Par action mécanique

Les techniques de ce procédé utilisent le principe de **cisailage de la matière** sous l'action d'un **effort tranchant** créé **entre deux lames**.

La découpe s'opère en **deux temps** :

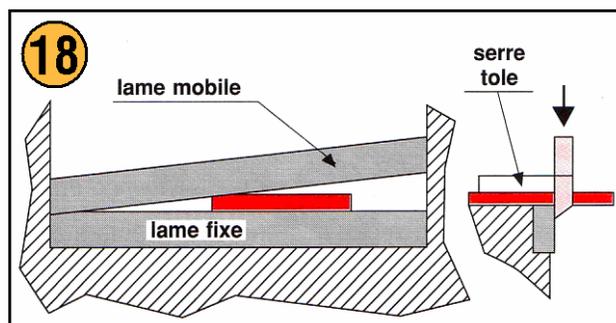
- **déformation** (bords du brut arrondis brillants) ;
- **rupture des fibres** (zone rugueuse et formation d'une bavure).

Chaque technique de découpage est définie par les outillages utilisés.

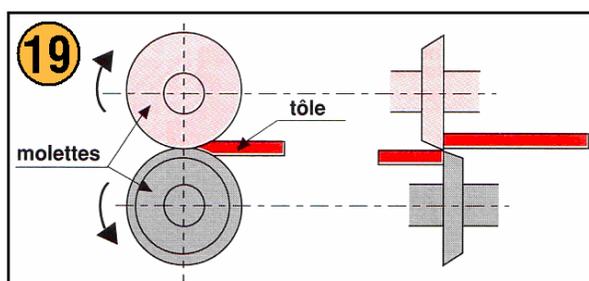
- **Cisaillage**

L'outil est composé de :

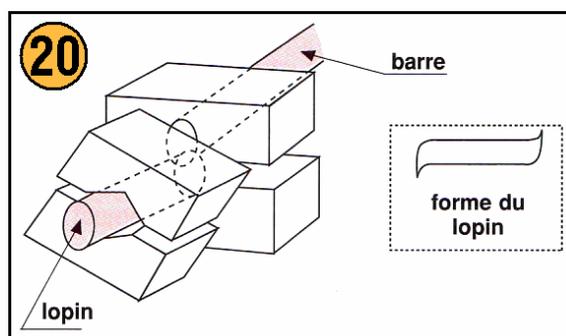
- **lames** pour les **matériaux en feuilles** :



- **molettes** pour les **matériaux en feuilles de grande longueur** :

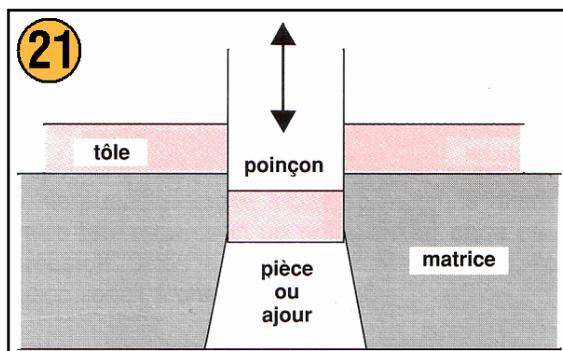


- **mâchoires** pour les **barres et profilés** :



### • Poinçonnage

Consiste à découper une pièce, à l'aide d'un **poinçon et d'une matrice** (outil) ayant la **forme du profil désiré**, dans une **bande**.



Trois techniques sont définies par les outillages utilisés :

- l'**outil simple** : permet d'obtenir une découpe inter ou exter (ajour) ;
- l'**outil à suivre** la découpe de **tous les ajours est réalisée par plusieurs outils différents**, chacun d'eux exécutant son propre ajour (le dernier poste réalise le profil extérieur de la pièce). La bande avance de poste en poste à l'aide d'un **dispositif pas à pas**.
- l'**outil combiné** tous les ajours sont réalisés avec le même outil.

### • Grignotage

Consiste à **découper** des pièces (profil inter et exter) dans des matériaux en feuille à l'aide d'un **poinçon animé d'un mouvement rectiligne, vertical, alternatif, rapide**.

La forme de la pièce est obtenue par **conjugaison** de la **forme du poinçon** et de la **trajectoire pièce/outil** générée par **copiage** ou, le plus souvent, par un **système à commande numérique**.

#### 4.2 Par action thermique

Consiste à découper des tôles (d'épaisseur supérieure à 5 mm) à l'aide d'un **chalumeau oxyacétylénique** possédant une arrivée supplémentaire d'oxygène accélérant la combustion du matériau.

La forme de la pièce est donnée par la trajectoire du chalumeau qui est générée par copiage ou par un système à commande numérique.

#### 4.3 Autres modes d'action

Il existe à l'heure actuelle des procédés d'obtention de pièces par découpage qui permettent de réaliser des formes avec des qualités géométriques et dimensionnelles telles, qu'il n'est pas nécessaire d'usiner ces pièces ultérieurement.

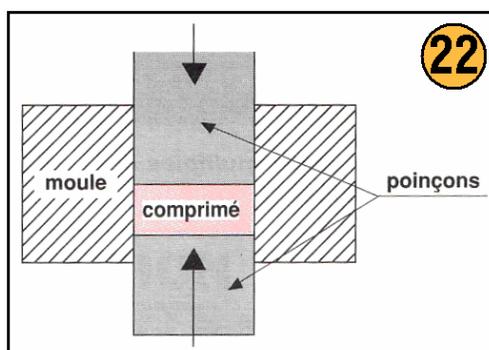
Nous nous contenterons ici, de les énumérer, car il ne s'agit pas à proprement parlé de moyens d'obtention de bruts :

- **découpe par faisceau laser** ;
- **découpe par jet fluide** (eau à très haute pression) ;
- **découpe par électro-érosion à fil**.

## 5. Métallurgie des poudres

Une **poudre métallique** est comprimée dans un moule afin de lui donner une forme : **c'est la compression**. La pièce ayant alors une cohésion suffisante pour être manipulée, elle est **chauffée sous vide ou sous atmosphère contrôlée** : **c'est le frittage**.

Certaines matières subissent un second frittage pour accroître leurs caractéristiques mécaniques.



- **Avantage du procédé**

Convient pour des séries de **pièces complexes** et précises utilisées à l'état brut ou non.

La **porosité** des matériaux obtenus permet leur utilisation dans la fabrication de **filtres** ou de **paliers autolubrifiants** par « **emmagasiner** » de substances grasses.

Possibilité d'obtenir des **alliages** ou **pseudo-alliages** dont les matériaux constitutifs ne sont pas **miscibles** par un autre procédé.

- **Inconvénients du procédé**

**Manque d'homogénéité** dans les caractéristiques mécaniques, due aux frottements des particules lors de la compression (dureté à cœur plus faible).

La porosité doit parfois être éliminée par infiltration, dans les pores, de métal dont la température de fusion est inférieure à celle de frittage.

- **Qualité des pièces frittées**

La **qualité dimensionnelle** varie suivant la direction de mesure par rapport à l'effort de compression :

- **direction // à la compression** ⇒ IT 9 à 12 ;
- **direction ⊥ à la compression** ⇒ IT 7 à 9.

Chaque matériau fritté à un **emploi spécifique** :

- alliages de **Cu-Zn-Pb, Fe-Cu-Pb** pour les **coussinets autolubrifiants** ;
- alliages de **Ni-Fe-Ti-Cu-Sn** pour les **filtres** ;
- alliages de **Fe-Graphite, Cu-Sn-Graphite** pour les **plaquettes de freins** ;
- alliages de **carbures métalliques-Co** pour les **plaquettes de coupe** ;
- alliages de **Fe-Co-Ni** pour les **aimants permanents** ;
- alliages de **W-Cu, W-Ag** pour les **contacts électriques**.

## 6. Le soudage

Le **soudage** est une opération d'assemblage où la continuité métallique entre les parties à souder est réalisée en portant les métaux à la température de fusion, par l'intermédiaire d'une source d'énergie.

**Exemple** : arc électrique sous atmosphère gazeuse contrôlée.

L'opération de soudage est assimilable à une opération locale d'élaboration métallurgique. L'effet local du cycle thermique (fusion des métaux de base et d'apport) provoque une modification de la structure cristalline qui dépend à la fois de la composition chimique (pourcentage de carbone, de chrome, de silicium,...) et de la vitesse de refroidissement.

La soudure ainsi réalisée comporte plusieurs zones :

- **La zone du métal de base**

Le métal n'a pas été porté à une température suffisante pour subir une quelconque transformation de structure.

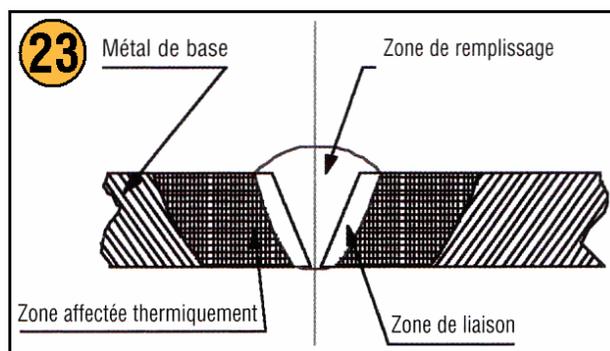
L'opération de soudage n'a aucune conséquence métallurgique sur cette zone.

- **La zone affectée thermiquement**

ZAT, ( $T^\circ > AC3$ ) se trouve en bordure de la zone fon due, sur une largeur plus ou moins importante. La ZAT a été soumise à l'élévation de température sans être portée à fusion.

La vitesse de refroidissement conditionne la structure cristalline de cette zone.

- **Zones fondues :**
  - **la zone de liaison** : partie du métal de base participant à la réalisation du joint. Son volume détermine le taux de dilution ;
  - **la zone fondue** : zone de remplissage dont la section dépend directement de la nature du chanfrein et de l'épaisseur à souder.



### 6.1 Soudabilité des fontes et aciers

- Les aciers contiennent entre 0,1 % et 1,7 % de carbone. Leur dureté augmente et leur soudabilité diminue avec l'accroissement de pourcentage de carbone.
- Entre 1,7 % et 2,5 % de carbone, l'alliage présente un comportement incompatible avec les utilisations industrielles. Il est dit **Acier Sauvage**.
- Les fontes utilisées comme telles se situent entre 2,5 % et 4,5 % de carbone on en distingue trois types :
  - 1) Les **fontes blanches**, (blanc brillant de la cémentite) sont pratiquement **insoudables** et utilisées en fonderie.
  - 2) Les **fontes grises** : le carbone y est regroupé sous forme de lamelles de graphite qui constituent autant d'amorces à la rupture et rendent l'alliage fragile. Elles sont également utilisées en fonderie. Elles sont **soudables** avec beaucoup de précautions. Un goujonnage améliore la solidité de l'assemblage.
  - 3) Les **fontes à graphite sphéroïdal** : le graphite a la forme de petites sphères qui augmentent sensiblement l'allongement en pourcentage du métal. Elles ont les mêmes **caractéristiques de soudabilité que les fontes grises**.
- Au delà de 4,5% de carbone les fontes sont destinées à l'affinage pour diminuer le pourcentage de carbone et certaines impuretés et obtenir de l'acier.

## 6.2 Préparation des bords et des surfaces avant soudage

Les pièces peuvent être réalisées à partir de métaux ou alliages laminés, étirés, forgés, matricés, coulés. L'aspect de leur surface pourra être différent si elles sont brutes d'élaboration ou usinées.

Dans le premier cas, on notera la présence d'oxydes, dans le deuxième cas, ces pièces pourront être imprégnées d'huile. D'autre part, s'il s'agit de pièces ayant déjà travaillé, leurs surfaces pourront être souillées ou attaquées par les produits avec lesquels elles entrent en contact.

Certaines de ces pièces pourront mettre en relief des fissures de fatigue thermique ou mécanique. Tous les résidus et les fissures doivent être éliminés avant soudage.

Pour mieux comprendre cette nécessité, il faut savoir que les oxydes, les graisses, les résidus se trouveraient emprisonnés dans le bain de fusion au moment de l'opération de soudage. Toutes ces impuretés conduiraient à la présence de porosités, d'inclusions, de microfissures, bien souvent incompatibles et compromettant la résistance de la soudure.

En ce qui concerne la présence de fissures avant soudage, il faut considérer qu'elles pourraient se développer pendant l'opération d'assemblage ou de rechargement sous l'effet du cycle thermique et des contraintes mécaniques qui en résultent.

En résumé, la qualité du joint soudé est tributaire du soin apporté à la préparation du joint et à la préparation des surfaces. Nous avons souligné l'importance de la préparation des surfaces : celle-ci peut être réalisée par corindonnage, meulage, usinage à l'outil, électrode à chanfreiner.

En présence de pièces ayant déjà travaillé, avant toute opération de soudage il est nécessaire d'effectuer un contrôle des surfaces par ressuage. Dans certains cas, pour des assemblages de haute sécurité, on aura recours à un contrôle plus poussé : radiographies, ultrasons.

## 6.3 Le chanfreinage

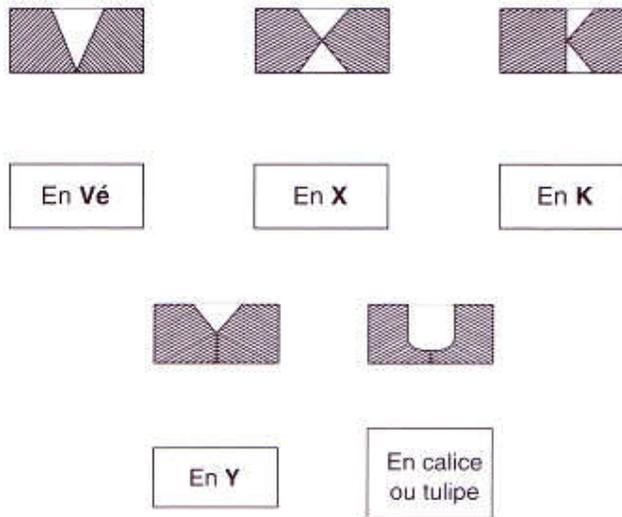
La préparation des pièces par chanfreinage a pour but d'améliorer la résistance du joint soudé en permettant un accès total sur l'épaisseur de la pièce à assembler.

La forme du chanfrein, sa section et son angle d'ouverture dépendent de plusieurs facteurs :

- la nature du matériau,
- son épaisseur,
- l'accessibilité du joint (sur une ou deux faces),
- la classe de qualité de l'assemblage,

- le procédé d'assemblage utilisé,
- la position de soudage,
- la rentabilité section/dépôt,
- les moyens mis à disposition.

- **Types de chanfreins**



- **Moyens utilisés**

Les moyens de chanfreinage sont divers et peuvent changer suivant que l'opération a lieu en atelier ou au chantier.

**Manuellement par :**

- meulage
- oxycoupage, meulage.

**Avec machines portatives, dont les plus utilisées sont :**

- chanfreineuse par burinage (pour tôles ou tubes),
- chanfreineuse orbitale (pour tubes),
- chanfreineuse à molettes (cisailage à molettes),
- chanfreineuse à fraises (type fraisage),
- chariot automatique d'oxycoupage.

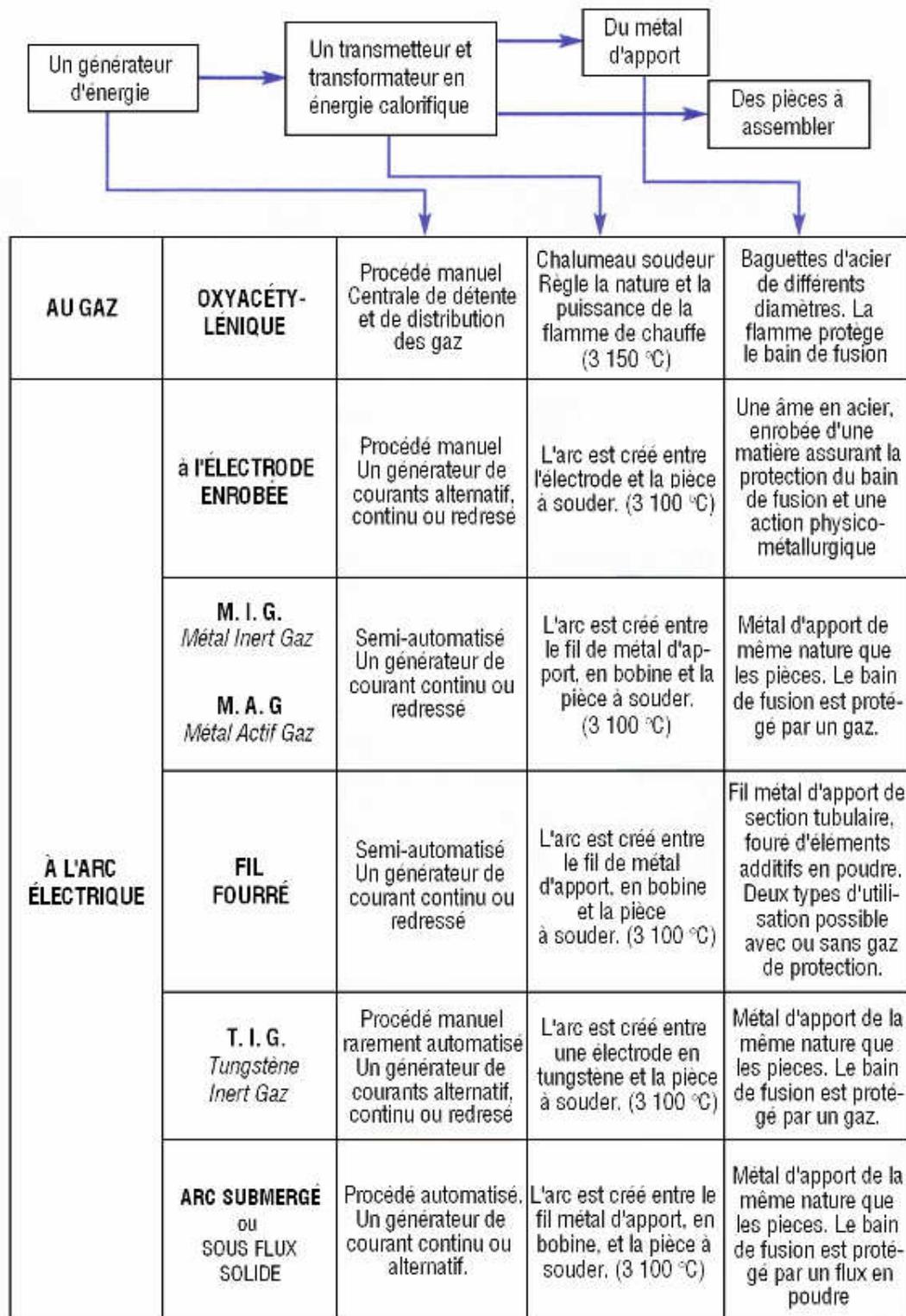
**Par machines d'usinage industriel :**

- raboteuse,
- fraiseuse,
- tour,
- aléuseuse,
- centre d'usinage.

### 6.4 Différents procédés de soudage

On n'évoquera que les procédés d'assemblages thermiques assurant la continuité métallique des pièces à assembler.

Quelle que soit l'installation, elle répond toujours au schéma ci-dessous.



## Chapitre 3

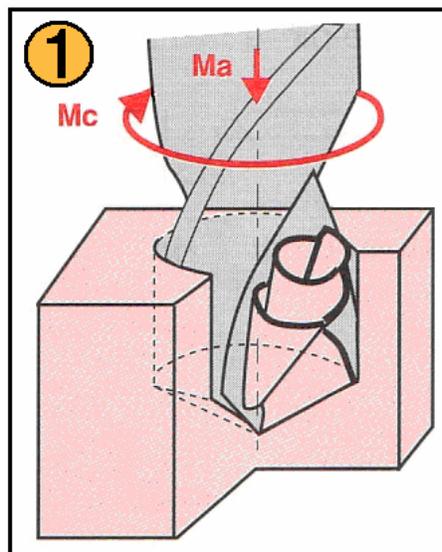
### Procédés d'usinage conventionnel

#### 1. L'usinage

L'**usinage** consiste à **modifier la forme** d'une pièce, brute ou partiellement élaborée, par l'action d'une **machine-outil**. Les nouvelles surfaces ainsi obtenues sont dites **surfaces usinées**.

Ce mode d'obtention des pièces regroupe plusieurs procédés :

- coupe avec un outil tranchant (fig. 1) ;
- abrasion avec une meule ;
- électro-érosion avec un fil ou une électrode ;
- fluide sous pression ;
- thermique (laser, combustion d'un gaz, ...)
- etc...



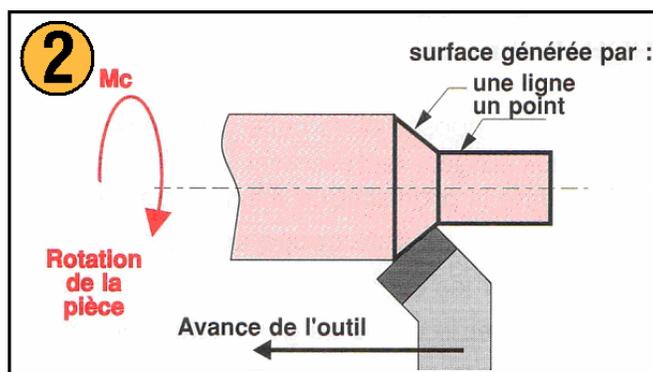
Génération d'un trou avec un foret hélicoïdal

Ces surfaces usinées sont définies par :

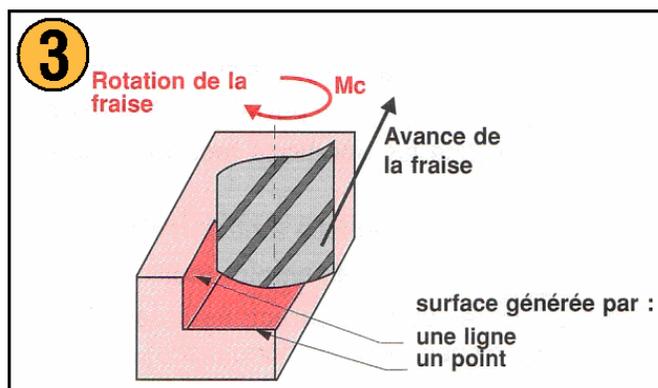
- leur forme (plan, cylindre, hélicoïde, ...) ;
- leur position par rapport à la pièce (intérieures ou extérieures) ;
- leurs dimensions ;
- leur qualité (défauts de forme, rugosité, précision dimensionnelle).

### 1.1 Usinage par coupe

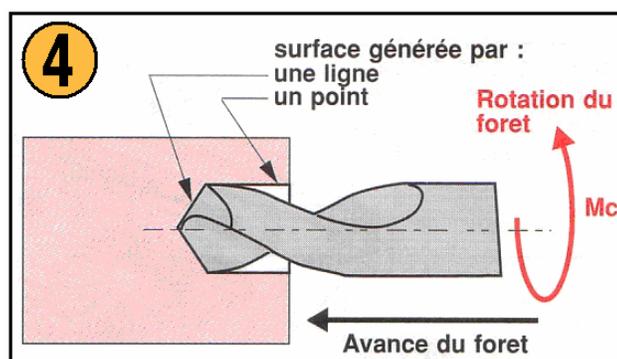
Chaque procédé d'usinage par enlèvement de matière à l'outil de coupe a sa propre cinématique.



Usinage avec un outil de tour



Usinage avec une fraise 2 tailles

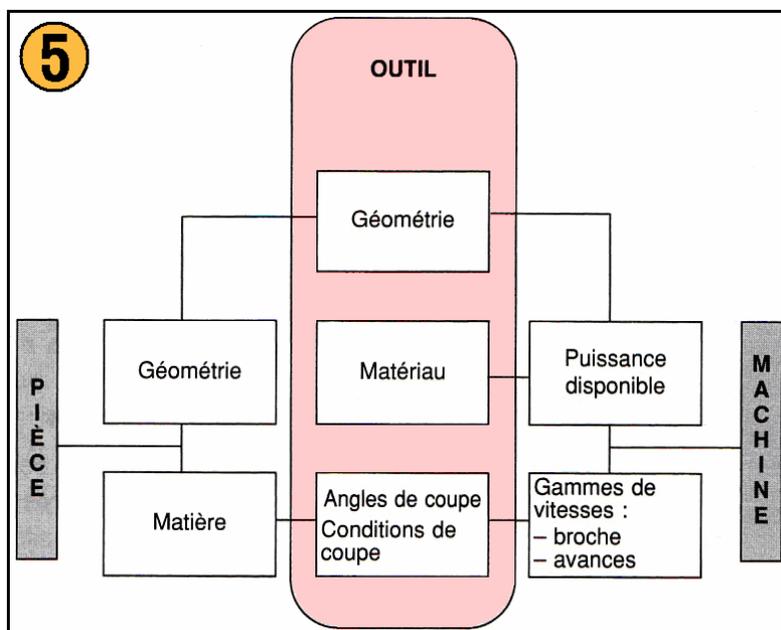


Usinage avec un foret hélicoïdal

Pour chaque procédé, la qualité de surface usinée sera essentiellement dépendante de l'outil (géométrie de la partie active, matériaux, paramètres de coupe, ...).

## 1.2 Géométrie de l'outil coupant

Le **choix d'un outil coupant** sera déterminé suivant des critères liés à la pièce et à la machine selon le schéma ci-dessous (fig. 5).



La démarche pour obtenir un outil coupant devra donc suivre ce même schéma et il faudra déterminer, dans l'ordre :

- la géométrie de l'outil ;
- le matériau de l'outil ;
- les conditions de coupe de l'outil.

- **Angle de direction d'arête  $\kappa$**

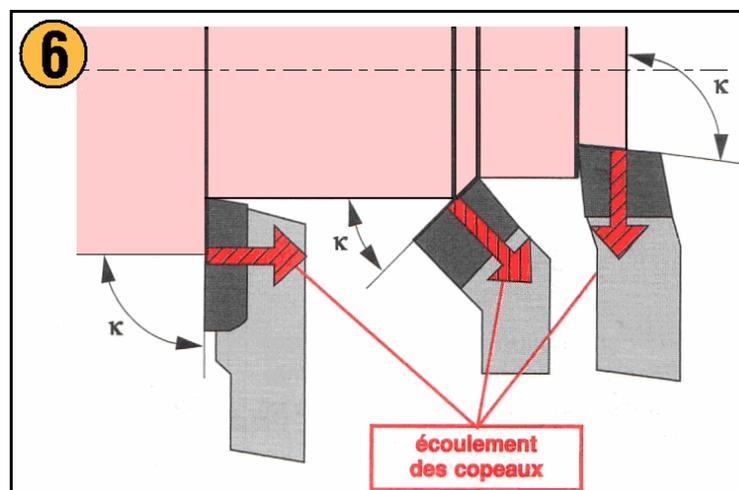
Sa valeur est déterminée selon la géométrie de la surface à usiner et il conditionne la **direction d'écoulement du copeau**.

La figure 6 montre l'influence de  $\kappa$  sur le copeau et sur la forme de la pièce.

- **Angle de dépouille principale  $\alpha$  et angle de coupe  $\gamma$**

Ils dépendent de la matière à usiner et du matériau constituant la partie active de l'outil.

Le tableau ci-dessous donne quelques valeurs de  $\alpha$  et  $\gamma$  pour différents matériaux usinés.



MATIERES A USINER	Outil ARS		Outil CM	
	$\alpha$	$\gamma$	$\alpha$	$\gamma$
Fonte (Ft 20)	6	10	4	10
Acier (A 60)	6	30	4	20
Acier (XC48)	6	18	4	10
Alliages de cuivre	5	10	4	10
Alliages d'aluminium	8	40	6	25
Matières plastiques	10	- 5		

- **Angle d'inclinaison d'arête  $\lambda$**

Lié au type d'usinage, il conditionne la direction des efforts de coupe et du déroulement des copeaux.

Cet angle est le plus souvent positif, mais la coupe est optimisée si  $\lambda$  est :

- **négatif en ébauche** (copeaux fragmentés) ;
- **positif en finition.**

### 1.3 Matériaux à outils coupants

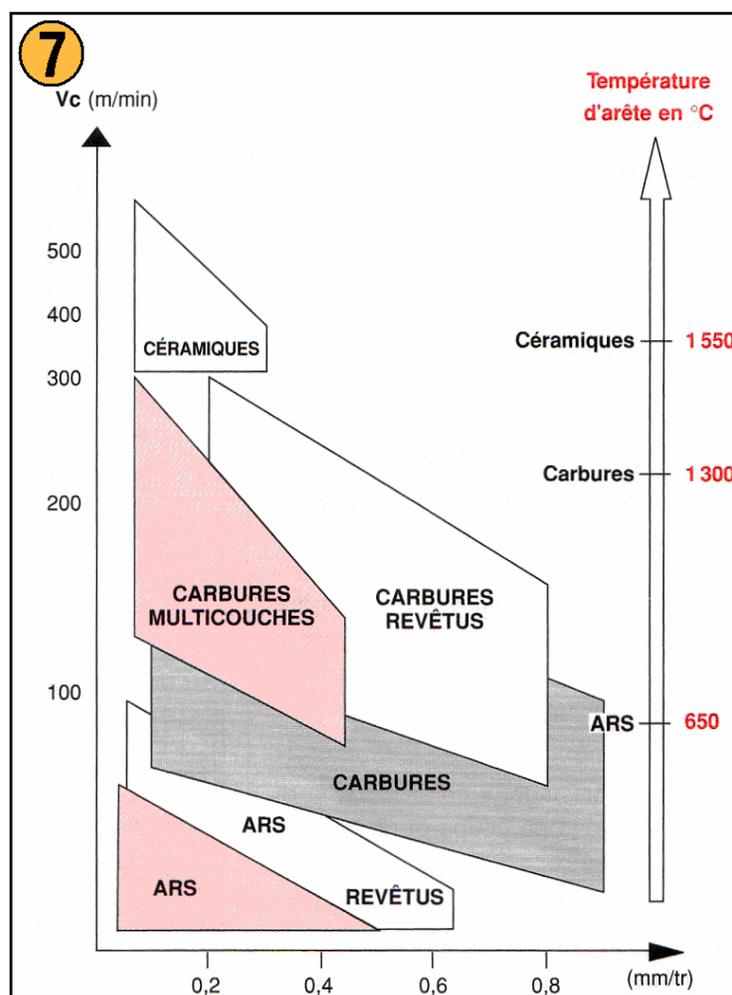
Les outils en **Acier Rapide Supérieur (ARS)** ne sont plus utilisés que pour les fraises et les outils de forme d'usinage intérieurs. Seuls, quelques applications particulières obligent encore à employer ce matériau pour les outils à tranchant unique.

Les **carbures métalliques** sont actuellement les matériaux à outils coupants **les plus répandus**. Ils sont généralement **multicouches** ou revêtus afin d'accroître leurs caractéristiques mécaniques et d'améliorer ainsi leur capacité de coupe.

Les **céramiques** et leurs **dérivés** (*cermets par exemple*) sont utilisés sur des **machines de forte puissance** lors de l'usinage de matériaux particulièrement tenaces ou lors d'usinage à **grande vitesse** sur des matériaux plus courants.

Les **diamants** sont surtout utilisés pour l'usinage de **matériaux métalliques très durs**, le **verre** ou certains matériaux **composites** très abrasifs.

La figure 7 situe approximativement les domaines d'utilisation de différents matériaux à outils pour 'usinage des aciers et des fontes.



### 1.4 Techniques d'usinage

Les procédés généraux de production par coupe à outil, abrasion et refoulement rassemblent diverses techniques d'usinage, chacune d'elles étant caractérisée, en particulier, par l'outil employé. Une surface peut être produite par des techniques différentes sur des machines différentes.

**Exemple :** production d'une surface plane par fraisage (*fraise ; fraiseuse*), par rabotage (*outil à charioter ; raboteuse*), par tournage (*outil à dresser ; tour*).

Une machine peut exploiter plusieurs techniques d'usinage.

**Exemple :** sur fraiseuse, production par fraisage, perçage, alésage.

Les **techniques d'usinage** couramment utilisées sont les suivantes :

<b>Alésage</b>	<b>Meulage</b>	<b>Roulage</b>
<b>Brochage</b>	<b>Mortaisage</b>	<b>Sciage</b>
<b>Centrage</b>	<b>Perçage</b>	<b>Superfinition</b>
<b>Fraisage</b>	<b>Rabotage</b>	<b>Taillage</b>
<b>Filetage</b>	<b>Rectification</b>	<b>Taraudage</b>
<b>Forage</b>	<b>Rodage</b>	<b>Tournage</b>
		<b>Trépannage</b>

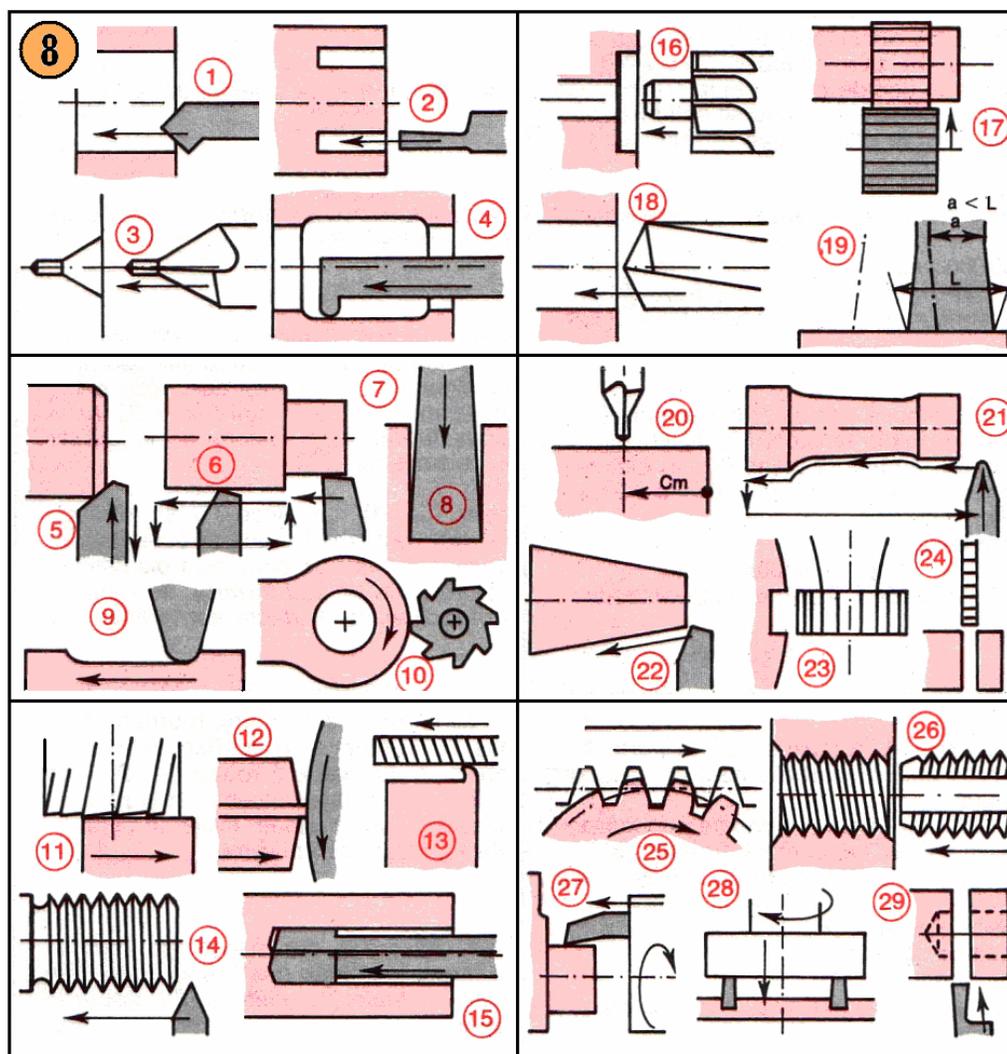
### 1.5 Opérations d'usinage

Une opération d'usinage assure la production d'une surface isolée (*Ex. : dresser une surface plane*) ou d'un groupe de surfaces associées (*Ex. : rainurer trois surfaces planes*).

Une opération nécessite des déplacements relatifs outil-pièce suivant un cycle défini (fig. 8) : **chariotage (6), plongée (5), copiage (21), génération (25)**.

Une opération peut être une opération d'écroûtage, d'ébauche, de 1/2 finition, de finition ou de parachèvement ; elle peut être réalisée en exploitant des techniques différentes (*Ex. : dresser par fraisage, brochage, mortaisage, rabotage,...*).

La forme et le volume de la pièce, les caractéristiques de la surface, le nombre des pièces conduisent à sélectionner la technique économique.



**Principales opérations d'usinage et surfaces produites :**

- (1) Aléser :           Cylindres, cônes intérieurs.
- (2) Carotter :        Ebauches annulaires.
- (3) Centrer :         Centres d'usinage pour tournage.
- (4) Chambrer :       Chambrages cylindriques, coniques.
- (5) Chanfreiner :    Chanfreins plans, coniques.
- (6) Cylindrer :       Cylindres extérieurs.
- (7) Décolleter :     Collets
- (8) Défoncer :       Ebauche locale de forte section.
- (9) Dégager :        Dégagements plans, cylindriques, coniques.
- (10) Détourer :      Surfaces incomplètes.
- (11) Dresser :        Plans, fonds, embases.
- (12) Ebarber :       Élimination des bavures de forgeage, moulage.

- (13) Ebavurer : Elimination des bavures d'usinage.
- (14) Fileter : Filets de vis et d'écrous.
- (15) Forer : Trous cylindriques de grande profondeur.
- (16) Lamer : Plans, embrèvements, fraises.
- (17) Moleter : Stries cylindriques, toriques.
- (18) Percer : Trous cylindriques.
- (19) Planer : Plans, cylindres.
- (20) Pointer : Centres d'usinage avant de percer.
- (21) Profiler : Surfaces de profil complexe.
- (22) Profiler cône : Cônes extérieurs.
- (23) Rainurer : Rainures, dégagements d'angles.
- (24) Scier : Sectionnement avant usinage.
- (25) Tailler : Dentures, dentelures, cannelures, filetages.
- (26) Tarauder : Filets d'écrous.
- (27) Tourillonner : Cylindres extérieurs courts, sur aléseuse.
- (28) Trépanner : Alésages courts de grand diamètre.
- (29) Tronçonner : Sectionnement après tournage dans la barre.

## 2. Tournage

Le **tournage** est un procédé d'usinage permettant l'obtention de surfaces de révolution intérieures et extérieures, de surfaces planes ainsi que d'autres surfaces telles que celles obtenues par filetage, gravure, etc.

Le tournage est la technique de façonnage génératrice de copeaux la plus employée. Les tours constituent presque à eux seuls le quart de l'ensemble des machines-outils.

Le **tour** c'est une machine d'outillage conçue pour le travail unitaire et la petite série. Il permet la réalisation de différentes surfaces nécessitant toujours une rotation de la pièce autour d'un axe de révolution.

Durant le processus de tournage la pièce à usiner effectue des rotations dans le tour.

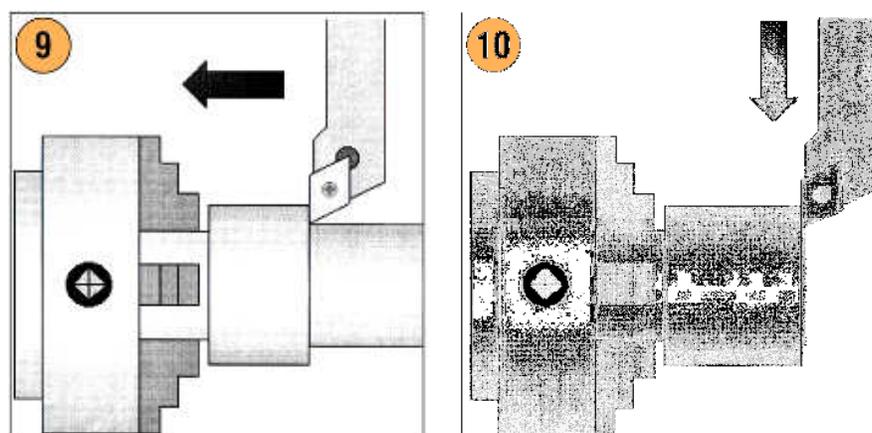
L'outil de coupe opère longitudinalement ou bien transversalement par rapport à la pièce à usiner.

Le travail de l'outil de coupe s'opère à une vitesse déterminée, c'est ce que l'on appelle la vitesse d'avance.

Une certaine profondeur de coupe est de plus nécessaire pour le détachement des copeaux.

Le **tournage longitudinal** (fig. 9) est la technique de tournage la plus pratiquée. L'outil se déplace parallèlement à l'axe longitudinal de la pièce à usiner et réduit à cette occasion son diamètre.

Lors du **tournage transversal** (fig. 10) la surface à usiner se trouve la plupart du temps à la verticale de l'axe longitudinal de la pièce à usiner. À cette occasion, le travail de l'outil s'opère de l'extérieur vers le centre ou inversement.

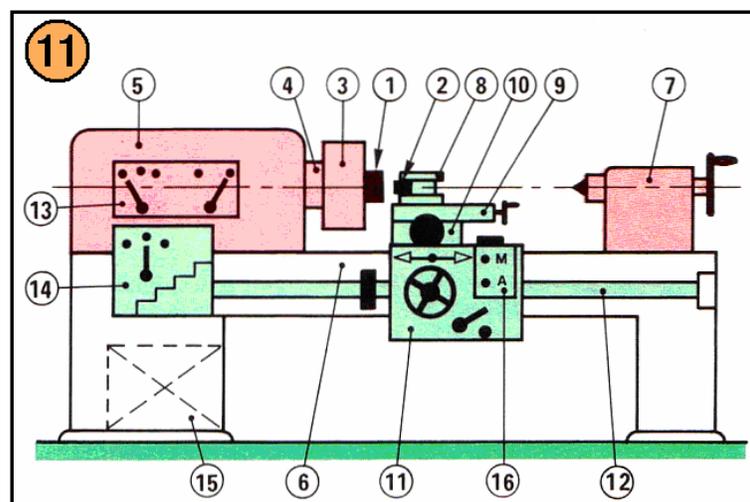


## 2.1 Tours parallèles

Les opérations courantes de tournage : dressage, cylindrage, alésage (fig. 8) sur pièces de faible diamètre, sont exécutées sur des tours parallèles qui se différencient par :

- leurs possibilités : tours parallèles à charioter (fig. 11), tours parallèles à charioter et fileter ;
- leur utilisation courante : tours de production, tours d'outillage ;
- leur fonctionnement : commande manuelle, commande semi-automatique, commande automatique.

Le mécanicien - ajusteur utilise le tour parallèle à charioter.



### Tour parallèle. Schéma.

- (1) Pièce ; (2) Outil ; (3) Mandrin ;
- (4) Broche ; (5) Poupée fixe ;
- (6) Banc ; (7) Poupée mobile ;
- (8) Tourelle porte-outils ;
- (9) Chariot supérieur ;
- (10) Chariot transversal ;
- (11) Trainard ;
- (12) Barre de chariotage ;
- (13) Boîte des vitesses ;
- (14) Boîte des avances ;
- (15) Moteur ; (16) Contacteur.

- **Principales caractéristiques**

Longueur entre pointes 0,5 m à plusieurs mètres, limitant la longueur des pièces usinables.

Hauteur de pointes : 100 à 400 mm, limitant le diamètre à usiner.

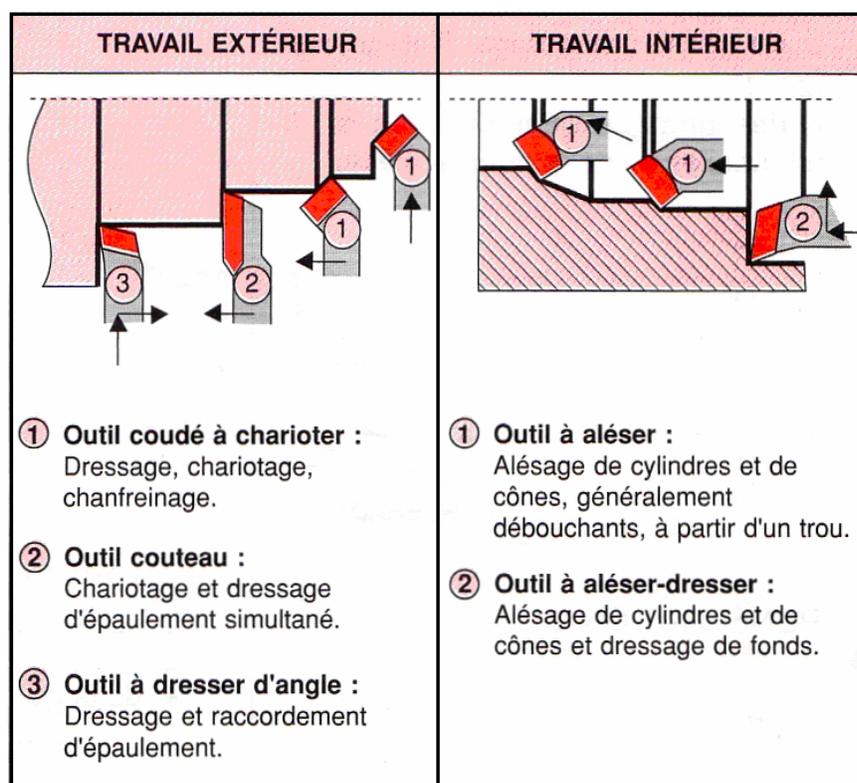
Puissance du moteur : 1 à 10 kW.

Vitesses de rotation de la broche :  $n = 80$  à 1600 tr/mn.

Avances longitudinales ou transversales :  $a = 0,1$  à 1 mm/tr.

- **Outils de tournage**

Ce sont des outils normalisés, à corps prismatique (*section carrée ou rectangulaire*) et partie active en acier rapide ou en carbure.



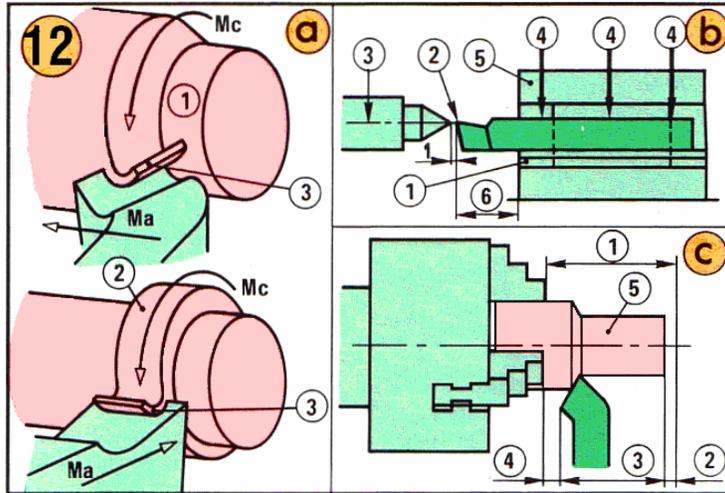
Le choix des outils de tournage A.R.S.

- **Mouvements relatifs outil-pièce**

Deux mouvements relatifs simultanés sont nécessaires pour produire une surface (fig. 12).

**Mc** : mouvement de coupe circulaire uniforme de la pièce.

**Ma** : mouvement d'avance rectiligne uniforme de l'outil.



**Mode d'action des outils**

a) (1) Chariotage ; (2) Plongée ; (3) Copeau.

b) Les cales (1) situent l'arête de l'outil (2) à hauteur de l'axe (3) du tour, après serrage des vis (4) de la tourelle (5) ; (6) Dépassement réduit.

c) Le dépassement (1) de la pièce (5) tient compte de la surépaisseur (2), de la distance (3) et de la sécurité (4).

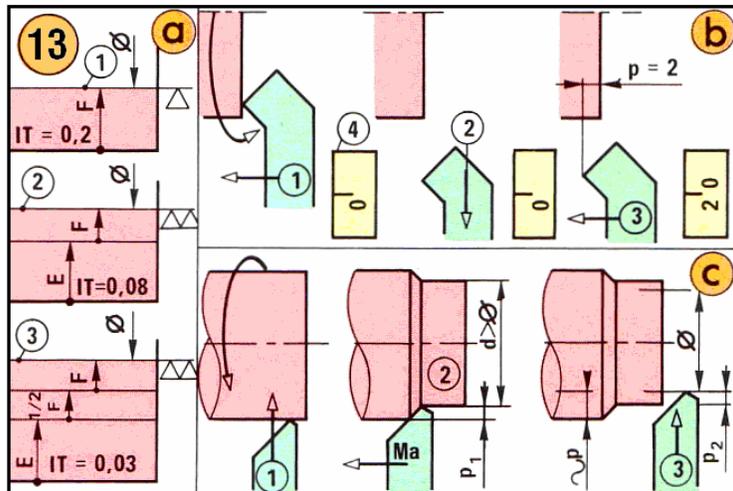
• **Production d'une surface**

Une surface peut être produite par plongée (le profil de l'outil est identique à celui de la surface à produire) ou par chariotage avec :

- Ma perpendiculaire à l'axe pour le dressage (fig. 12) ;
- Ma parallèle à j'axe pour le cylindrage, l'alésage ou le chambrage ;
- Ma oblique à l'axe pour le chariotage conique.

Suivant la puissance de la machine, la surépaisseur *s* à couper et les tolérances à respecter (IT sur la cote ; état superficiel ∇ ou ∇∇), la production d'une surface par chariotage peut nécessiter :

- une seule passe (fig. 13) ;
- une ou plusieurs passes d'ébauche (profondeur de passe *p* aussi grande que possible ; *a* = 0,15 à 0,6 mm/tr) et une passe de finition (*p* = 0,15 à 0,25 mm ; *a* = 0,1 à 0,3 mm/tr).



**Profondeur de passe**

a) Passes. Suivant IT sur Ø et état superficiel. E. Ebauche ; 1/2 F. Demi-finition ; F. Finition, avec 1/2 F = F = 0,1 à 0,3 mm/tr.

b) Réglage au tambour gradué (4). (1) Contact ; (2) Dégagement ; (3) Réglage.

c) Réglage sur brut.

- (1) Contact ;
- (2) Amorçage à  $d > \varnothing$  ;
- (3) Réglage  $p_2$ , pour  $\varnothing$  désiré.

Un travail très précis (fig. 13) exige une passe de demi-finition identique à la passe de finition. La surépaisseur *s* peut donc être enlevée en une seule passe ou bien répartie entre plusieurs passes.

**Exemple :**

Pour *s* = 5 mm, en réservant 0,2 mm pour la finition et autant pour la demi-finition, il reste 4,6 mm pour l'ébauche, réalisable en une seule passe.

**2.2 Dressage par chariotage**

Analyse de l'opération 2 (fig. 14) : dressage du bout (1) avec *s* = 2 mm, IT = 0,3, état superficiel ∇. (Opérations 2 et 3 associées, sans démontage de la pièce).

OPÉRATIONS		OUTILLAGE	CONTRÔLE
	1	Ébavurer, contrôler le brut Ø60, l = 142	Lime Calibre à coulisse
	2	Dresser. Chariotage radial Bout 1	Outil à charioter coudé acier rapide Cotes p a n 140 ± 0,15 2 0,16 320
	3	Cylindr. Chariotage longitudinal Cylindre 2	Ø52 ± 0,3 l = 70 -0,3
ÉBAUCHE		Acier, R = 40 hbar	

**Instructions détaillées**

La pièce brute en acier laminé, a Ø 60 x 142. Les surépaisseurs (2 mm sur (1), 4 mm au rayon sur (2)) avec IT = 0,3 sur le bout et le rayon imposent une seule passe par surface. L'état superficiel (*traits réguliers, sensibles au toucher*) impose une forte avance par tour. Le bout (1) est dressé au début.

- **Déterminer le processus**

Les données permettent le dressage en une seule passe :

*p* = 2 mm ; *a* = 0,16 mm/tr.

- **Choisir et monter l'outil**

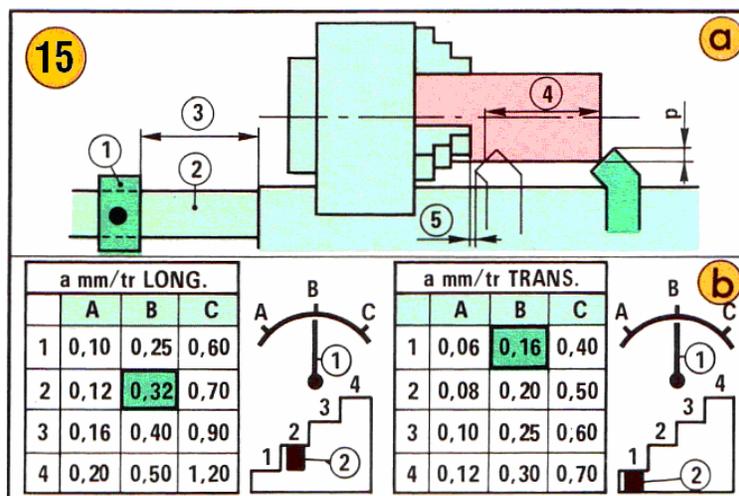
Après contrôle (*affûtage, surface de référence*) l'outil à charioter coudé est placé sur la référence de la tourelle, propre et en bon état. Les angles de pente d'affûtage et de dépouille ne sont corrects que si l'arête tranchante est à hauteur de l'axe de la broche. L'outil dépassant le moins possible, serrer les vis de la tourelle et contrôler à nouveau la hauteur de l'arête tranchante (fig. 12).

- **Fixer la pièce dans le mandrin**

Engager la pièce dans les mors du mandrin (dépassement aussi faible que possible, compte tenu de la longueur nécessaire pour les opérations associées) et la serrer en utilisant la clé du mandrin; contrôler le contact entre mors et pièce.

- Procéder aux réglages

**Vitesse de rotation de la broche :**  $n$  tr/mn. Assurer la valeur figurant sur la feuille d'instructions détaillées en plaçant les leviers de la boîte des vitesses aux positions indiquées par le tableau de réglage (fig. 15).



**Réglages**

**a) Sécurité.** Lors du chariotage longitudinal, la butée (1) est bloquée sur le banc (2) en respectant une distance (3) égale à la course nécessaire (4), ce qui assure la sécurité (5).

**b) Avances.** Les avances longitudinales ou transversales sont obtenues par manipulation du levier (1) et du baladeur (2).

**Avance automatique du chariot transversal :**  $a$  mm/tr

Assurer la valeur désirée en disposant les leviers de la boîte des avances suivant le tableau de réglage.

**Contact outil-pièce**

Embrayer Mc. Situer le bec de l'outil devant le bout de la pièce et bloquer le traînard. Avancer lentement le chariot supérieur jusqu'à ce que la pointe de l'outil laisse une légère trace sur la pièce ; régler le tambour gradué au zéro et dégager l'outil (*chariot transversal*).

**Profondeur de passe :**  $p$  mm.

Calculer le nombre de graduations correspondant à  $p$ . (Ex. une graduation 0,1 mm ;  $p = 2$  mm = 20 graduations). Avancer le chariot supérieur du nombre de graduations calculé (fig. 13).

- Prendre la passe

Abaissier le levier de commande d'avance automatique du chariot transversal dans le sens voulu ; lubrifier. Pendant la passe, ne toucher à aucun organe en mouvement, ni à la pièce, ni aux copeaux. Débrayer Ma lorsque l'outil est arrivé au centre de la pièce ; reculer l'outil ; débrayer Mc ; contrôler.

### 2.3 Cylindrage par chariotage

Analyse de l'opération 3 (fig. 14) : cylindrage de la surface (2) avec  $s = 4$  mm, IT = 0,6 mm, état superficiel  $\nabla$  (opérations 2 et 3 associées).

- **Déterminer le processus**

Les données permettent le cylindrage en une passe; mais le réglage de  $p$  sur une surface laminée est imprécis et nécessite un amorçage à un diamètre (supérieur au diamètre désiré) dont la mesure permette un second réglage précis.

- **Choisir et monter l'outil**

L'économie conduit à utiliser l'outil à charioter coudé.

- **Fixer la pièce dans le mandrin**

Le dépassement est tributaire de la longueur à usiner, de la largeur de l'outil et de la distance interdisant le contact entre outil et mandrin.

- **Procéder aux réglages**

**Vitesse de rotation de la broche** ; avance du traînard.

**Contact outil-pièce.** Par déplacement du chariot transversal ; dégagement par déplacement du traînard. Débrayer Mc.

**Butée longitudinale**

Régler  $p = 4$  mm, placer l'outil suivant fig. 15 et bloquer la butée sur le banc à distance voulue du traînard; reculer l'outil et amener le traînard en butée pour constater le non contact outil-mandrin.

- **Amorcer la passe**

Régler  $p_1 \approx 0,5 p$  ; embrayer Mc et Ma (traînard), cylindrer sur  $L \approx 5$  mm ; dégager l'outil ; débrayer ; mesurer, calculer puis régler  $p_2$  pour le diamètre désiré (fig. 13).

- **Prendre la passe**

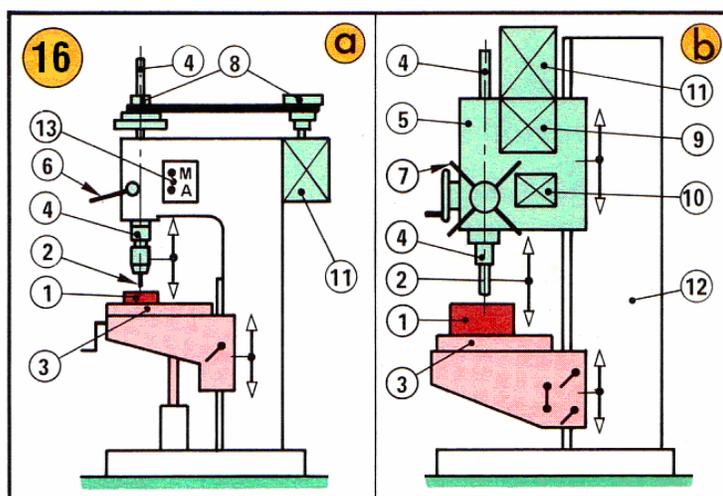
Débrayer Ma 2 mm avant le contact traînard-butée, terminer par commande manuelle du traînard. Débrayer Mc. Contrôler.

### 3. Perçage et alésage

#### 3.1 Travaux sur perceuses

- **Les perceuses**

Le **perçage** de trous cylindriques est fréquemment suivi de diverses opérations complémentaires : alésage cylindrique, chanfreinage, taraudage (fig. 17), réalisées sur la même perceuse. De même disposition générale, les perceuses se différencient d'abord par leur capacité de perçage (fig. 16).

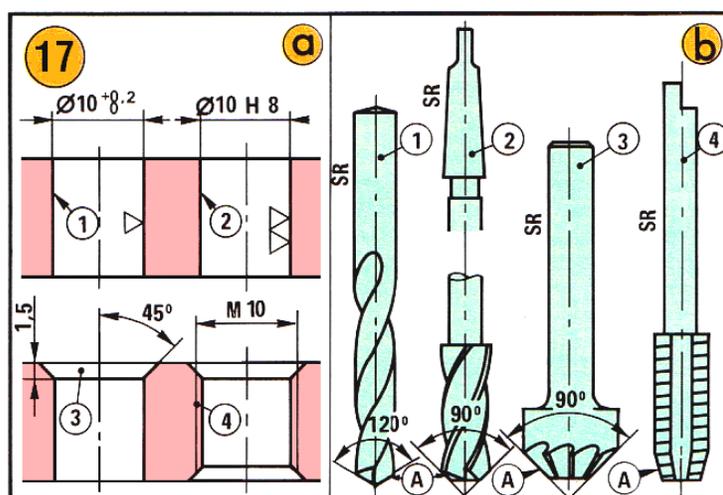


#### Perceuses

**a) Perceuse sensitive.**

**b) Perceuse à montant.**

(1) Pièce ; (2) Outil ; (3) Table ; (4) Broche ; (5) Chariot porte-broche ; (6) Levier et (7) Cabestan de commande manuelle de Ma ; (8) Poulies et courroies ; (9) Boite des vitesses ; (10) Boite des avances automatiques ; (11) Moteur ; (12) Montant ; (13) Contacteur.



#### Opérations. Outils

**a) Opérations.**

Trous cylindriques : (1) percé au foret ; (2) calibré à l'alésoir-machine ; (3) chanfreiné à la fraise à lamer ; (4) taraudé au taraud-machine.

**b) Outils.**

(1) Foret hélicoïdal à queue cylindrique ; (2) Alésoir-machine à queue conique ; (3) Fraise à lamer conique ; (4) Taraud-machine ; A.. Arêtes.

Perceuse sensitive : capacité  $\varnothing$  10 à 12 mm ; avance de l'outil par commande manuelle.

Perceuse à montant : capacité  $\varnothing$  30 mm et perceuse radiale : capacité  $\varnothing$  80 mm ; avance automatique  $a$  mm/tr de l'outil.

Les autres caractéristiques sont principalement :

Hauteur entre la table et l'outil : 250 à 800 mm.

Puissance du moteur : 0,5 à 5 kW.

Vitesse de rotation de la broche  $n = 20$  à 2500 tr/mn.

### • Outils

Chaque opération nécessite un outil spécialisé. En acier rapide ou partiellement en carbure, ces outils sont caractérisés par leur diamètre, la surface de référence (cylindrique ou conique) servant à leur fixation sur la machine, le nombre et la disposition des arêtes tranchantes.

Foret hélicoïdal : deux arêtes tranchantes à  $120^\circ$  (fig. 17).

Alésoir-machine : quatre à huit arêtes tranchantes à  $90^\circ$  Fraise à lainer: six à huit arêtes tranchantes à  $90^\circ$

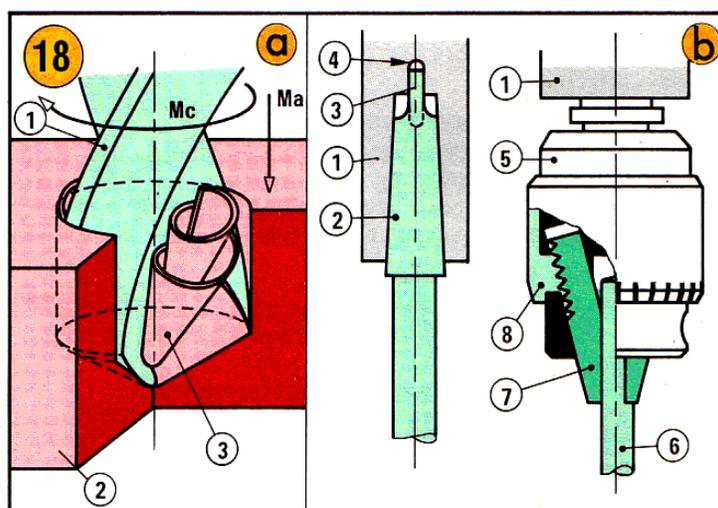
Taraud-machine : généralement quatre arêtes tranchantes, correspondant à l'entrée du taraud à main n°2.

### • Mouvements relatifs outil-pièce

Deux mouvements simultanés de l'outil sont nécessaires, la pièce étant immobile (fig. 18).

$M_c$  : mouvement de coupe circulaire uniforme.

$M_a$  : mouvement d'avance rectiligne uniforme.



### Fixation des outils

#### a) Mode d'action du foret hélicoïdal.

(1) Guidage de l'outil ; (2) Pièce ;  
(3) Copeau.

b) Fixation. Dans la broche (1) ;  
(2) Cône de centrage de l'outil ;  
(3) Tenon d'entraînement engagé dans la lumière (4) de la broche. En mandrin (5) à trois mors ; (6) Outil à queue cylindrique ; (7) Mors ;  
(8) Couronne de serrage.

### • Production d'une surface

Chaque opération nécessite une passe.

Trou de diamètre peu précis : perçage direct au foret ( $a$  mm/tr  $\approx 0,01\varnothing$ ).

Trou calibré : alésage à l'alésoir-machine ( $a \approx 0,1$  mm/dt) d'un trou percé ( $\varnothing - 0,2$  mm à  $\varnothing - 0,5$  mm).

Trou taraudé : taraudage au taraud-machine ( $a$  mm/tr = pas  $p$ ) d'un trou percé ( $\varnothing - p$ ).  
 Chanfreinage d'un trou à la fraise à lamer conique (avance manuelle).

### 3.2 Principales opérations

Analyse des opérations de la fig. 19 : Production d'un alésage  $\varnothing 10H8$  et de deux trous M8.

19	OPÉRATIONS			OUTILLAGE	CONTRÔLE
	1	Ebavurer			Lime
2	Tracer				
3	Trou (1) Perçer $\varnothing 9,6$	$a$	N	Foret $\varnothing 9,6$	Tampon cylindrique
4	Aléser $\varnothing 10 H 8$	0,1	800	Alésoir $\varnothing 10$ 4 dents	
5	Trous (2)(3) Perçer $\varnothing 6,8$	0,07	1000	Foret $\varnothing 6,8$	Réglet
6	Chanfreiner $\varnothing 9$	0,6	630	Fraise à lamer $\varnothing 12$	
7	Chanfreiner $\varnothing 9$	0,6	630	6 dents	
8	Tarauder M 8	1,25	63	Taraud M 8	Tampon fileté M 8
PORTE-BUTÉE				Acier, R = 50 hbar	

#### Instructions détaillées

La pièce est calibrée. Les trous doivent être situés d'après les références planes (traçage). Le trou (1) doit être cylindrique, calibré à  $\varnothing 10H8$  (tolérance  $22\mu$ ) et ne présenter que de très fines traces de coupe à l'outil. Les trous (2), (3) doivent être chanfreinés à chaque bout avant d'être taraudés à M8.

- **Déterminer le processus**

Trou de diamètre peu précis : tracer, pointer à  $120^\circ$ , percer.

Trou calibré : tracer, pointer, percer, aléser.

Trou chanfreiné : tracer, pointer, percer, chanfreiner.

Trou taraudé : tracer, pointer, percer, chanfreiner l'entrée et la sortie du trou, tarauder.

Tous ces processus ne diffèrent que par les opérations finales.

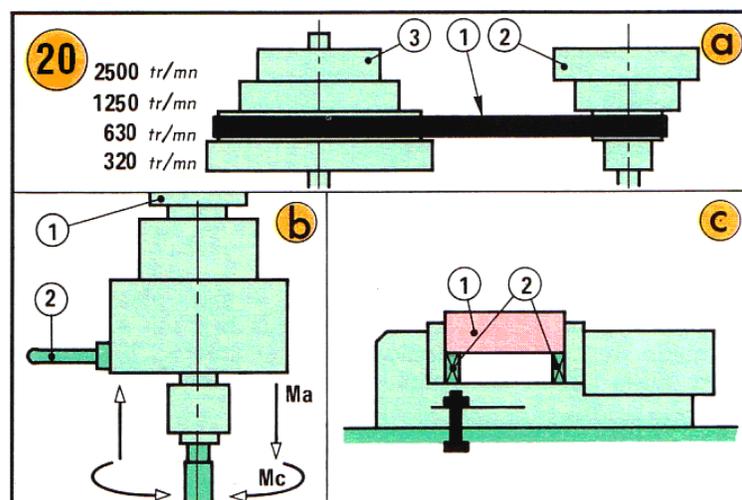
- **Choisir et monter les outils**

Choisir un outil de type et de diamètre correspondant aux spécifications de la feuille d'instructions ; mesurer le diamètre du foret à l'extrémité des arêtes tranchantes. Les arêtes tranchantes des outils doivent être vives et les références de fixation, non détériorées.

Engager à fond la queue cylindrique de l'outil dans le mandrin et serrer avec la clé de service ; orienter le tenon d'entraînement de la queue conique d'après la lumière de la broche et engager brusquement la queue conique dans son logement (fig. 18).

- **Fixer la pièce dans l'étau**

Les références étant propres, placer et serrer la pièce au milieu de l'étau sur deux cales minces écartées, prévoyant ainsi le passage de l'outil après débouchage (fig. 20).



### Réglages

**a) Courroie (1).** Sa position sur les poulies du moteur (2) et de la broche (3) fournit  $n$  tr/mn,

**b) Appareil à tarauder monté dans la broche (1),** arrêté en rotation par le levier (2) l'inversion de  $Ma$  provoque l'inversion de  $Mc$ .

**c) Serrage en étau.** (1) Pièce ; (2) Cales permettant le débouchage du foret.

### • Procéder aux réglages

**Vitesse de rotation de la broche  $n$  tr/mn.** La perceuse est débrayée. Après consultation du tableau des vitesses de la perceuse, assurer la valeur figurant sur la feuille d'instructions détaillées.

- Sur perceuse sensitive (fig. 20) : placer la courroie à l'étage désigné des poulies ;
- Sur perceuse à montent : placer les leviers de la boîte des vitesses aux positions désignées.

**Avance automatique  $a$  mm/tr.** Sur perceuse à montent : placer les leviers de la boîte des avances aux positions désignées.

### **Position relative outil – axe du trou**

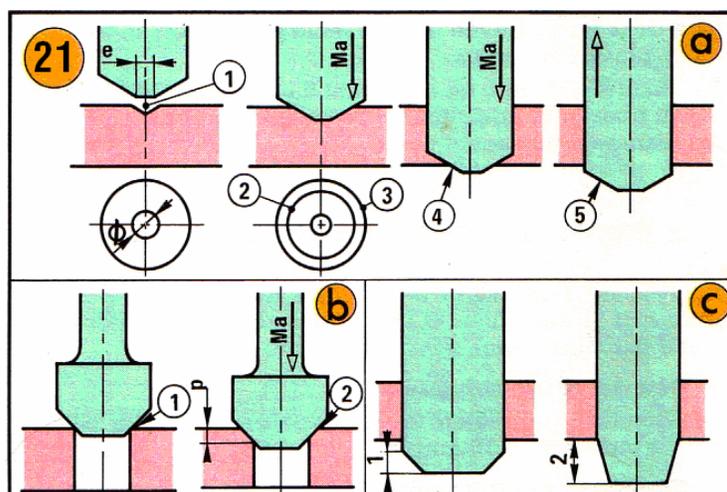
Pour percer : aligner le coup de pointeau central du tracé avec la pointe du foret. Aléser sans déplacer la pièce, de préférence ; sinon, de même que pour chanfreiner et tarauder, centrer très soigneusement le trou percé avec le cône d'action de l'outil.

Après alignement, brider\* l'étau sur la table.

### • Percer au tracé

Embrayer  $Mc$  : Descendre le foret en manoeuvrant le levier et amorcer le trou ; les copeaux se forment ; remonter le foret et observer l'amorçage conique qui doit être concentrique au tracé ; reprendre le perçage (fig. 21).

Sur perceuse sensitive : appuyer modérément sur le levier, les copeaux se dégagent régulièrement ; arroser ; réduire la pression lors du débouchage pour éviter la rupture du foret ; remonter le foret, débrayer ; contrôler. Sur perceuse à montent : embrayer  $Ma$  puis débrayer après débouchage ; remonter le foret, débrayer  $Mc$  ; contrôler.



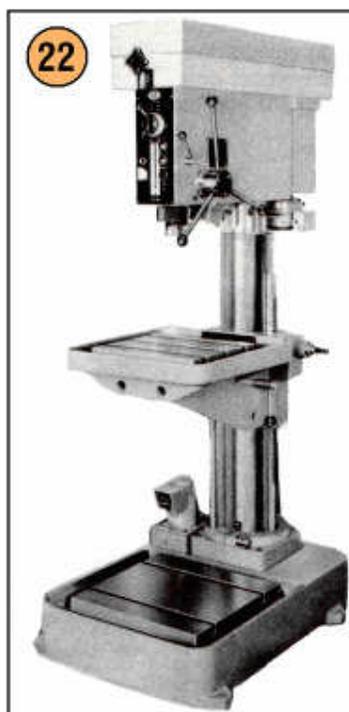
**Opérations**

**a) Perçage au tracé.** (1) Centrage par le coup de pointe à 120°,  $\phi > e$ ; (2) Amorçage concentrique au tracé (3); (4) Début du débouchage; (5) Débouchage.

**b) Chanfreinage.** (1) Centrage et réglage de butée; (2) Fin de course.

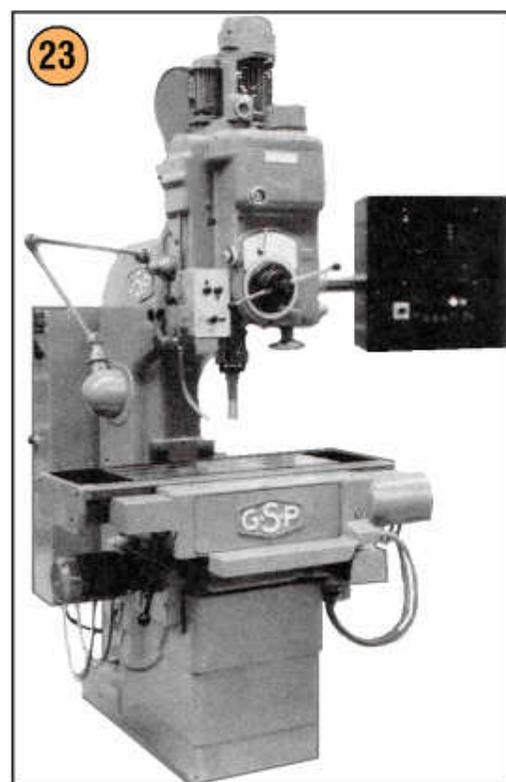
**c) Alésage et taraudage.** Débouchage des parties actives (1), (2).

• **Autres machines à percer**



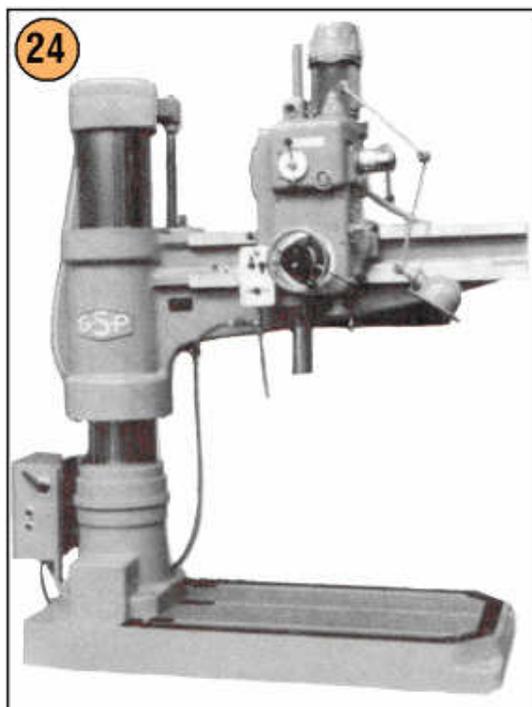
**Perceuse à colonne**

Les gros modèles permettent le perçage jusqu'au diamètre de 100 mm. La commande de la broche peut être sensitive ou automatique. Elles sont utilisées pour le perçage, le taraudage et l'alésage à l'alésoir des pièces de petites et moyennes dimensions, en travail unitaire ou en petite série.



**Perceuse-aléreuse à commande numérique**

La qualité des guidages de l'organe porte-broche permet de faire des travaux de précision par alésage à l'outil de forme et d'enveloppe. Ces machines sont munies d'une table à mouvements croisés qui peut être commandée manuellement ou automatiquement (cycle programmable ou commande numérique). La broche porte-outil est en porte-à-faux, les modèles les plus puissants autorisent les opérations de fraisage.

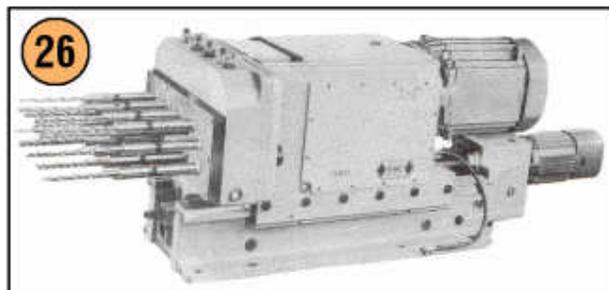
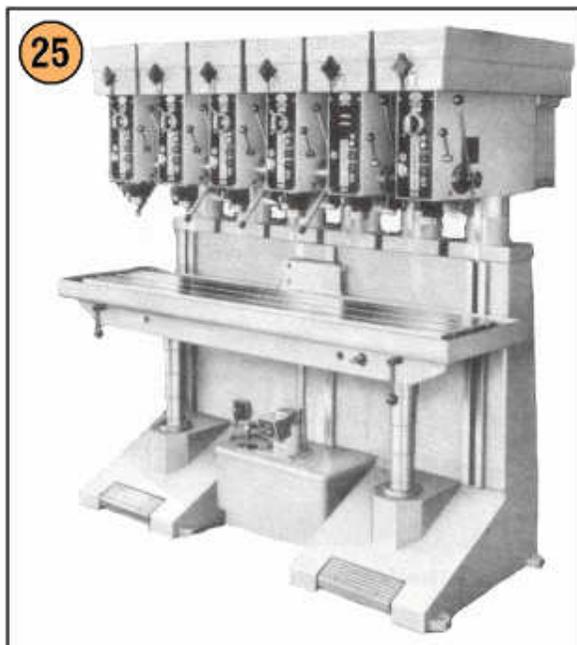


### Perceuse radiale

L'ensemble porte-broche se déplace sur un bras horizontal mobile autour d'un axe vertical. Ces machines sont utilisées pour réaliser en travail unitaire ou en petite série des travaux de perçage, alésage, taraudage sur des pièces volumineuses. Diamètre maximum de perçage dans l'acier 80 mm, distance maximale de l'axe du foret à la génératrice de la colonne : 2,700 m.

### Perceuse à broches multiples

Les perceuses à broches multiples sont constituées de broches alignées et solidaires d'un même bâti. La table porte-pièce permet le déplacement du porte-pièce sous chaque broche. La descente des broches est généralement manuelle. Ces machines permettent la réalisation d'opérations associées de perçage, lamage, taraudage, alésage à l'álesoir, ébavurage sans avoir à démonter les outils.



### Unité d'usinage « Renault »

Les unités d'usinage sont des machines à percer, autonomes, prévues pour être associées à d'autres unités d'usinage sous forme de machines spéciales. Elles sont destinées aux travaux de très grandes séries.

- **Aléser après perçage**

La nécessité d'une avance régulière conduit à percer et aléser sur perceuse à montant. Descendre l'alésoir près de la pièce, embrayer la rotation et l'avance; arroser; lorsque la partie active de l'alésoir débouche du trou, débrayer l'avance, remonter l'alésoir et débrayer (fig. 21) ; contrôler.

- **Chanfreiner après perçage**

Régler la butée de profondeur de la broche. Embrayer Mc, descendre la fraise à lamer conique et chanfreiner par avance manuelle, en arrosant, jusqu'à contact de la butée ; remonter l'outil, débrayer (fig. 21) ; contrôler.

- **Tarauder après perçage et chanfreinage**

Monter dans la broche de la perceuse un appareil à tarauder destiné à inverser le mouvement de rotation lors du dégagement du taraud. Descendre le taraud près du trou. Embrayer Mc, appuyer sur le levier d'avance manuelle pour amorcer le taraudage puis laisser le taraud se visser en accompagnant le levier; arroser ; lorsque le cône d'action débouche, remonter le levier : le taraud se dévisse ; débrayer (fig. 21) ; contrôler.

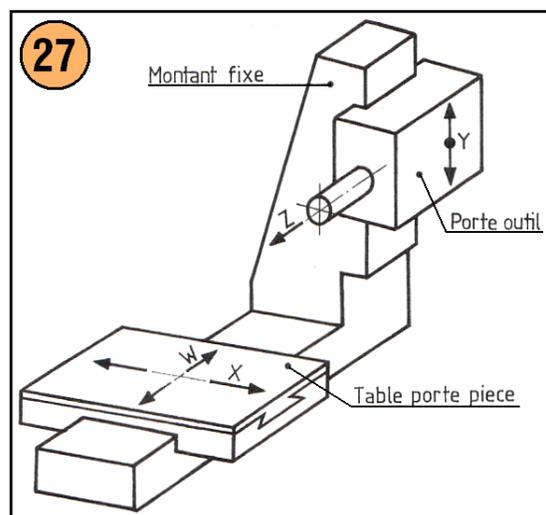
### 3.2 Les aléseuses

Les **aléseuses** permettent toutes la réalisation de perçage, lamage, alésage, taraudage.

Certaines autorisent le surfacage et les opérations de fraisage.

Ces machines sont très souvent dotées de dispositifs de commande numérique.

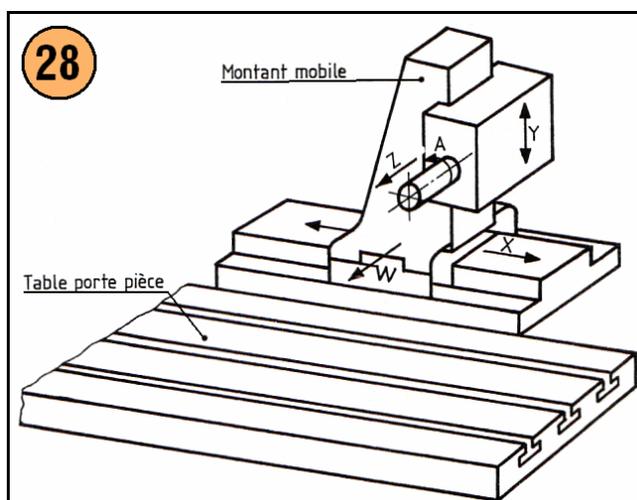
- **Aléseuses à broche horizontale**



#### Aléseuses à montant fixe

La tête porte-outil permet des réglages suivant l'axe Y. La table porte-pièce possède deux mouvements croisés. La génération d'un alésage peut être obtenue par rotation de A et :

- soit par translation Z de la broche ;
- soit par translation W de la table.

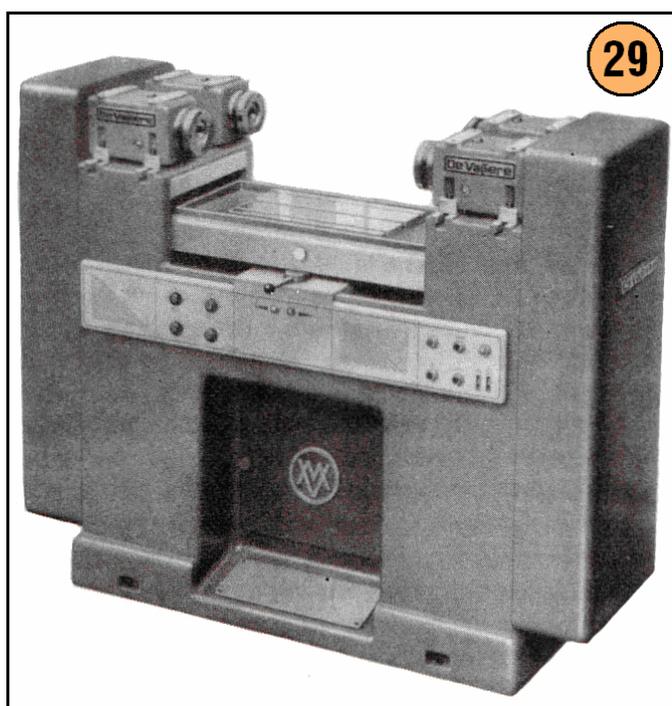


### Aléseuses à montant mobile

Elles sont destinées à l'usinage des pièces de très grandes dimensions. Tous les mouvements sont reportés sur le montant porte-outil.

### Aléseuses multibroches

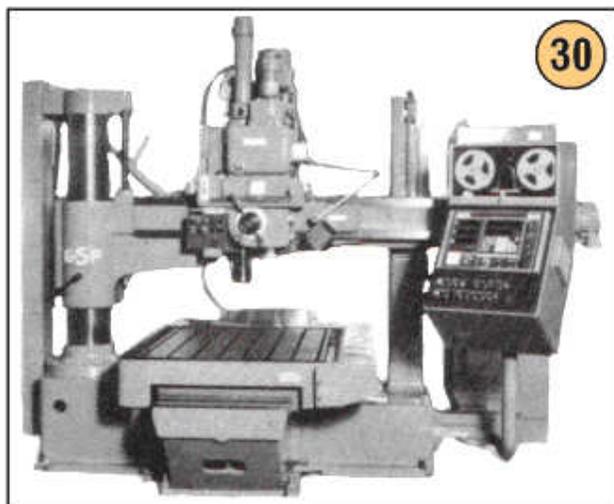
Elles possèdent deux ou quatre broches, la table porte-pièce est animée du mouvement d'avance. Ces machines sont utilisées en très grande série.



- **Aléseuses à broche verticale**

Les aléseuses à broches verticales sont destinées aux opérations de perçage, lamage, taraudage, alésage sur des pièces de petites et moyenne dimensions de la fabrication unitaire à la moyenne série.

On distingue les perceuses aléseuses (fig. 23) et les perceuses-aléseuses fraiseuses (fig. 30).



### Perceuses-aléseuses fraiseuses

La broche porte-outil est maintenue par deux montants. La rigidité de l'ensemble permet tous les travaux de fraisage.

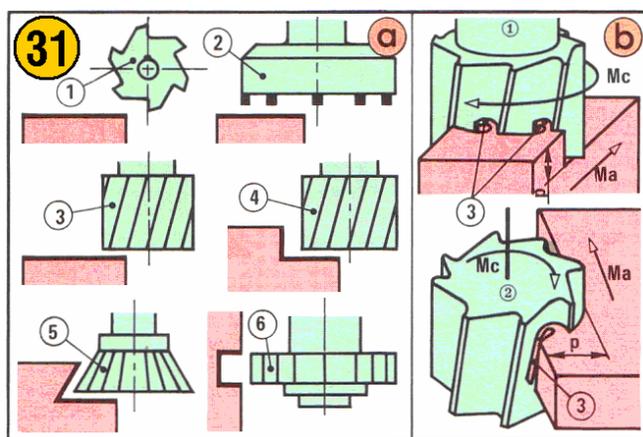
- **Sécurité**

Pendant l'opération, ne pas approcher la tête de la broche (risque d'arrachement des cheveux), ne toucher ni au foret en rotation ni aux copeaux.

## 4. Fraisage

### 4.1 Les machines à fraiser

Ces machines permettent le dressage, le rainurage, le profilage (fig. 31) sur pièces courtes ( $l \leq 500$  mm). Les fraiseuses, présentant sensiblement la même disposition générale, diffèrent surtout par la position de la broche et l'utilisation courante.



### Opérations de fraisage

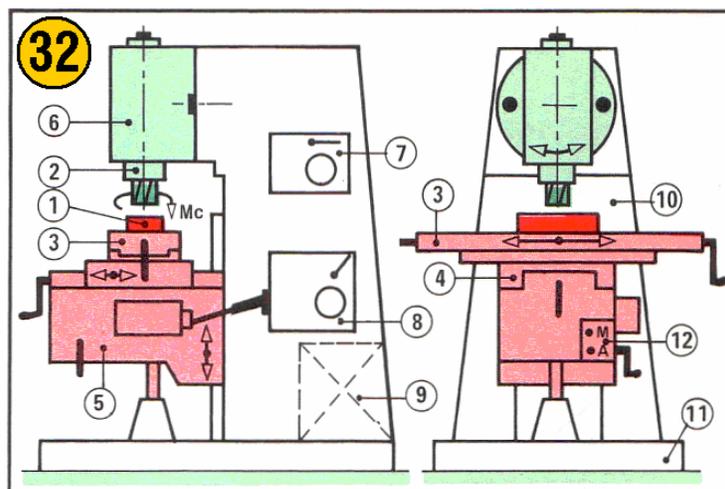
**a) Principales opérations.** Dressage : de face (1), de profil à la fraise (2) ou deux tailles (3). Angles dièdres rentrants à la fraise deux tailles (4), (5). Rainurage à la fraise trois tailles (6).

**b) Mode d'action.** Fraisage en opposition : de face (1), de profil (2) ; (3) Copeaux.

On trouve deux types de conception :

- Les machines monobroches à tête : verticale — horizontale — universelle.
- Les machines multibroches à tête : verticale — horizontale.

Le mécanicien-ajusteur utilise la fraiseuse universelle (fig.32).



### Fraiseuse Schéma d'une machine simple.

(1) Pièce ; (2) Broche porte-fraise ; (3) Table ; (4) Chariot ; (5) Console ; (6) Tête porte-fraise ; (7) Boite des vitesses  $n$  tr/mn ; (8) Boite des avances :  $A$  mm/mn ; (9) Moteur ; (10) Bâti ; (11) Socle ; (12) Contacteur ;  $Mc$  : Mouvement de coupe.

La fraiseuse universelle non cyclée convient lorsque l'usinage des pièces est traité en méthode unitaire ou très petite série. Pour les travaux de série, on fait appel à des fraiseuses qui permettent l'obtention de cycles automatiques.

**NOTA : Certaines machines sont spécialisées dans le fraisage de formes particulières comme les engrenages, les roues à chaîne, les arbres cannelés... Dans ce cas, elles sont appelées : machines à tailler les engrenages, les roues à chaîne, les arbres cannelés, etc.**

#### • Principales caractéristiques

Course de la table : 400 à 600 mm.

Course du chariot : 250 à 400 mm.

Hauteur entre la table et l'outil : 400 mm.

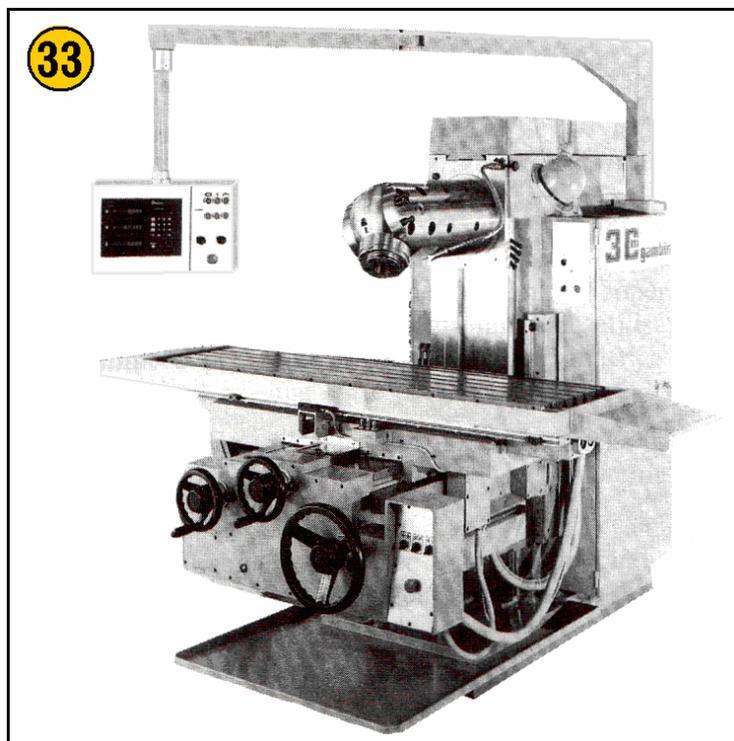
Puissance du moteur : 1,5 à 7 kW.

Vitesses de rotation de la broche :  $n = 50$  à 1250 tr/min

Avances de la table et du chariot :  $A = 10$  à 500 mm/mn.

#### 4.2 Les machines monobroches

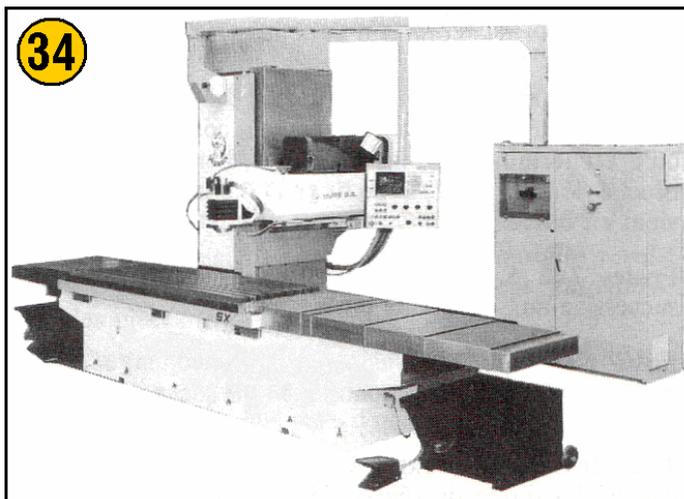
- **A console.** La table porte-pièce est mobile en hauteur. Elles ne conviennent pas pour supporter des pièces lourdes (fig.33).



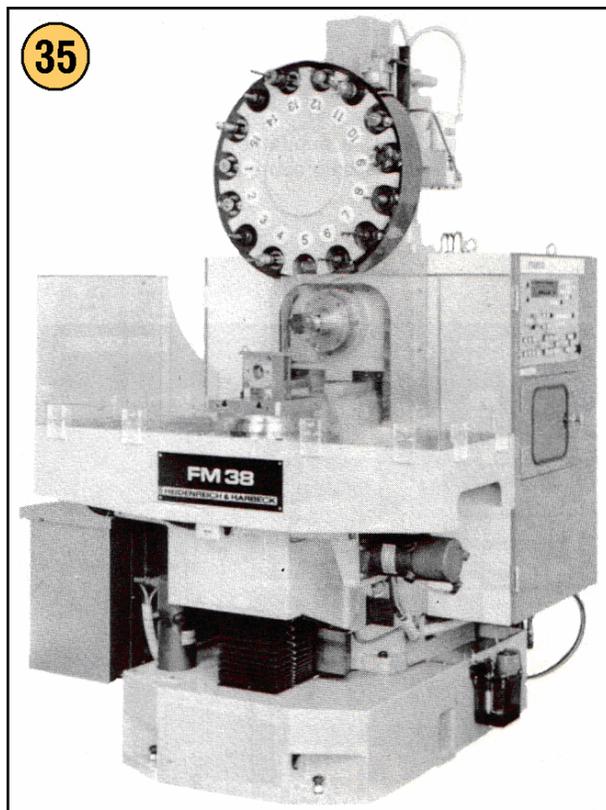
Fraiseuse à C.N. à console

- **A banc fixe.** La table porte-pièce n'assure que le mouvement longitudinal. Elles conviennent beaucoup mieux pour supporter les pièces lourdes (fig.34).

Fraiseuse à C.N. à console à banc fixe



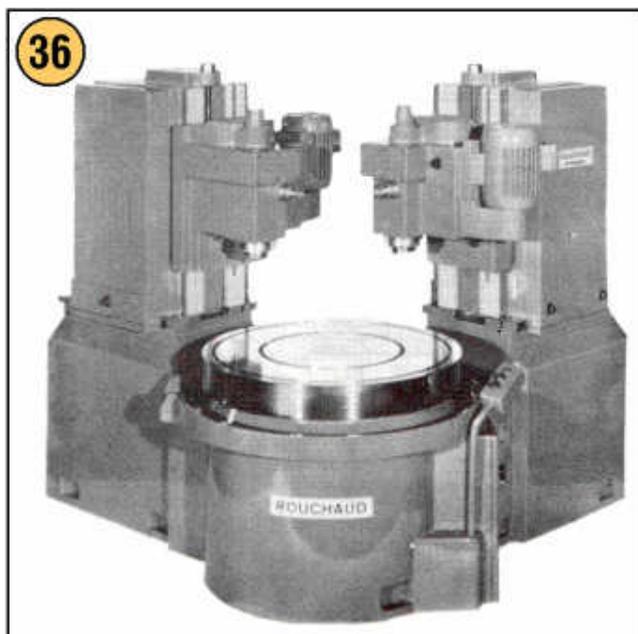
Lorsque les séries de pièces le justifient et lorsque le nombre d'opérations et de changements d'outils nécessaires à l'usinage d'une pièce est important, on fait appel à des machines assurant le chargement et le déchargement automatique des outils. Ces fraiseuses particulières sont appelées « **centres d'usinage** » (fig. 35). Ces machines ne demandent pas une présence permanente de l'opérateur.



Centre d'usinage à broche horizontale

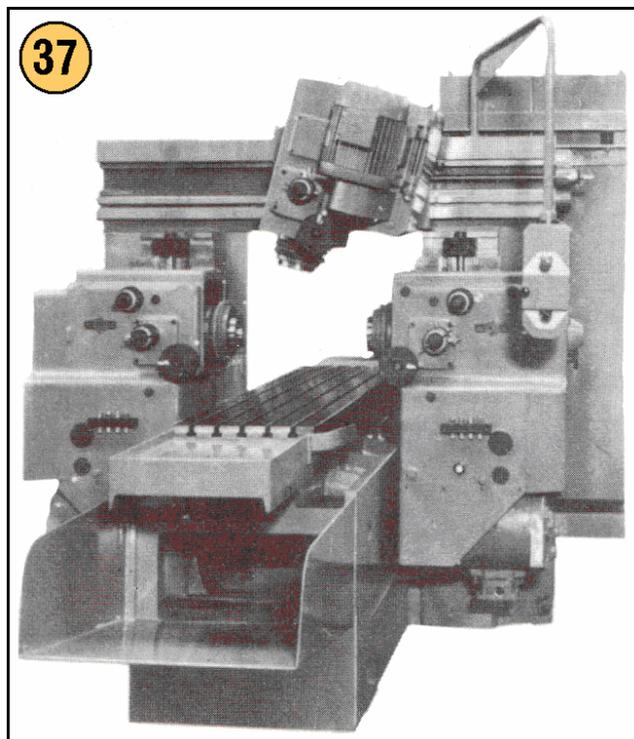
#### 4.3 Les machines à broches multiples

L'augmentation du nombre de têtes supports du mouvement de coupe permet d'usiner simultanément sur plusieurs surfaces.



**Fraiseuses à table rotative** (fig.36).

Elles permettent l'usinage en continu des pièces. Les temps de montage, démontage des pièces sont masqués par les temps de coupe.



**Fraiseuses genre raboteuse** (fig. 37).  
Elles sont réservées à l'usinage des pièces de grandes dimensions.

#### 4.4 Obtention des cycles automatiques

La commande numérique par sa souplesse d'utilisation aussi bien dans les domaines de la petite, moyenne ou grande série est la solution technologique la plus largement répandue. Les différentes positions des organes mobiles sont commandées numériquement en partant d'un programme introduit dans la machine par une bande (perforée ou magnétique) ou par un pupitre de programmation (clavier à touches). Le passage d'un programme à un autre est très rapide.

#### 4.5 Outils de fraisage

Les fraises sont constituées par plusieurs outils prismatiques fixés sur un corps ou bien par une denture taillée dans la masse, la partie active étant en acier rapide ou en carbure.

Les fraises sont définies par :

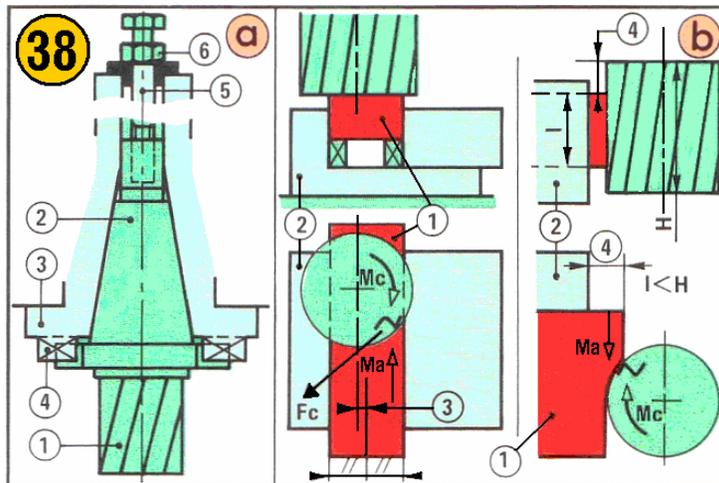
- le type ou nombre de surfaces taillées: 1, 2 ou 3 tailles ;
- la denture nombre de dents à taille droite ou hélicoïdale (fig. 31) ;
- la forme (*cylindrique, conique, ...*) et le diamètre ;
- la fixation : par trou lisse ou taraudé, par queue cylindrique ou conique.

#### • **Mouvements relatifs outil-pièce**

Deux mouvements relatifs simultanés sont nécessaires pour produire une surface (fig. 31 et 36).

Mc : mouvement de coupe circulaire uniforme de la fraise.

Ma : mouvement d'avance rectiligne uniforme appliqué à la pièce et de sens opposé à Mc (fraisage en opposition).



**Fraisage en opposition**

**a) Fixation de la fraise (1).**

(2) Cône porte-fraise ; (3) Broche avec tenons d'entraînement (4) ; (5) Vis de rappel ; (6) Contre-écrou.

**b) Position relative pièce-fraise.**

Ablocage en étau. (1) Pièce ; (2) Mors fixe, Ma opposé à Mc et à Fc ; (3) Décalage pour fraisage de l'arête ; (4) Distances à réduire.

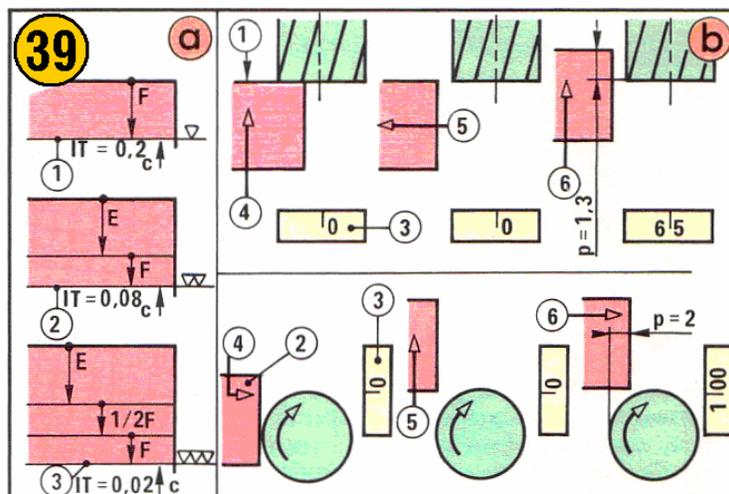
**4.6 Production d'une surface**

Une surface peut être produite par chariotage (fraisage de face ou en bout ; fig. 31) ou par plongée (fraisage de profil ou en roulant).

Suivant la puissance de la machine, la surépaisseur *s* à couper et les tolérances à respecter. (IT sur la cote ; état superficiel ∇ ou ∇∇) la production d'une surface peut nécessiter :

- une seule passe ;
- une ou plusieurs passes d'ébauche (profondeur de passe *p* mm limitée à quelques mm, compte tenu de la fragilité des fraises) et une passe de finition (*p* = 0,15 à 0,3 mm).

Un travail très précis (fig. 39) exige une passe de demi-finition identique à la passe de finition. La surépaisseur *s* peut donc être enlevée en une seule passe ou bien répartie entre plusieurs passes.



**Profondeur de passe**

**a) Répartition des passes.** Suivant cote *c*, IT et état superficiel.

E. Ebauche ; 1/2 F. Demi-finition ; F. Finition, avec 1/2 F = F = 0,15 à 0,3 mm ; **b) Réglage au tambour gradué** (3) en fraisage de face (1), de profil (2). Contact fraise-pièce (4) et tambour gradué à zéro ; (5) Dégagement ; (6) Réglage.

**Exemple :** Pour  $s = 3,5$  mm, en réservant 0,2 mm pour la finition et autant pour la demi-finition, il reste 3,1 mm pour l'ébauche, réalisable en une seule passe.

#### 4.7 Dressage par fraisage de face

Analyse de l'opération 2 (fig. 40) : dressage de la face (1) avec  $s = 1,3$  mm ;  $IT = 0,2$  mm ; état superficiel  $\nabla$ .

OPÉRATIONS		OUTILLAGE		CONTRÔLE
1	Ébavurer, contrôler le brut $30 \times 42 \times 104$	Lime		Calibre à coulisse Equerre
Dresser. Fraisage de face		Fraise 2 tailles $\varnothing 50$ 8 dents		
2	Face ①	Cotes $\pm 0,1$ 28,7	p   A   n 1,3   200   160	calculer p calculer p
3	Chant ②	39,8	2,2   200   160	
4	Chant ③	37,5	200   160	
5	Face ④	17,5	200   160	
Dresser. Fraisage de profil		2 tailles $\varnothing 25,5d_{15}$		
6	Bout ⑤	102	2   250   200	calculer p
7	Bout ⑥	100,5	250   200	
ÉBAUCHE		Acier, R = 40 hbar		

#### Instructions détaillées

La pièce brute a  $30 \times 42 \times 104$  mm. La surépaisseur (1 à 2 mm) et la tolérance permettent une seule passe par sur face. L'état superficiel (traits réguliers, sensibles au toucher) justifie une forte avance. Les références de grande superficie (1) et (2) doivent être produites en premier lieu.

- **Déterminer le processus**

Les données permettent le dressage en une seule passe :  $p = 1,3$  mm ;  $A = 200$  mm/mn.

- **Choisir et monter la fraise**

La fraise cylindrique à deux tailles ( $\varnothing \approx 1,5$  largeur de la surface ; arêtes tranchantes bien vives) reste montée sur son arbre porte-fraise (fig. 38). Engager la référence conique du porte-fraise (*propre, en bon état*) dans l'alésage de la broche (*également propre*), l'y maintenir pendant le vissage de la vis de rappel ; bloquer le contre-écrou de cette vis de rappel.

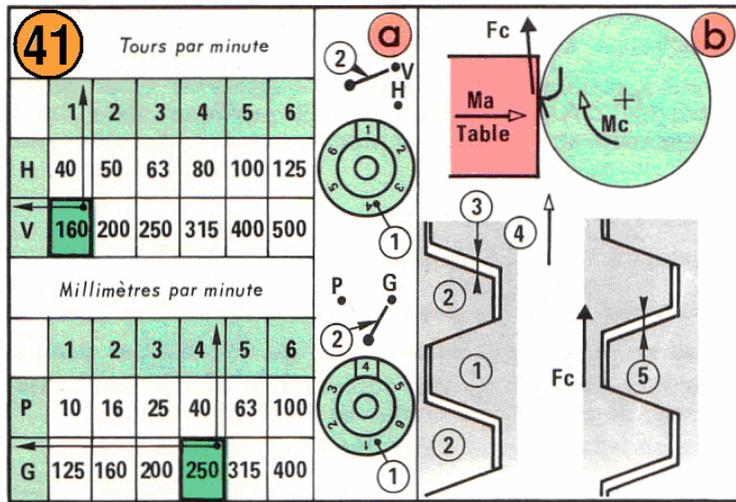
- **Fixer la pièce dans l'étau**

La fraiseuse est débrayée. La fixation est réalisée de la même façon qu'en rabotage ; le serrage doit être plus énergique car, lors du fraisage, plusieurs arêtes tranchantes entrent simultanément en action.

- **Procéder aux réglages**

**Vitesse de rotation de la fraise :**  $n$  tr/mn. Assurer la valeur figurant sur la feuille d'instructions détaillées en plaçant les leviers de la boîte des vitesses aux positions indiquées par le tableau de réglage.

**Avance automatique de la table :**  $A$  mm/mn. Assurer la valeur désirée en disposant les leviers de la boîte des avances suivant le tableau de réglage (fig. 41).



**Réglages**

a) Les valeurs désirées de  $n$  tr/mn ou  $A$  mm/mn sont obtenues par cadrans (1) et leviers (2).

b) Influence du jeu vis-écrou lors des réglages. (1) Filet d'écrou fixe ;

(2) Filet de vis mobile ;

(3) Position du jeu lors du réglage (4) (5) Déplacement brusque de (2) sous l'effort de coupe  $F_c$ .

**Contact outil-pièce.** Embrayer  $Mc$ . Situer la pièce sous la fraise. Monter lentement la console jusqu'à ce que la fraise laisse une très légère trace sur la pièce ; régler le tambour gradué au zéro et dégager la pièce. Débrayer.

**Fraisage en opposition.** Décaler de quelques millimètres dans un sens raisonné, les axes de la surface et de la fraise, afin d'opposer les sens de  $Mc$  et  $Ma$  (fig. 38).

Lors de l'attaque, l'effort de coupe  $F$  de la fraise tend à entraîner l'ensemble pièce – étau – table – chariot, suivant le sens du réglage du décalage (fig. 41). Deux cas :

- Les flancs de filets de la vis de commande et de l'écrou sont en contact et interdisent tout déplacement : le réglage est définitif.
- Le jeu entre flancs de filets permet un déplacement brusque du chariot, d'où rupture de la fraise : le jeu doit être compensé par rotation inverse de la vis.

Il faut donc réfléchir pour déterminer si le réglage initial est définitif ou si le jeu doit être compensé.

**Profondeur de passe :**  $p$  mm. Calculer le nombre de graduations correspondant à  $p$  mm

**Exemple :** Une graduation = 0,02 mm ;  $p = 1,3$  mm = 65 graduations). Monter la console du nombre de graduations calculé. Bloquer la console et le chariot (fig. 39).

• **Prendre la passe**

Approcher la pièce de la fraise; embrayer  $Mc$  puis  $Ma$  dans le sens voulu ; arroser. Pendant la passe, ne toucher à aucun organe en mouvement ni à l'outil. En fin de passe, débrayer  $Ma$ , ramener la pièce à sa position initiale, débrayer  $Mc$ . Nettoyer au pinceau. Contrôler.

#### 4.8 Dressage par fraisage de profil

Analyse de l'opération 6 (fig. 40) : dressage du bout (5) avec  $s = 2 \text{ mm}$  ;  $IT = 0,2 \text{ mm}$  ; état superficiel  $\nabla$ .

- **Déterminer le processus**

Les données permettent le dressage en une seule passe  $p = 2 \text{ mm}$  ;  $A = 250 \text{ mm/mn}$ .

- **Choisir et monter l'outil**

Fraise cylindrique à deux tailles : diamètre 25 mm.

- **Fixer la pièce dans l'étau**

Assurer un dépassement latéral suffisant 10 mm (fig. 38).

- **Procéder aux réglages**

**Vitesse de rotation de la fraise** ; avance de la table.

**Contact outil-pièce**. Par déplacement de la table (fig. 39).

**Fraisage en opposition**. Suppression du jeu.

**Profondeur de passe  $p$  mm**. Par déplacement de la table. Compenser le jeu.

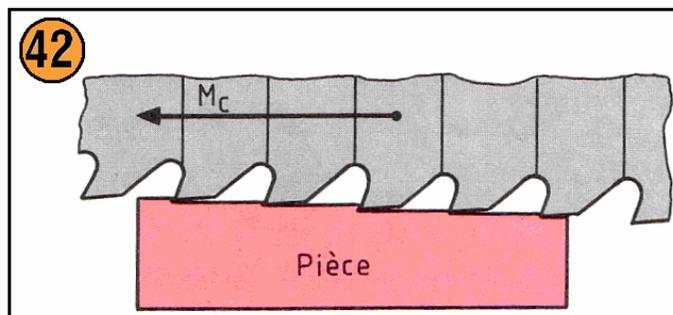
- **Prendre la passe** ; contrôler.

### 5. Travaux de brochage

Le **brochage** est un procédé d'usinage des surfaces intérieures et extérieures à l'aide d'un outil de forme à tranchant multiple appelé : **broche**.

On peut imaginer que la broche est formée de plusieurs outils pelles placés les uns derrière les autres enlevant chacun un copeau d'épaisseur :  $e$ .

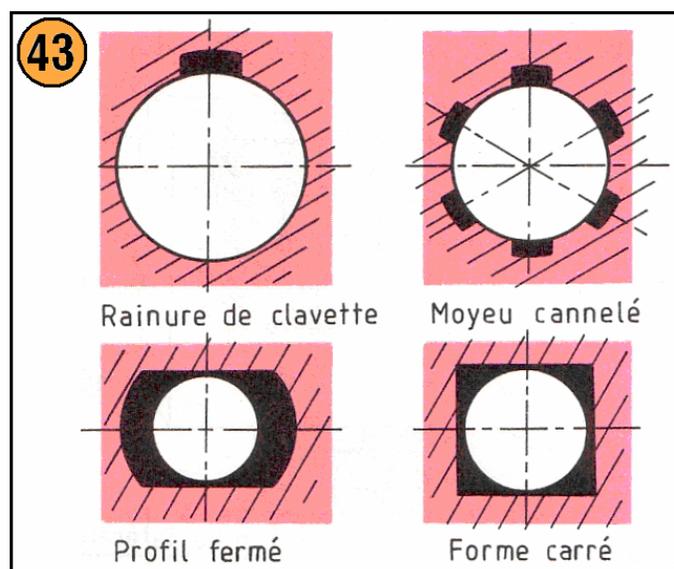
Dans pratiquement tous les cas, l'outil est animé d'un mouvement de coupe rectiligne, chaque dent enlève une faible épaisseur de copeau ( $e$ ), la course de l'outil est plusieurs fois supérieure à la longueur de la surface à façonner, l'usinage est réalisé en un seul passage d'outil (fig. 42).



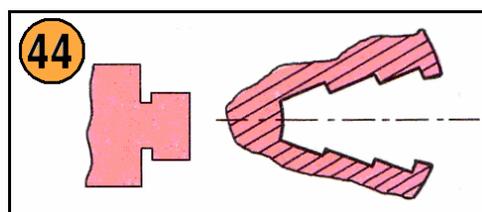
Si le profil à brocher est une forme intérieure fermée, le *brochage* est *intérieur*.

Si le profil à brocher est une forme intérieure ouverte ou extérieure, le *brochage* est *extérieur*

(fig. 43 et 44).



**Brochages intérieurs**



**Brochages extérieurs**

Dans les deux cas, les broches sont réalisées en :

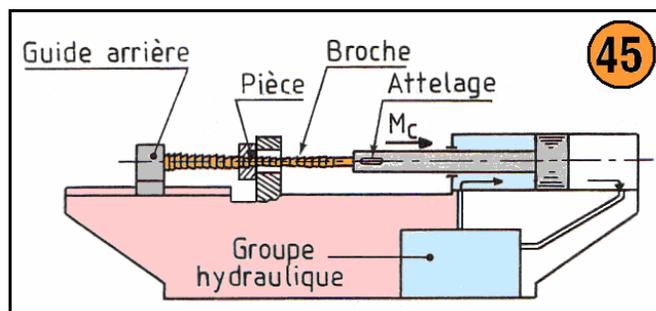
- **acier rapide** traité pour obtenir HRC 64 à 68.
- **carbure**, dans ce cas les vitesses de coupe utilisées sont plus grandes, les broches sont réaffûtées moins souvent et elles permettent d'usiner des pièces jusqu'à une dureté de HRC 40.

**REMARQUE :** Le brochage intérieur nécessite que ta broche puisse traverser la pièce, il est donc nécessaire de réaliser au préalable une ébauche débouchante du profil à brocher.

#### • Machines à brocher

Les machines sont de conception très simple, un seul mouvement de translation est nécessaire, dont la commande est réalisée par un système hydraulique.

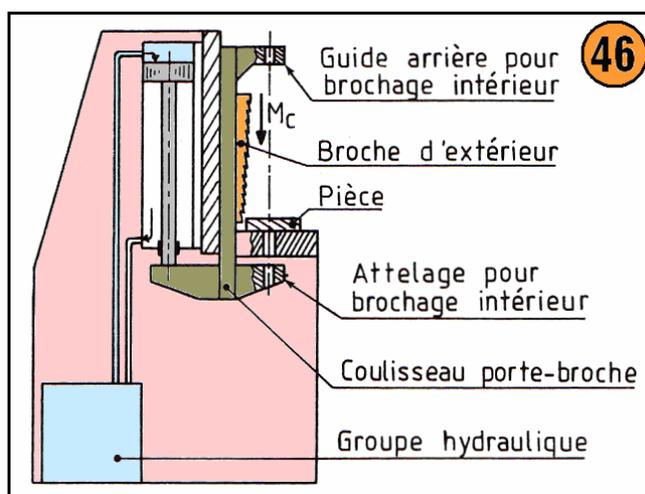
**Machines à brocher horizontales** (fig. 45) Elles sont réservées aux travaux d'intérieur, dans l'atelier elles occupent une grande surface au sol.



**Machines à brocher horizontales**

**Machines à brocher verticales** (fig. 46)

Elles correspondent aux tendances actuelles de fabrication, moins encombrantes, elles sont de plus en plus utilisées aussi bien pour les brochages intérieurs qu'extérieurs.



**Machine à brocher verticale**