

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**

MODULE

TECHNOLOGIE PROFESSIONNELLE

N°: 14

SECTEUR : FABRICATION MECANIQUE

SPECIALITE : MGP

NIVEAU : Q

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

Pour cela visiter notre site www.marocetude.com et choisissez la rubrique :

[MODULES ISTA](#)



The screenshot shows the website's header with a navigation menu: HOME, LIVRES, **MODULES ISTA**, ANNUAIRE ECOLES, DOCTORAT, LETTRE DE MOTIVATION, NOUS CONTACTER, SE CONNECTER. The logo "Maroc Etude.Com" and the tagline "Connaissance - Métier - Technique" are visible. Below the header are links for "Annonces Google", "Emploi Maroc", "Messagerie", "Telecharger Un Jeu", and "Maroc Annonces". A search bar is located on the right. The main content area features a central advertisement for MacKeeper with a "-20%" discount and a coupon code. The ad includes the text "Notre Bibliothèque que ...Livres à Télé charger Gratuitement" and "Complete your Purchase Now and save 20% Guaranteed with this Coupon Code". A quote at the bottom reads: "On ne jouit bien que de ce qu'on partage" [Madame de Genlis].

Document élaboré par :

Nom et prénom
NICA DORINA

Affectation
DRIF / CDC GM

Révision linguistique

-
-
-

Validation

- Mr 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
*appliquer des notions de 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
- A 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

CRITÈRES PARTICULIERS DE PERFORMANCE

A. Maîtriser la technologie générale

- Fabrication des pièces brutes

- Maîtrise correcte des technologies générales :

- Moulage
- Formage
- Découpage
- Soudage

B. Maîtriser la technologie d'atelier

- Usinage

- Maîtrise correcte des technologies d'atelier :

Généralités

- Terminologie
- Positionnement / blocage
- Gammes

Étude de la coupe

- Étude élémentaire de la coupe
- Outils de coupe
- Conditions de coupe

- Procédé d'usinage

- Tours
- Perceuses
- Aléseuses
- Fraiseuses
- Machines à brocher
- Machines à raboter
- Machines à tailler
- Machines à rectifier

- Procédés spéciaux d'usinage

- Machines à roder
- Machines électroérosion
- Machines spéciales

C. Maîtriser la technologie machine

- Technologie de construction

- Maîtrise correcte des technologies machine :

- Ajustement
- Adhérence et frottement
- Système liaison
 - Généralités
 - Vis-écrou
 - Rivet
 - Goupille et clavetage
 - Blocages
 - Positionnement et centrage
- Guidages
- Liaisons partielles et blocages
- Filetages
- Roulements
- Étanchéité

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

- Organes et éléments

**CRITÈRES PARTICULIERS DE
PERFORMANCE**

- 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 (A) :

1. Connaître les procédés de fabrication des matériaux
2. Connaître les principes d'obtention de pièces
3. Connaître le principe de l'étalonnage et son but, les raccordements et agréments nationaux.

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

4. Se soucier de la préparation de documents
5. Se sensibiliser à l'utilisation des documents de travail
6. Connaître les relations "outil/matière/moyen"
7. Connaître les moyens de fabrication

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

8. Connaître le principe de fonctionnement des organes et leurs conditions de fonctionnement
9. Connaître les précautions de montage et démontage d'organes

TECHNOLOGIE PROFESSIONNELLE

SOMMAIRE

APPLICATION DE NOTIONS TECHNOLOGIE PROFESSIONNELLE

CHAPITRE 1

<i>FABRICATION DES PIÈCES BRUTES.....</i>	9
1. Notion de fonderie.....	9
2. Le moulage.....	10
3. Le formage.....	16
4. Découpage.....	21
5. Métallurgie des poudres.....	24
6. Le soudage.....	25

CHAPITRE 2

<i>PROCEDES D'USINAGE CONVENTIONNEL.....</i>	30
1. L'usinage.....	30
2. Tournage.....	37
3. Perçage et alésage.....	44
4. Fraisage.....	52
5. Travaux de brochage.....	60
6. Rabotage.....	62
7. La rectification.....	67

CHAPITRE 3

<i>PROCEDES SPECIAUX D'USINAGE.....</i>	75
1. Rodage.....	75
2. Usinage par électro-érosion.....	78
3. Schémas cinématiques.....	83
4. Principe de fonctionnement des organes de machines.....	91
5. Entretien des machines-outils.....	95

CHAPITRE 4

<i>TECHNOLOGIE DE CONSTRUCTION D'UNE MACHINE-OUTIL.....</i>	97
1. Ajustements.....	97
2. Vis de fixation.....	101
3. Ecrous.....	101
4. Assemblages rivetés.....	102
5. Goupilles.....	102
6. Guidages linéaires.....	103

7. Filetages.....	104
8. Assemblage par vissage.....	111
9. Joints d'étanchéité	113
10. Roulements	114
11. Paliers	119
12. Accouplements.....	120
13. Transmission de mouvement.....	120
15. Graissage et lubrification.....	125
<i>BIBLIOGRAPHIE.....</i>	128

Chapitre 1

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**.

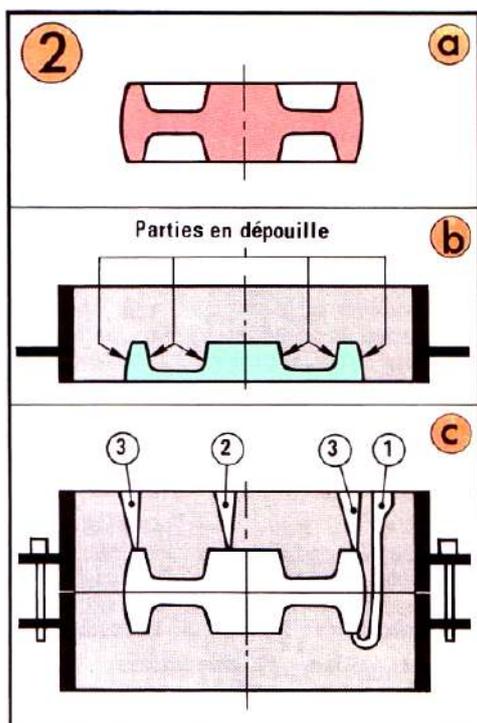
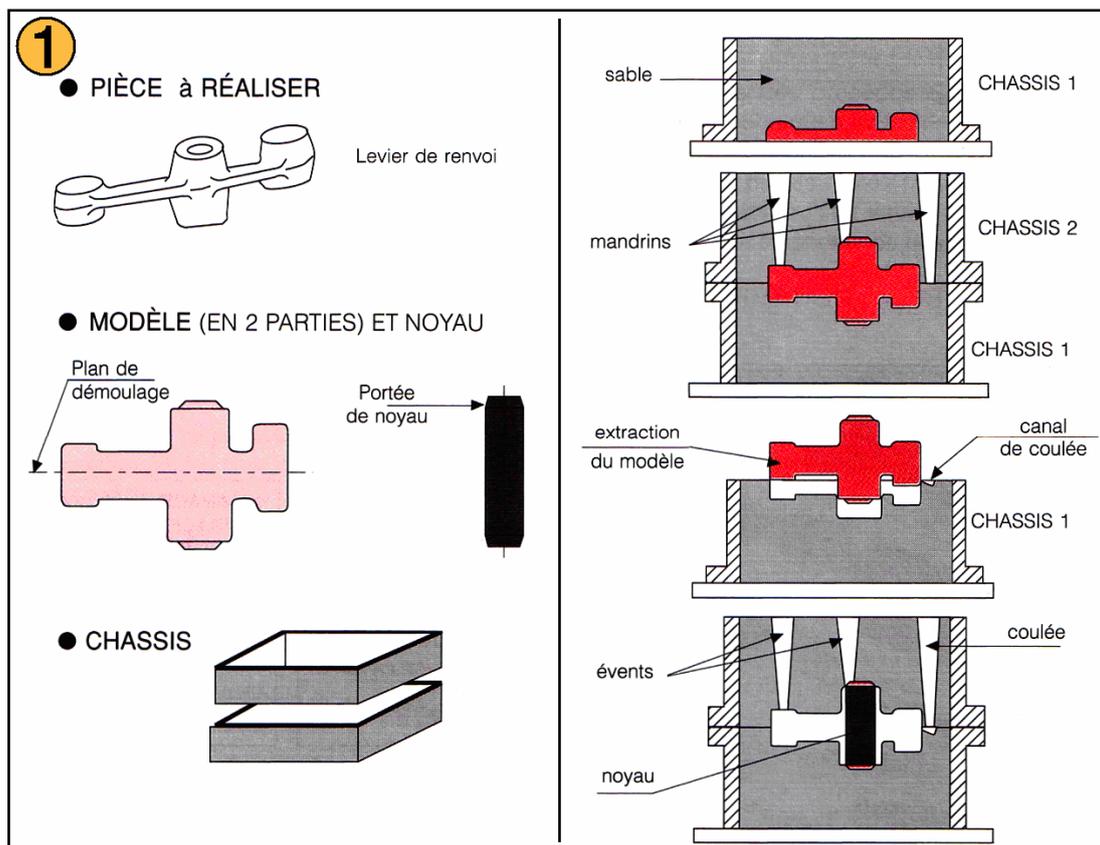
- **Les noyaux**

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

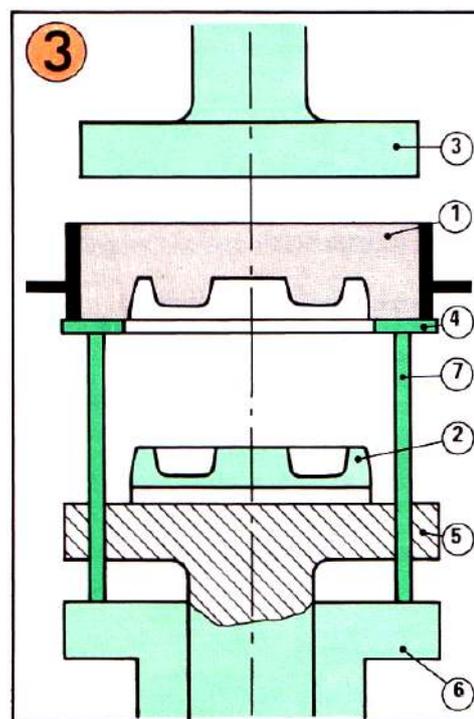
- **Principe du moulage en sable** (fig.1)

- **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^{ère} 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.

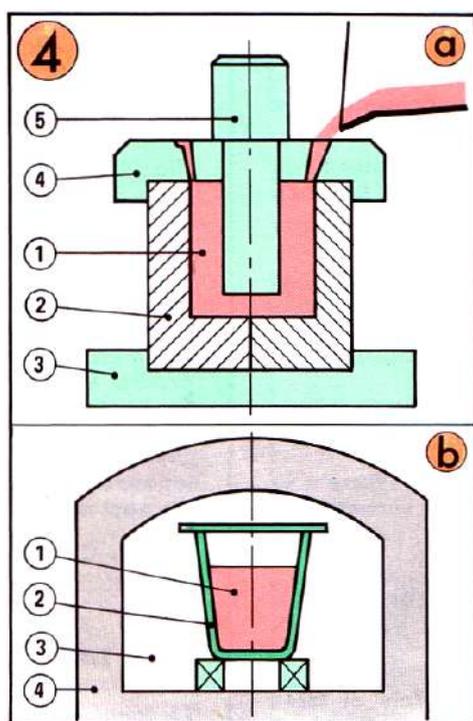
Exemple de moulage en sable. Une poulie (fig. 3).

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)



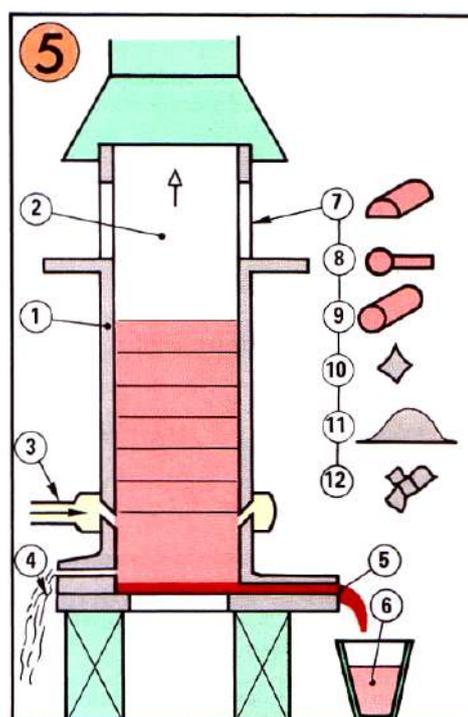
Moulage en coquille

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^{ère} 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, ...

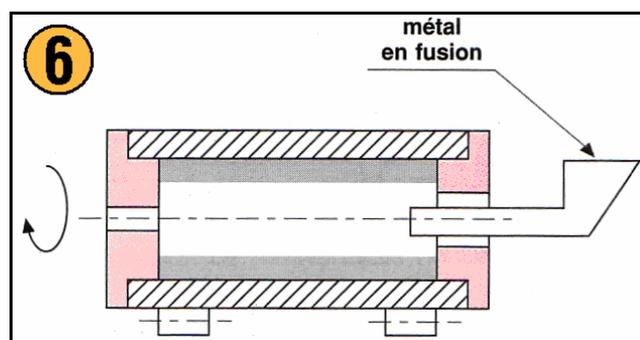
- **Coulée sous pression**

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 (λ) 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

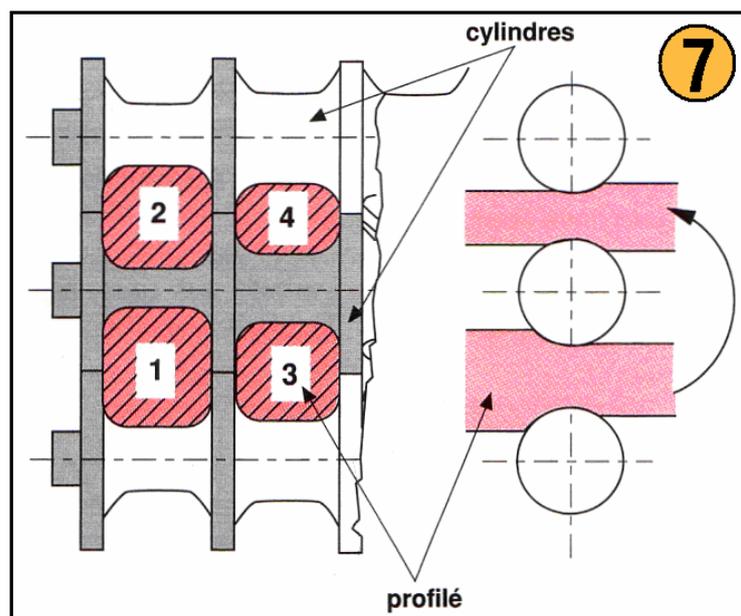
- **Laminage**

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, ...).



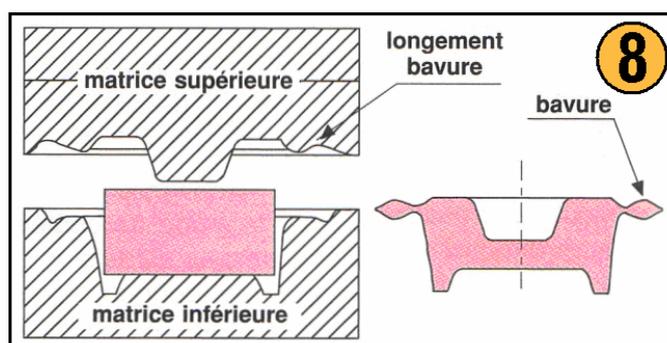
• Matricage - Estampage

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

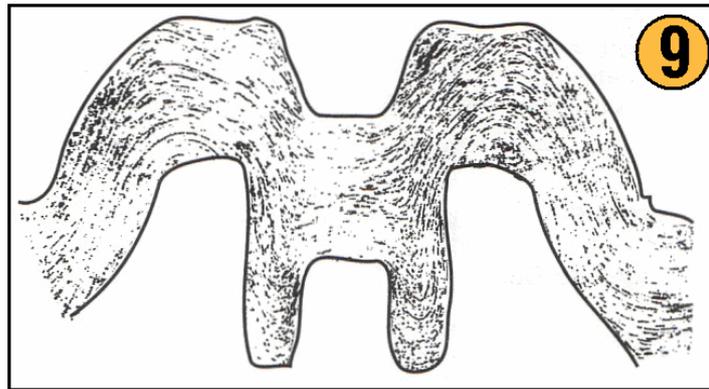
Cette technique consiste à **former à chaud**, une ébauche appelée **lopin** entre **deux matrices**, dans lesquelles des empreintes sont **creusées** par usinage conventionnel ou par **électro-érosion**.

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)

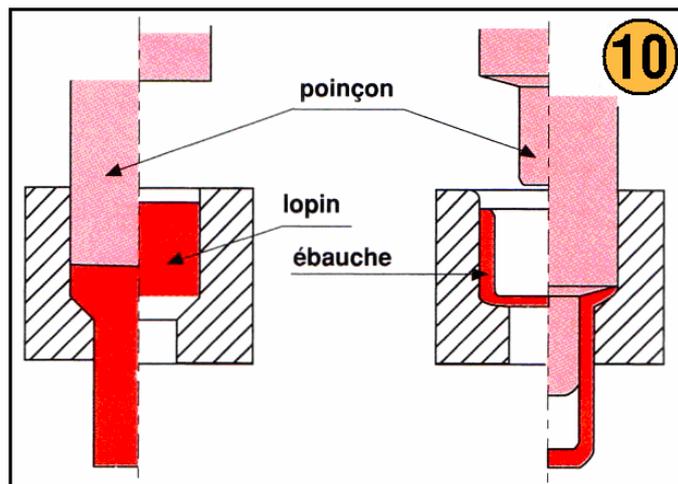


- **Filage ou extrusion**

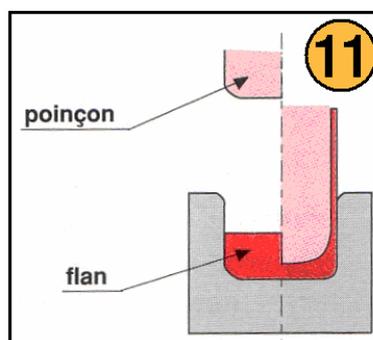
Consiste à forcer le métal d'un lopin, d'un flan ou d'une ébauche forgée à passer dans une **filière** ou **entre une matrice et un poinçon** par **choc** ou par **pression**. Selon la **malléabilité** de la matière, l'opération se fait à **chaud** ou à **froid**.

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 ($R_a = 1 \text{ à } 4 \mu\text{m}$).

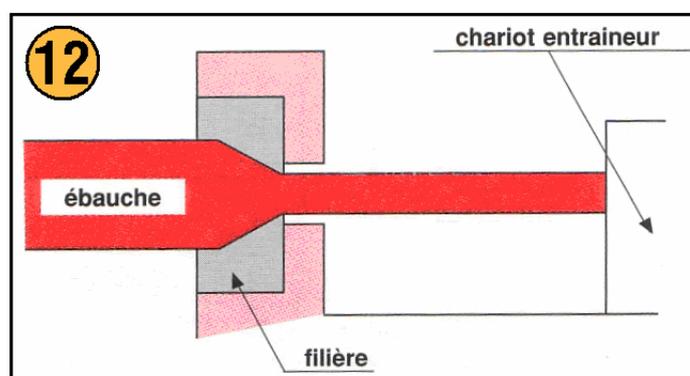
• Tréfilage - Etirage

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 (□, ⊙, ⊕ ...)



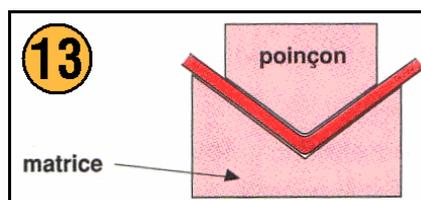
Les pièces obtenues par ce procédé ont des qualités géométriques et dimensionnelles de qualité 9 à 11.

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

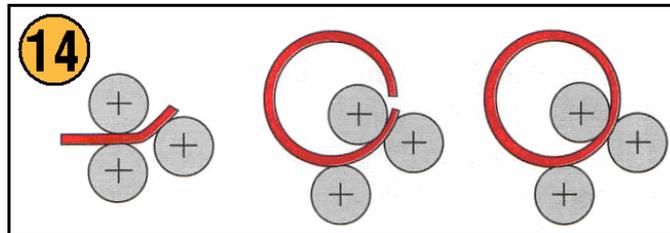
La tôle est **serrée** entre un **poinçon** et une **matrice en Vé** dont l'angle est sensiblement égal à celui du pli à réaliser.



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

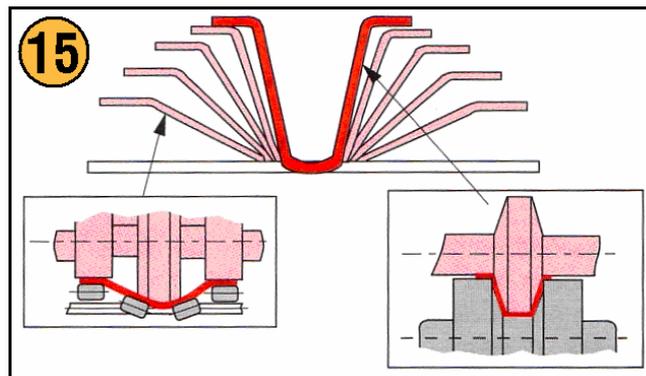
- **Roulage**

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 :

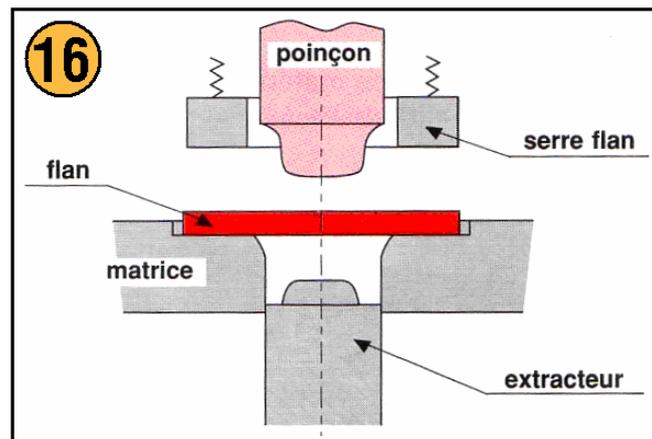


- **Emboutissage**

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.



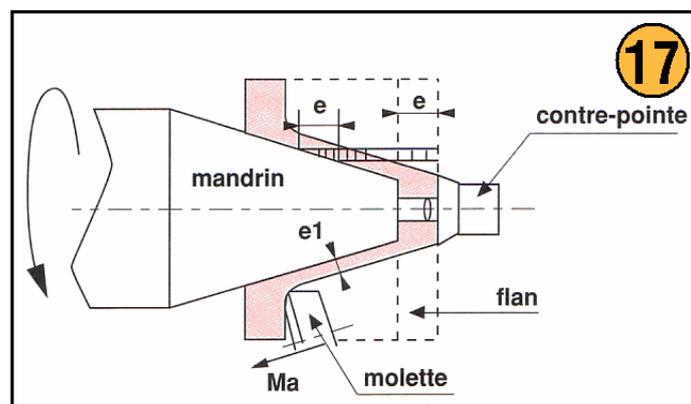
3.3 Mise en formécrasement - pliage

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 **fluotournage** 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** :

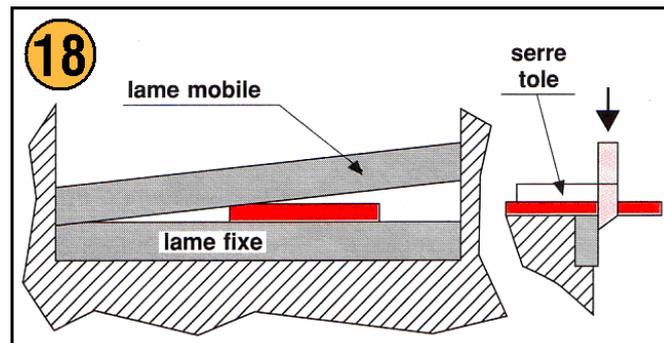
- **déformation** (bords du brut arrondis brillants) ;
- **rupture des fibres** (zone rugueuse et formation d'une bavure).

Chaque technique de découpage est définie par les outillages utilisés.

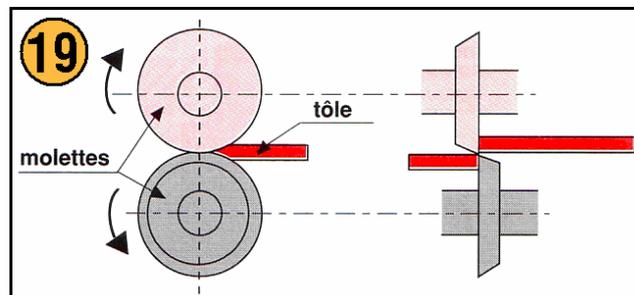
- **Cisailage**

L'outil est composé de :

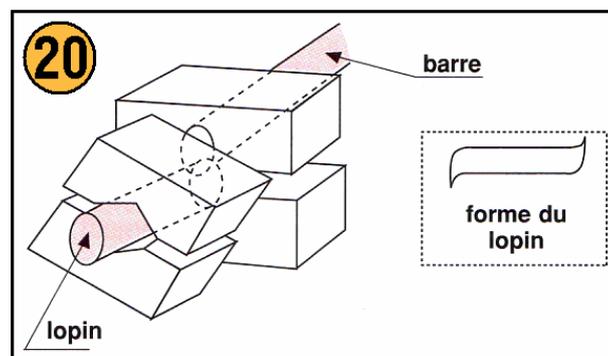
- **lames** pour les **matériaux en feuilles** :



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

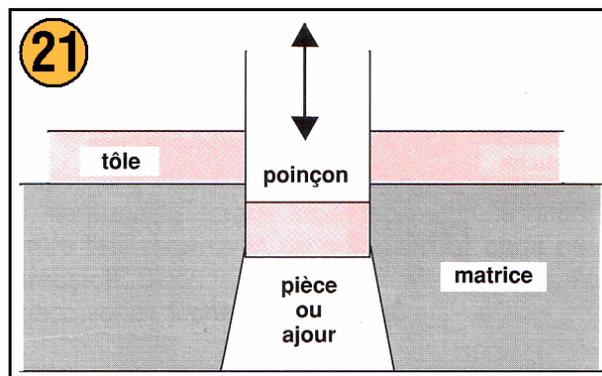


- **mâchoires** pour les **barres et profilés** :



- **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.

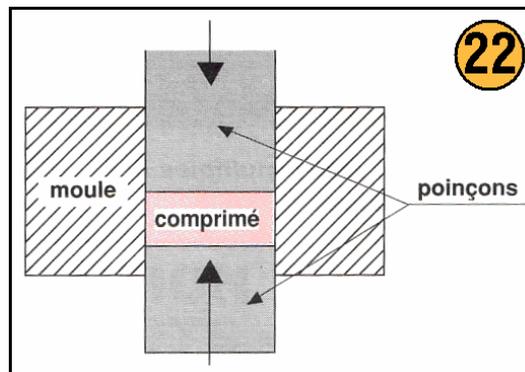
Nous nous contenterons ici, de les énumérer, car il ne s'agit pas à proprement parlé de moyens d'obtention de bruts :

- **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 « **emmagasinement** » 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 coeur 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.

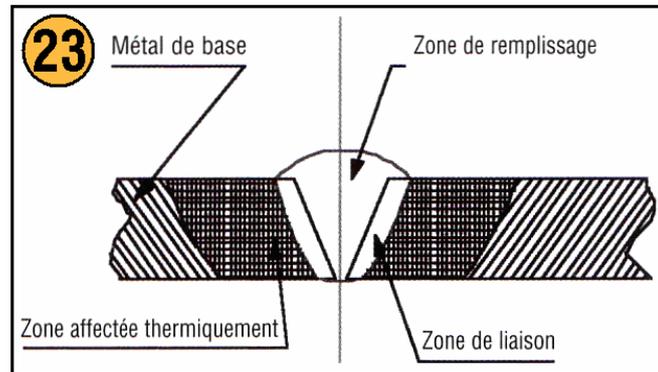
L'opération de soudage n'a aucune conséquence métallurgique sur cette zone.

- **La zone affectée thermiquement**

ZAT, ($T^\circ > AC3$) se trouve en bordure de la zone fondue, 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

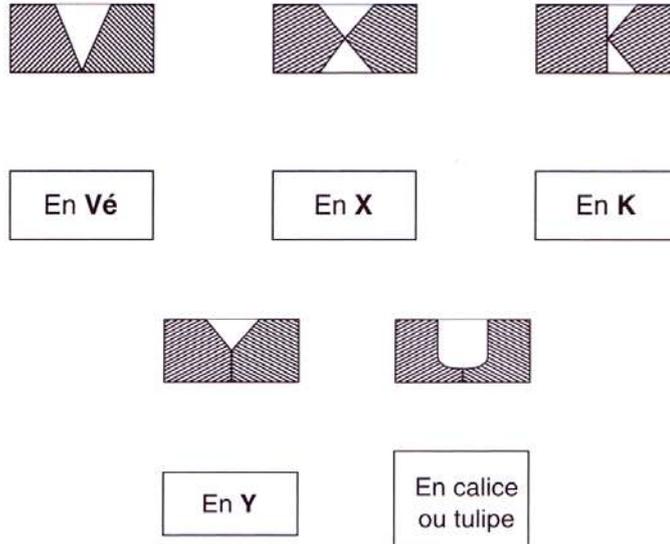
La préparation des pièces par chanfreinage a pour but d'améliorer la résistance du joint soudé en permettant un accès total sur l'épaisseur de la pièce à assembler.

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.

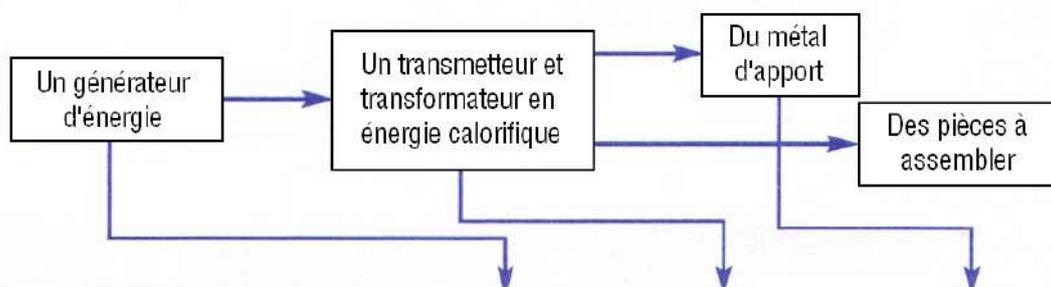
Par machines d'usinage industriel :

- raboteuse,
- fraiseuse,
- tour,
- aléseuse,
- 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.



AU GAZ	OXYACÉTY- LÉNIQUE	Procédé manuel Centrale de détente et de distribution des gaz	Chalumeau soudeur Règle la nature et la puissance de la flamme de chauffe (3 150 °C)	Baguettes d'acier de différents diamètres. La flamme protège le bain de fusion
À L'ARC ÉLECTRIQUE	à l'ÉLECTRODE ENROBÉE	Procédé manuel Un générateur de courants alternatif, continu ou redressé	L'arc est créé entre l'électrode et la pièce à souder. (3 100 °C)	Une âme en acier, enrobée d'une matière assurant la protection du bain de fusion et une action physico- métallurgique
	M. I. G. Métal Inert Gaz M. A. G Métal Actif Gaz	Semi-automatisé Un générateur de courant continu ou redressé	L'arc est créé entre le fil de métal d'ap- port, en bobine et la pièce à souder. (3 100 °C)	Métal d'apport de même nature que les pièces. Le bain de fusion est protégé par un gaz.
	FIL FOURRÉ	Semi-automatisé Un générateur de courant continu ou redressé	L'arc est créé entre le fil de métal d'apport, en bobine et la pièce à souder. (3 100 °C)	Fil métal d'apport de section tubulaire, fourré d'éléments additifs en poudre. Deux types d'utili- sation possible avec ou sans gaz de protection.
	T. I. G. Tungstène Inert Gaz	Procédé manuel rarement automatisé Un générateur de courants alternatif, continu ou redressé	L'arc est créé entre une électrode en tungstène et la pièce à souder. (3 100 °C)	Métal d'apport de la même nature que les pièces. Le bain de fusion est protégé par un gaz.
	ARC SUBMERGÉ ou SOUS FLUX SOLIDE	Procédé automatisé. Un générateur de courant continu ou alternatif.	L'arc est créé entre le fil métal d'apport, en bobine, et la pièce à souder. (3 100 °C)	Métal d'apport de la même nature que les pièces. Le bain de fusion est protégé par un flux en poudre

Chapitre 2

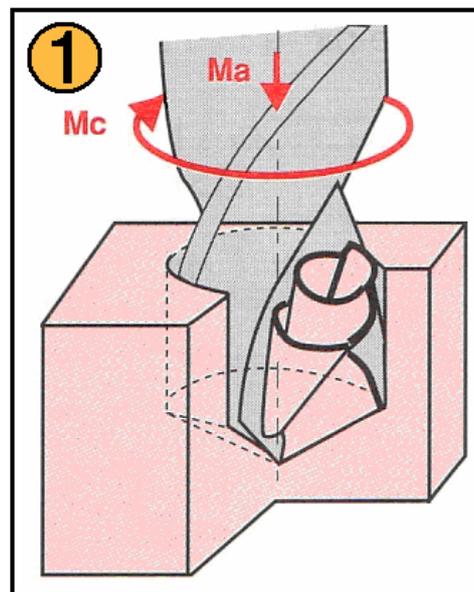
Procédés d'usinage conventionnel

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...



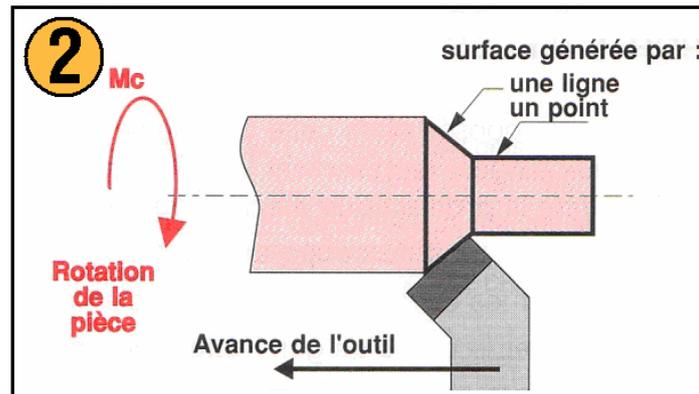
Génération d'un trou avec un foret hélicoïdal

Ces surfaces usinées sont définies par :

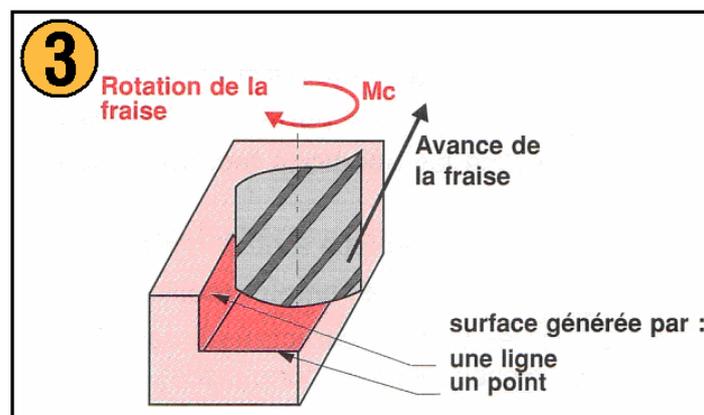
- leur forme (plan, cylindre, hélicoïde, ...) ;
- leur position par rapport à la pièce (intérieures ou extérieures) ;
- leurs dimensions ;
- leur qualité (défauts de forme, rugosité, précision dimensionnelle).

1.1 Usinage par coupe

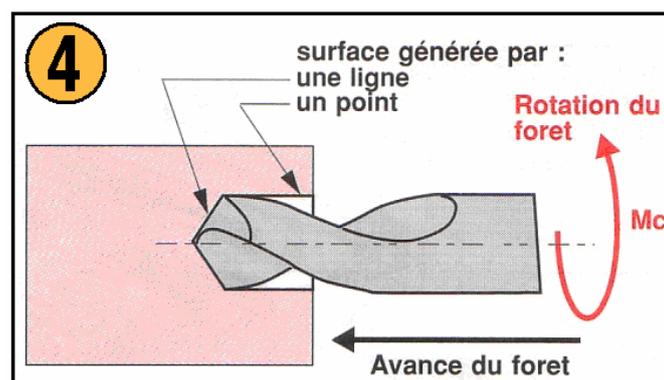
Chaque procédé d'usinage par enlèvement de matière à l'outil de coupe a sa propre cinématique.



Usinage avec un outil de tour



Usinage avec une fraise 2 tailles

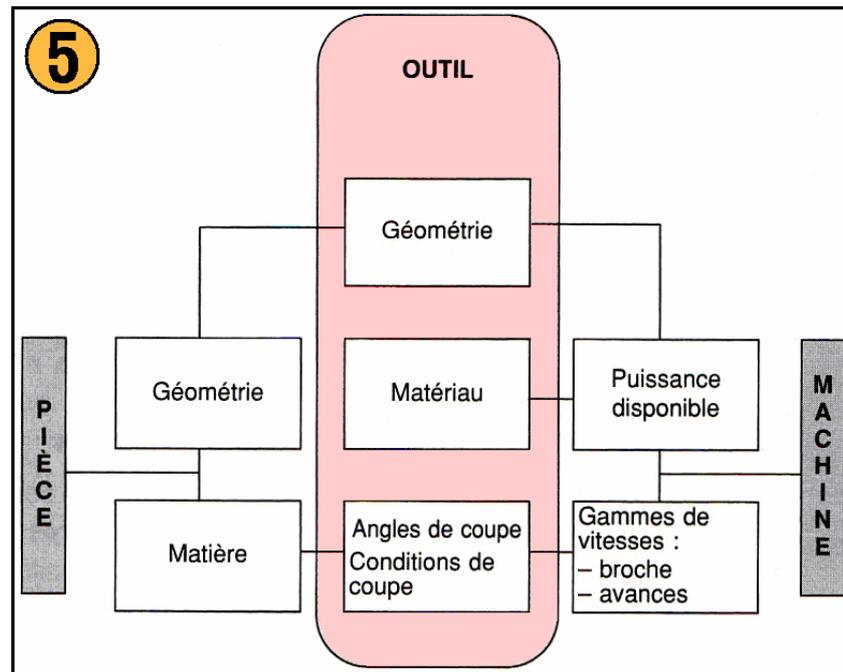


Usinage avec un foret hélicoïdal

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 κ**

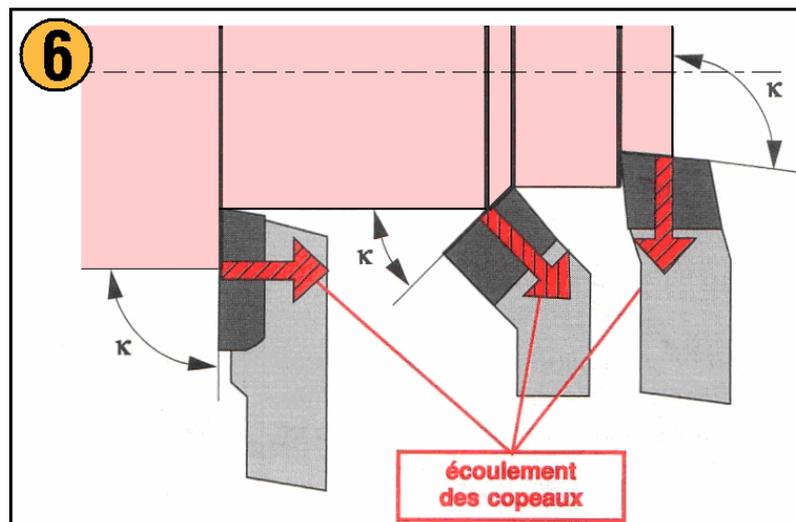
Sa valeur est déterminée selon la géométrie de la surface à usiner et il conditionne la **direction d'écoulement du copeau**.

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

- **Angle de dépouille principale α et angle de coupe γ**

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 α et γ pour différents matériaux usinés.



MATIERES A USINER	Outil ARS		Outil CM	
	α	γ	α	γ
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 λ**

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 λ est :

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

1.3 Matériaux à outils coupants

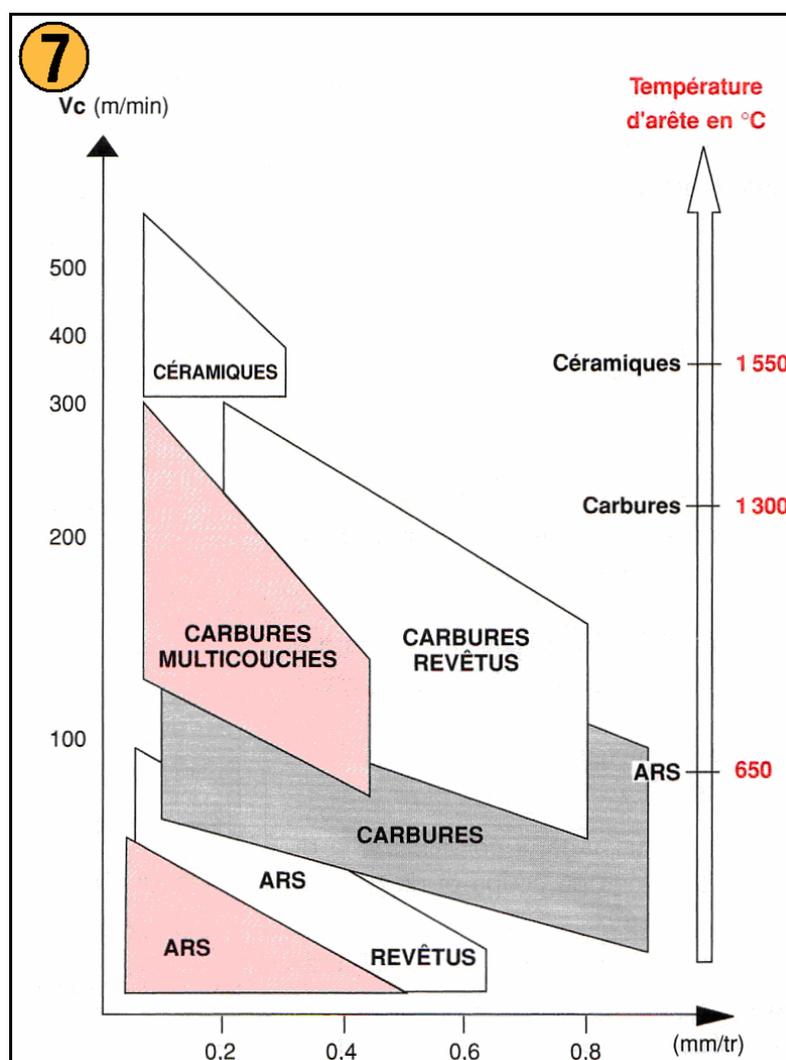
Les outils en **Acier Rapide Supérieur (ARS)** ne sont plus utilisés que pour les fraises et les outils de forme d'usinage intérieurs. Seuls, quelques applications particulières obligent encore à employer ce matériau pour les outils à tranchant unique.

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 l'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 chariotier ; 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 :

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

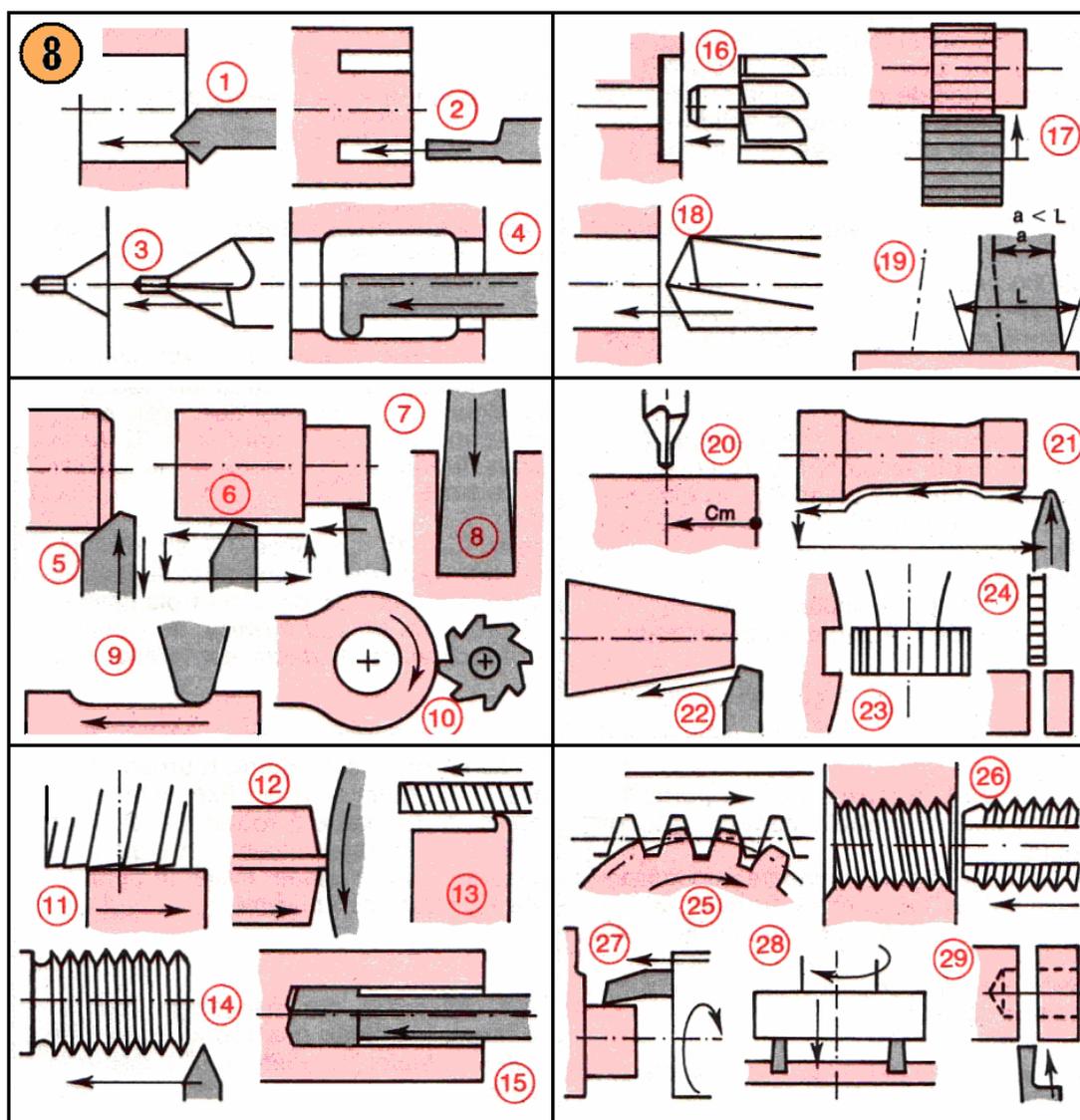
1.5 Opérations d'usinage

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.

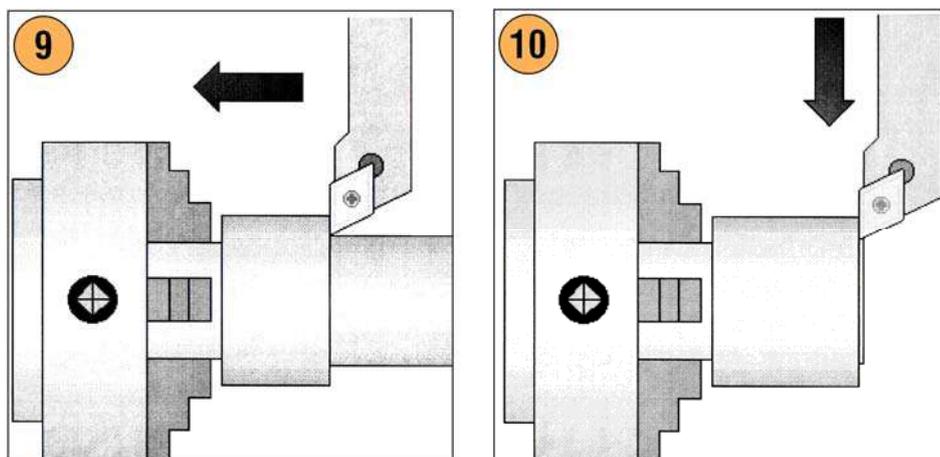
L'outil de coupe opère longitudinalement ou bien transversalement par rapport à la pièce à usiner.

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.

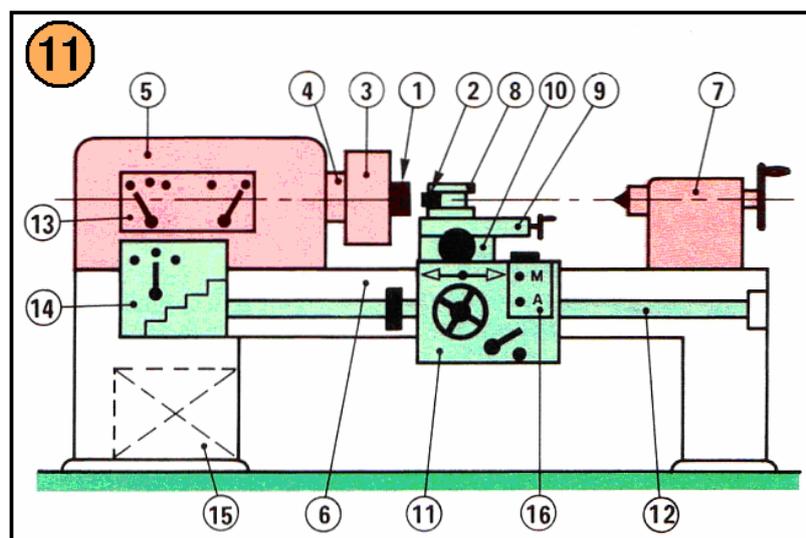


2.1 Tours parallèles

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) Traînard ;
- (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.

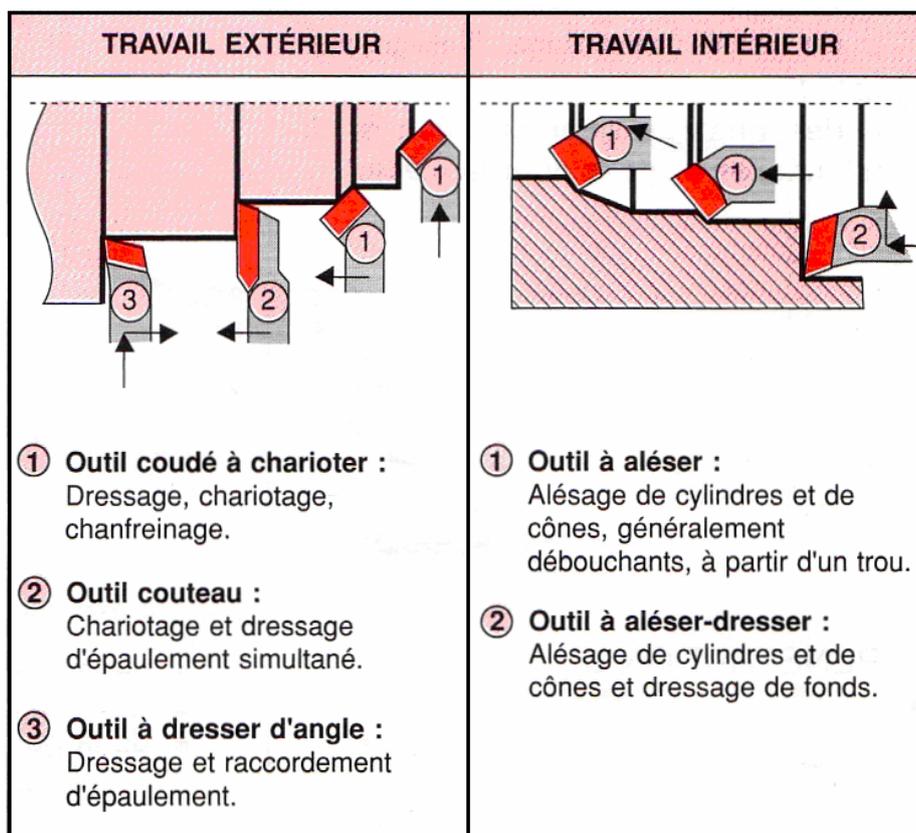
Puissance du moteur : 1 à 10 kW.

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.



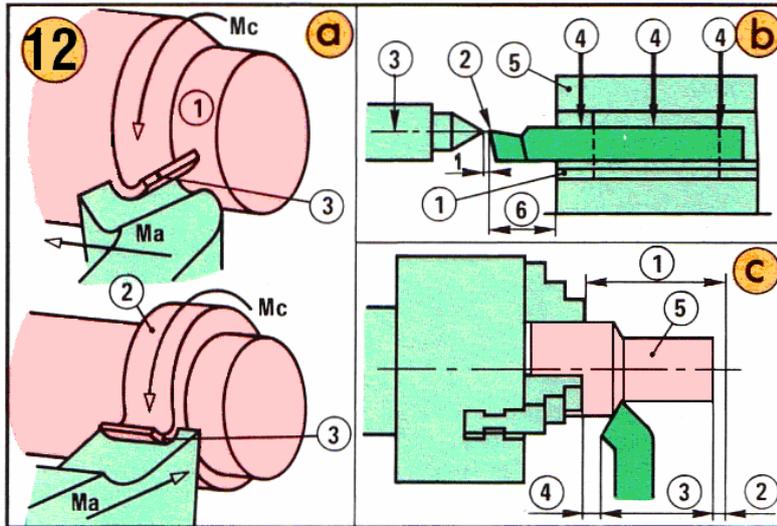
Le choix des outils de tournage A.R.S.

- **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).

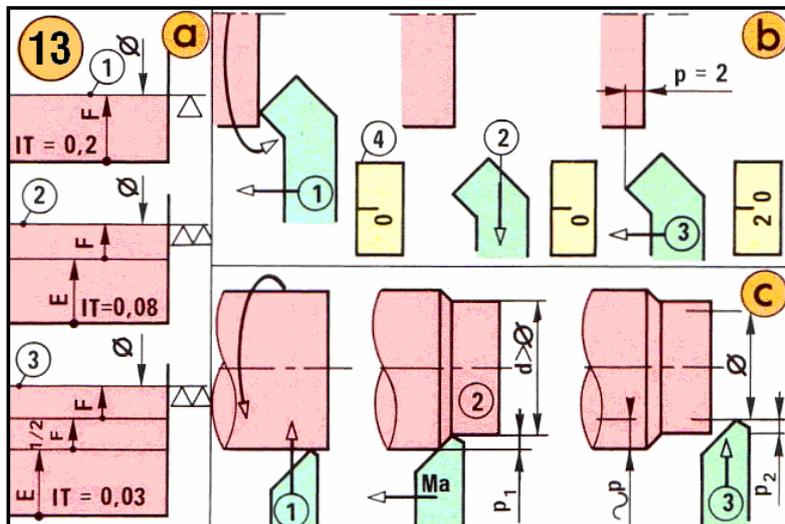
• **Production d'une surface**

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 l'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 $d > \emptyset$; (3) Réglage p_2 , pour Ø 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 2 0,16 320	
	3	Cylindrer. Chariotage longitudinal Cylindre 2		Régler gradué
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**

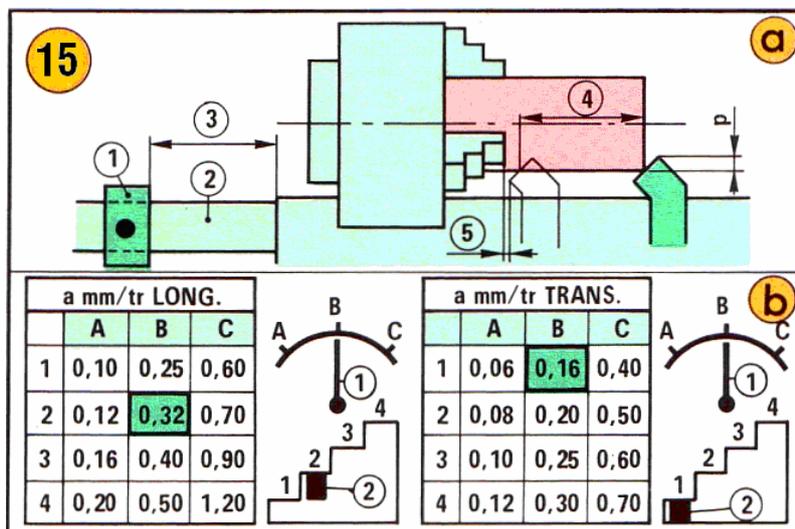
Après contrôle (*affûtage, surface de référence*) l'outil à charioter coudé est placé sur la référence de la tourelle, propre et en bon état. Les angles de pente d'affûtage et de dépouille ne sont corrects que si l'arête tranchante est à hauteur de l'axe de la broche. L'outil dépassant le moins possible,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

Abaisser 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 ∇ (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**

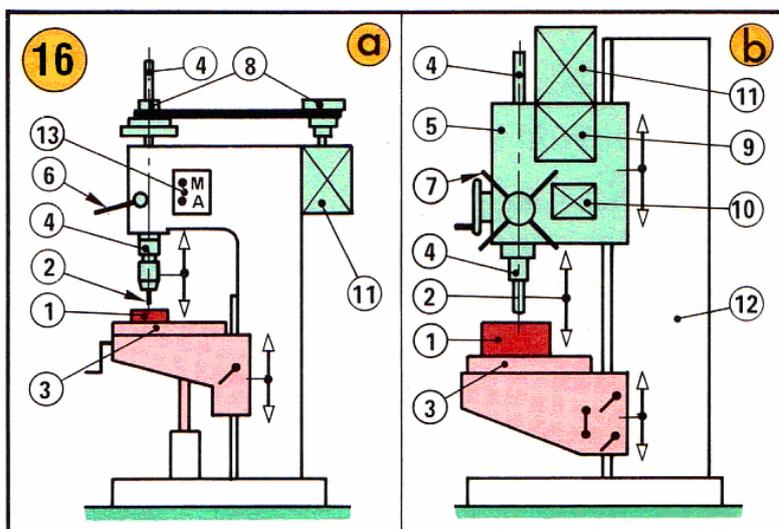
Débrayer Ma 2 mm avant le contact traînard-butée, terminer par commande manuelle du traînard. Débrayer Mc. Contrôler.

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).

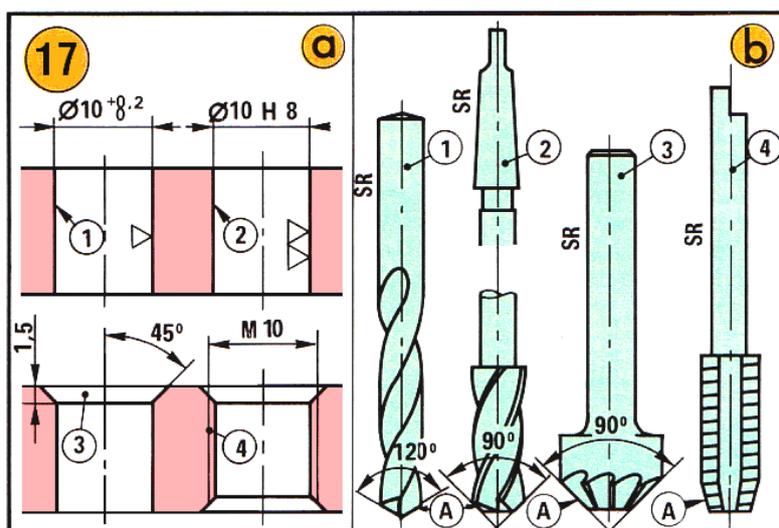


Perceuses

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° (fig. 17).

Alésoir-machine : quatre à huit arêtes tranchantes à 90° Fraise à lainer: six à huit arêtes tranchantes à 90° .

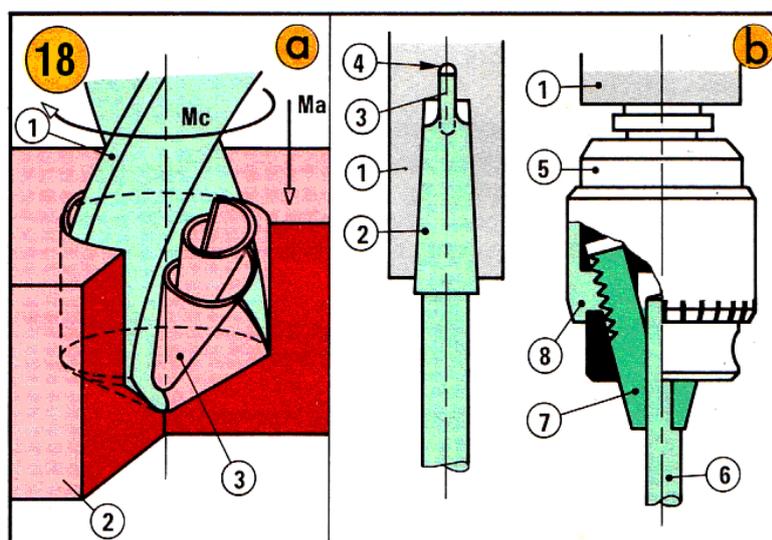
Taraud-machine : généralement quatre arêtes tranchantes, correspondant à l'entrée du taraud à main n° 2.

• Mouvements relatifs outil-pièce

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

Mc : mouvement de coupe circulaire uniforme.

Ma : 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 Percer $\varnothing 9,6$	a	N	Foret $\varnothing 9,6$		
4	Aléser $\varnothing 10 H 8$	0,1	800	Alésoir $\varnothing 10$ 4 dents	Tampon cylindrique	
5	Trous ②③ Percer $\varnothing 6,8$	0,07	1000	Foret $\varnothing 6,8$		
6	Chanfreiner $\varnothing 9$	0,6	630	Fraise à lamer $\varnothing 12$	Réglet	
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 22μ) 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° , 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.

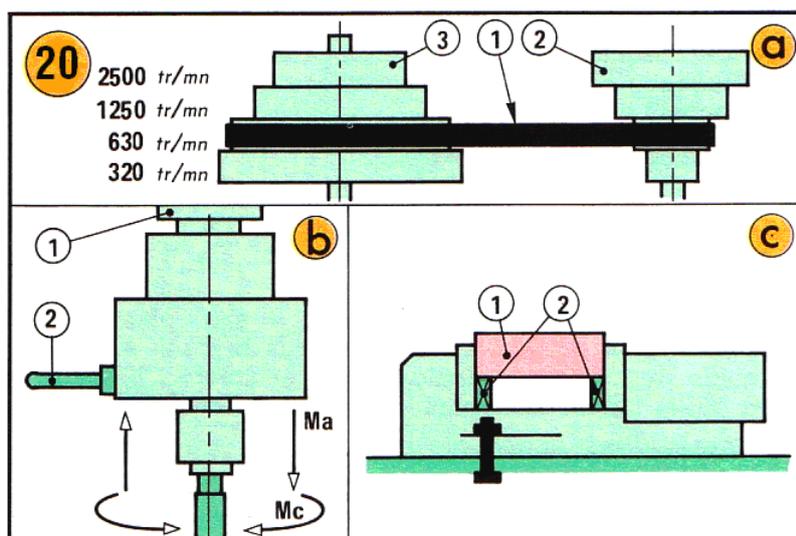
- **Choisir et monter les outils**

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 M_a provoque l'inversion de M_c .

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

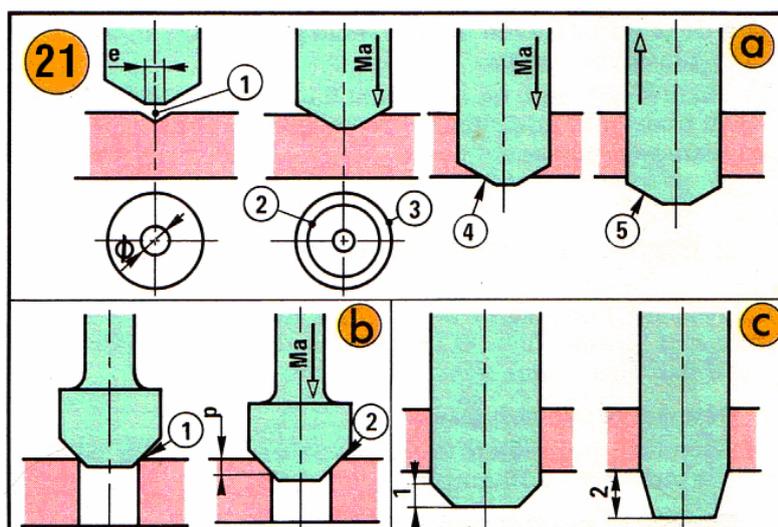
Pour percer : aligner le coup de pointeau central du tracé avec la pointe du foret. Aléser sans déplacer la pièce, de préférence ; sinon, de même que pour chanfreiner et tarauder, centrer très soigneusement le trou percé avec le cône d'action de l'outil.

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

• Percer au tracé

Embrayer M_c : 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 M_a puis débrayer après débouchage; remonter le foret, débrayer M_c ; contrôler.



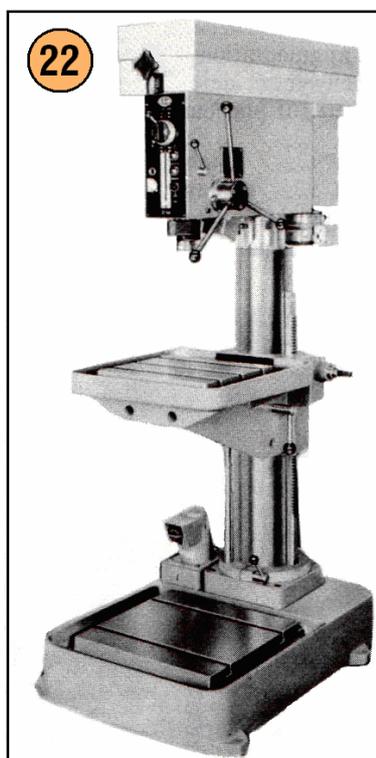
Opérations

a) Perçage au tracé. (1) Centrage par le coup de pointe à 120°, $\varnothing > e$; (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**

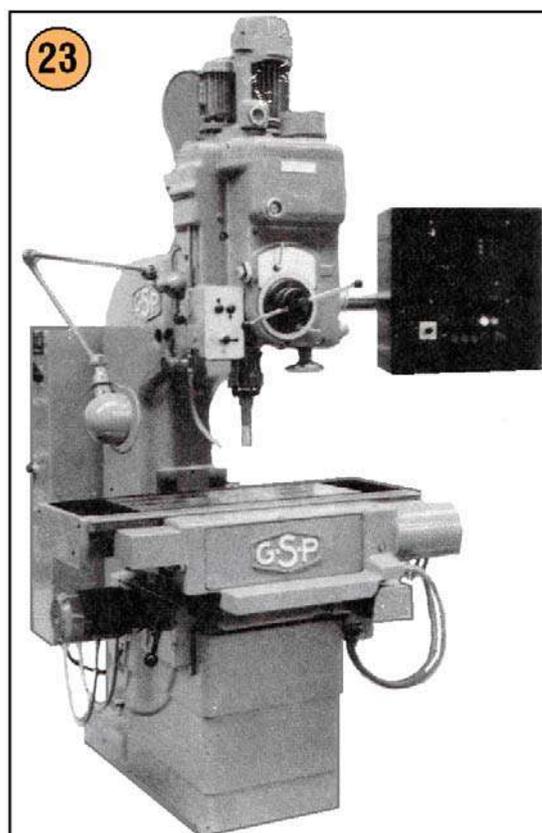


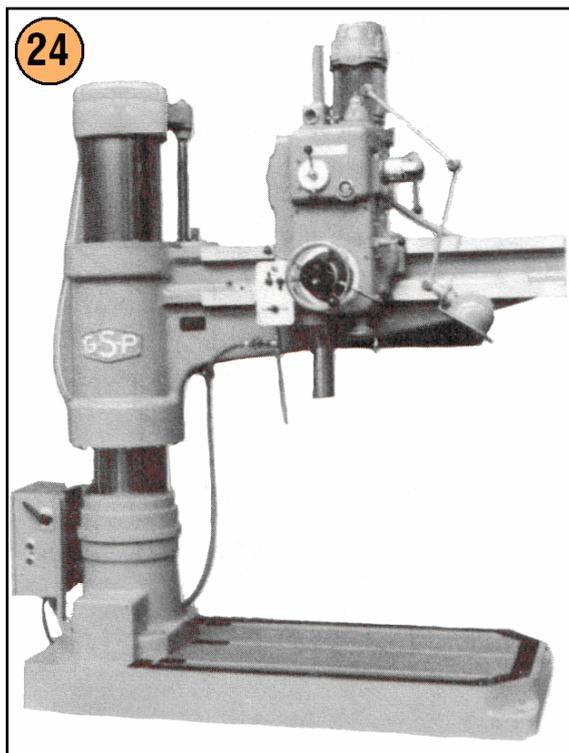
Perceuse à colonne

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-alésoise 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.



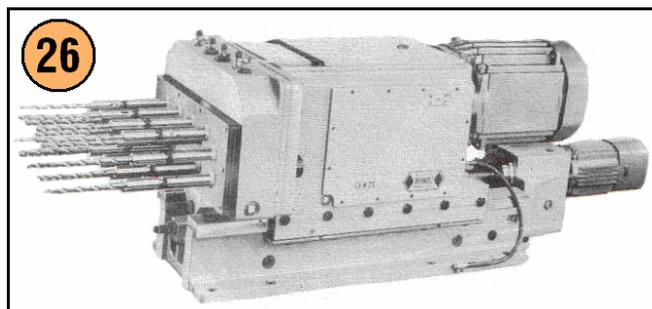
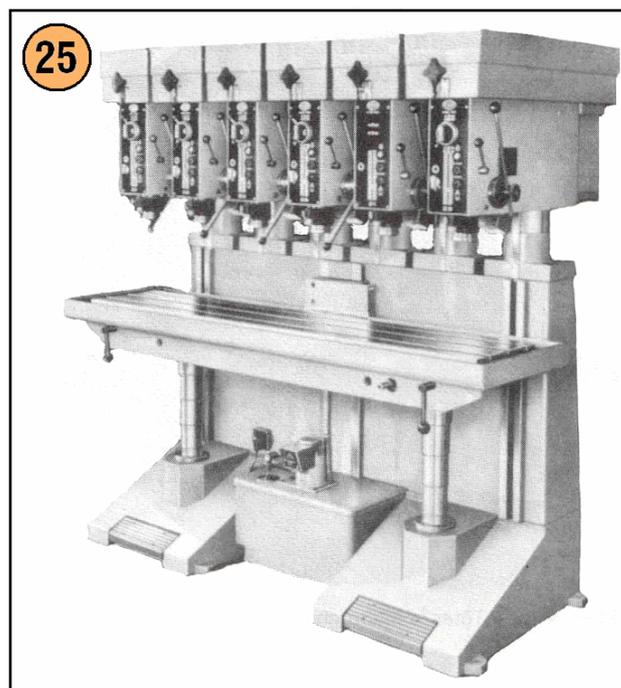


Perceuse radiale

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'alésoir, 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.

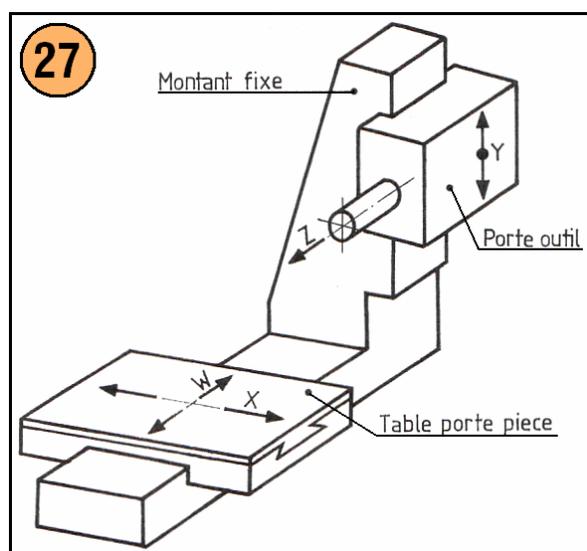
3.2 Les aléseuses

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.

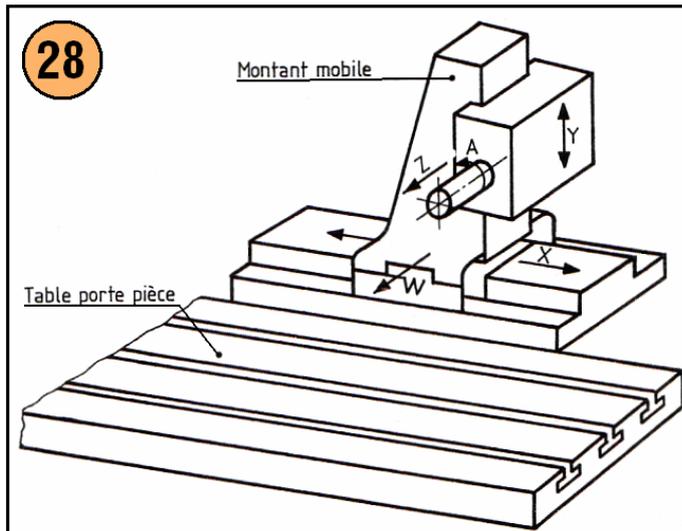
- **Aléseuses à broche horizontale**



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.

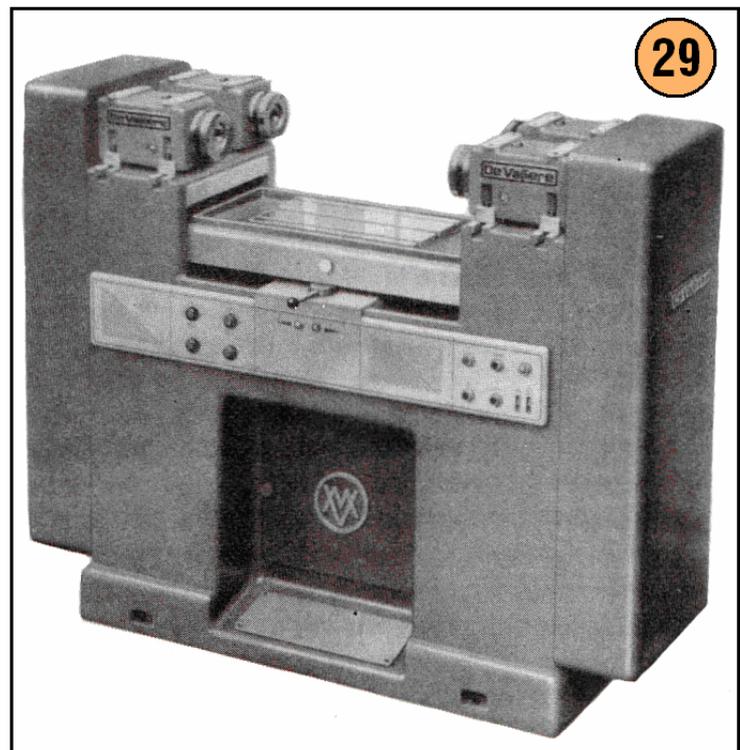


Aléseuses à montant mobile

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

Aléseuses multibroches

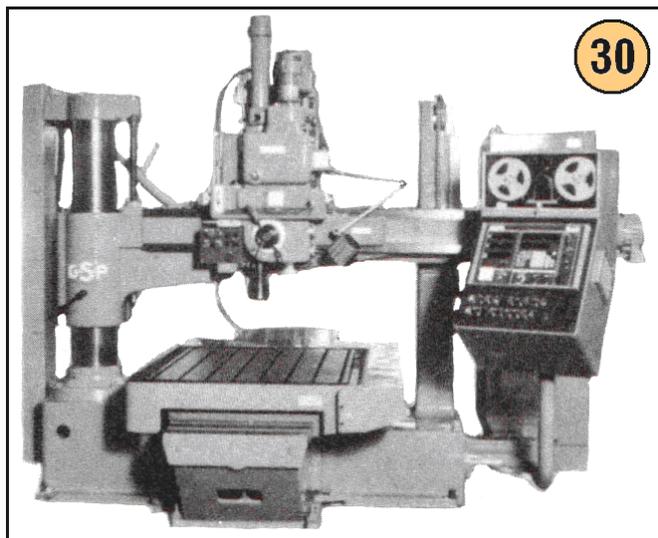
Elles possèdent deux ou quatre broches, la table porte-pièce est animée du mouvement d'avance. Ces machines sont utilisées en très grande série.



- **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.

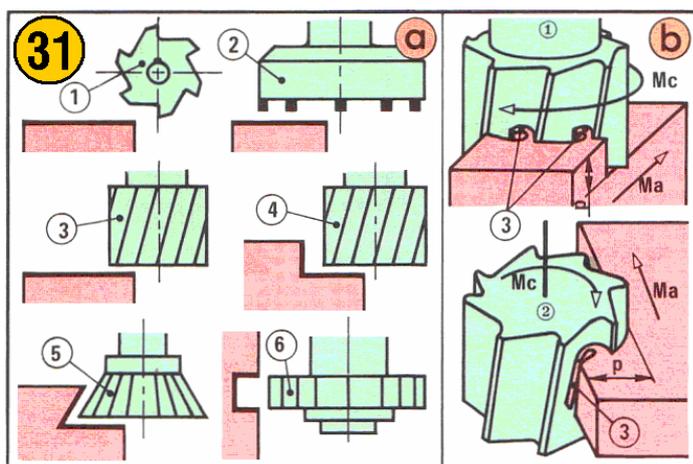
- **Sécurité**

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

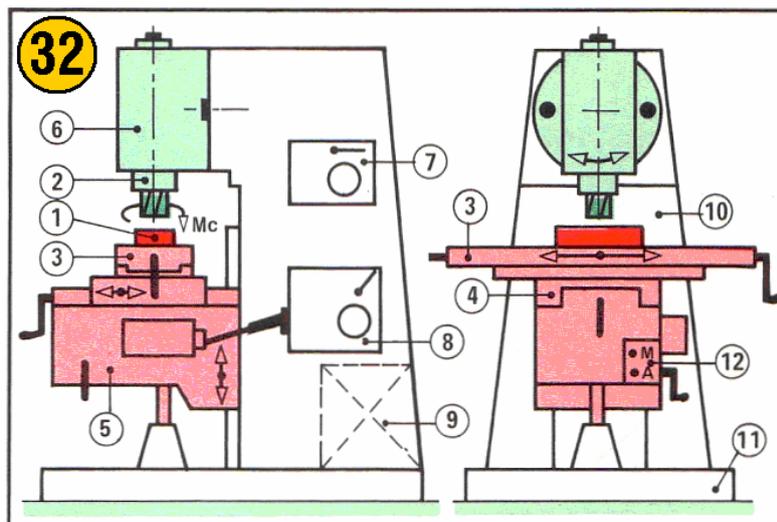
a) Principales opérations. Dressage : de profil à la fraise une taille (1), de face à la fraise tourteau (2) ou deux tailles (3). Angles dièdres rentrants à la fraise deux tailles (4), (5). Rainurage à la fraise trois tailles (6).

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) Boîte des vitesses n tr/mn ; (8) Boîte 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.

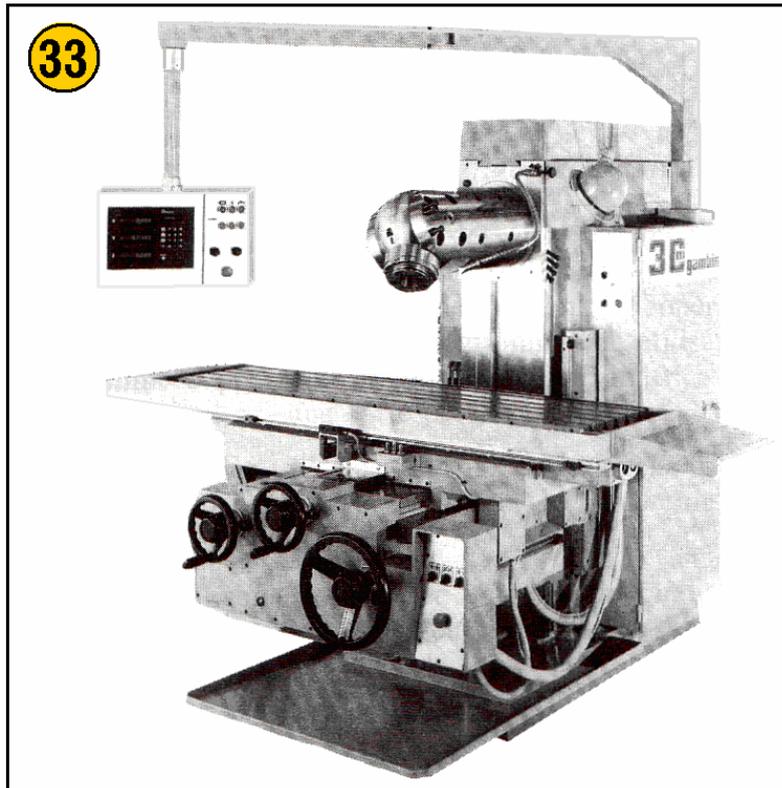
Puissance du moteur : 1,5 à 7 kW.

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

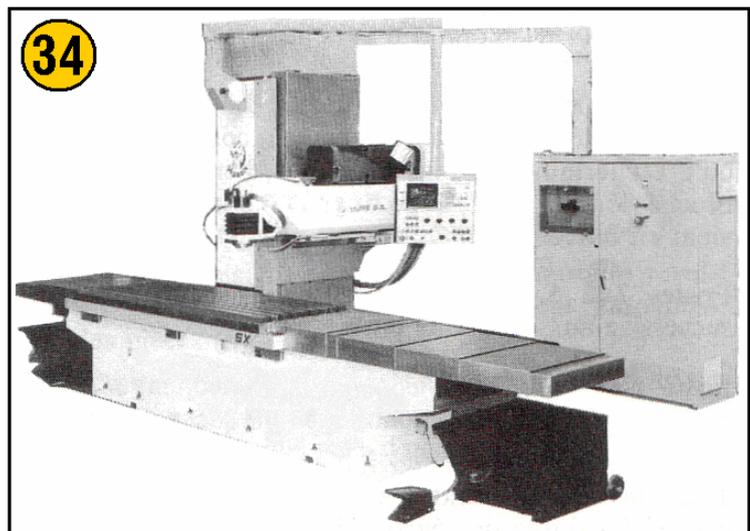
- **A console.** La table porte-pièce est mobile en hauteur. Elles ne conviennent pas pour supporter des pièces lourdes (fig.33).



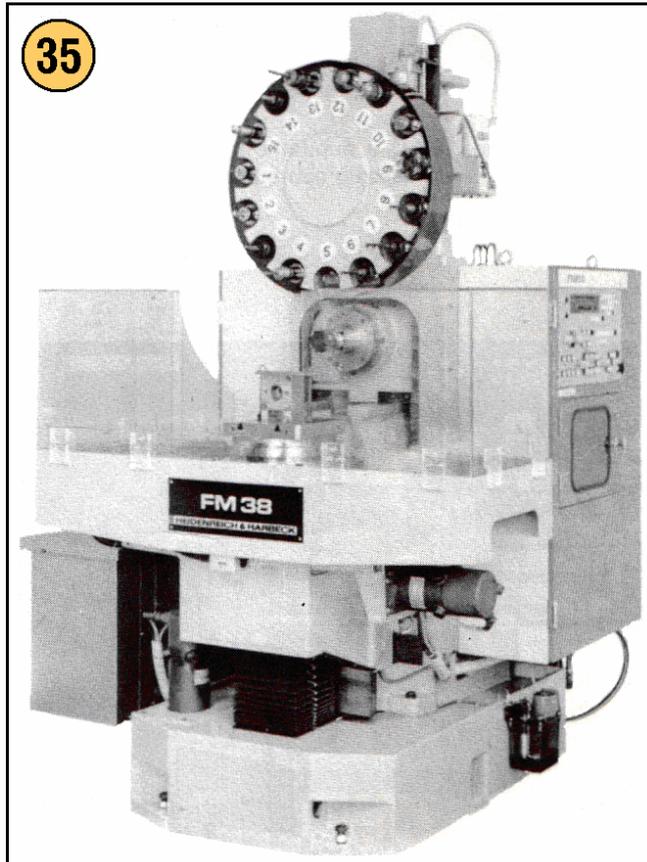
Fraiseuse à C.N. à console

- **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



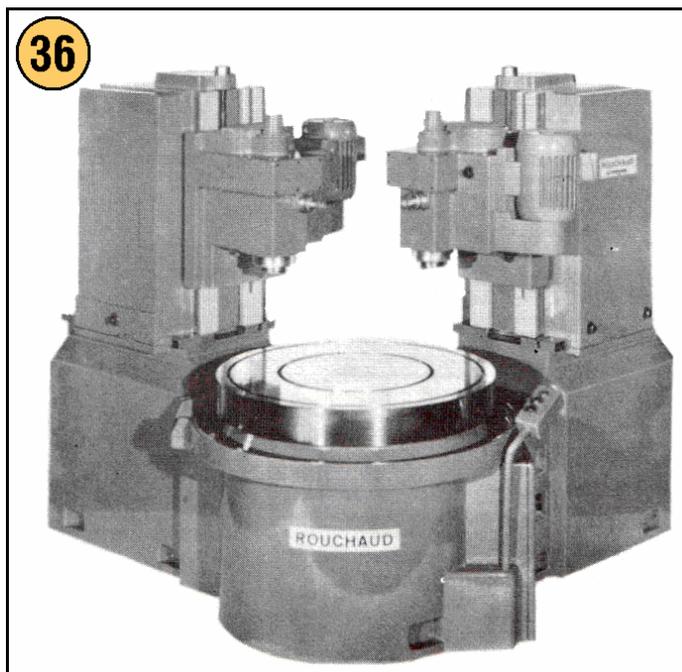
Lorsque les séries de pièces le justifient et lorsque le nombre d'opérations et de changements d'outils nécessaires à l'usinage d'une pièce est important, on fait appel à des machines assurant le chargement et le déchargement automatique des outils. Ces fraiseuses particulières sont appelées « **centres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



Centre d'usinage à broche horizontale

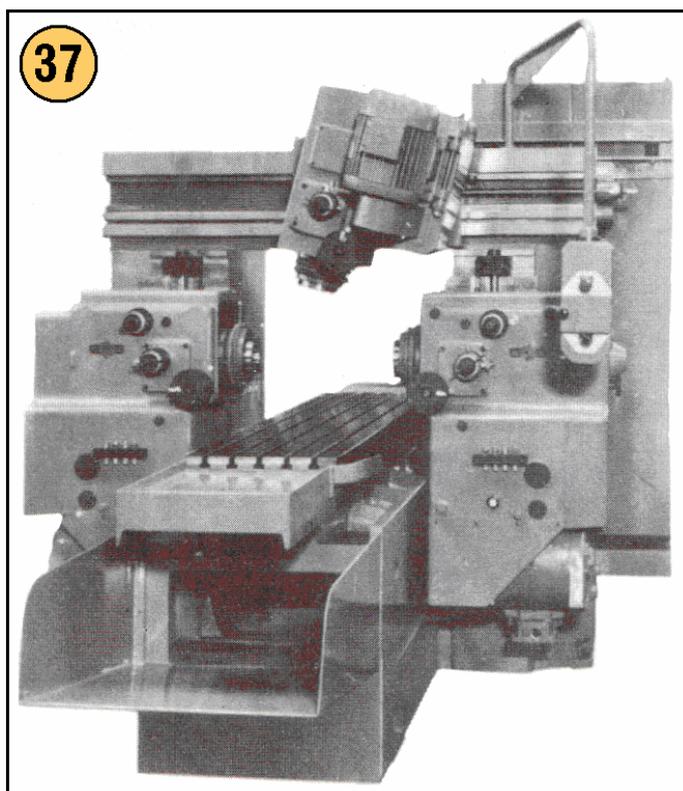
4.3 Les machines à broches multiples

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 :

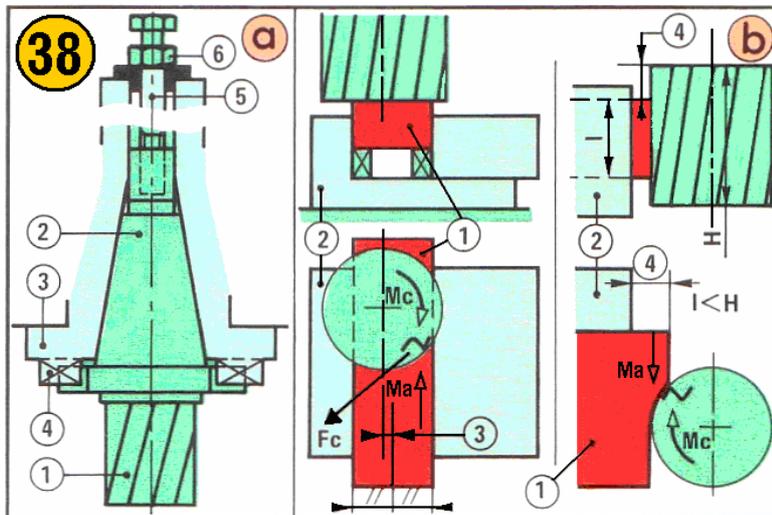
- le type ou nombre de surfaces taillées: 1, 2 ou 3 tailles ;
- la denture nombre de dents à taille droite ou hélicoïdale (fig. 31) ;
- la forme (*cylindrique, conique, ...*) et le diamètre ;
- la fixation : par trou lisse ou taraudé, par queue cylindrique ou conique.

• 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 lace; (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).

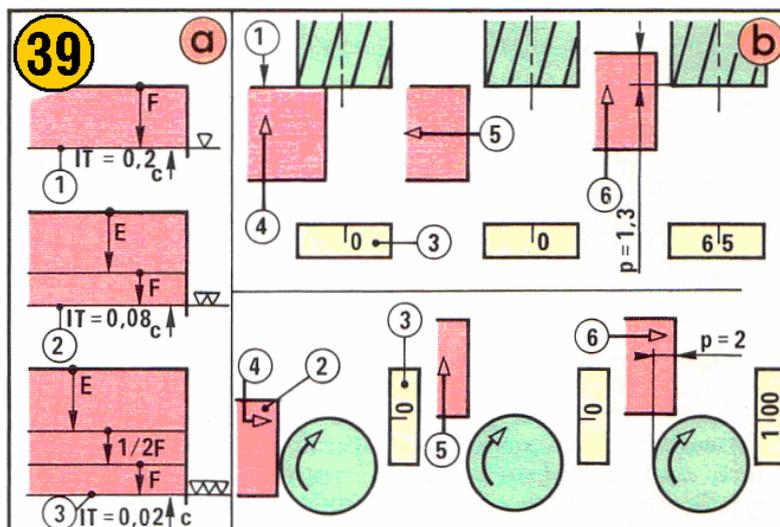
Suivant la puissance de la machine, la surépaisseur *s* à couper et les tolérances à respecter.

(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 ∇ .

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

Instructions détaillées

La pièce brute a 30 x 42 X 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.

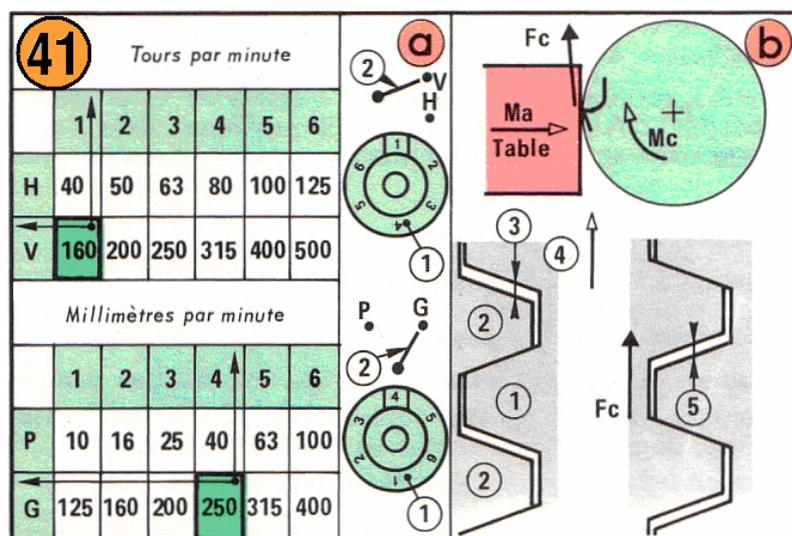
- **Fixer la pièce dans l'étau**

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 dans le sens (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 – étai – 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 $s = 2$ mm ; IT = 0,2 mm ; état superficiel ∇ .

- **Déterminer le processus**

Les données permettent le dressage en une seule passe $p = 2$ mm ; $A = 250$ 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.

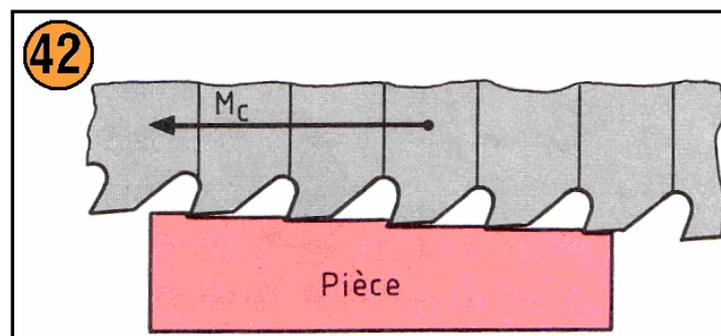
- **Prendre la passe** ; contrôler.

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**.

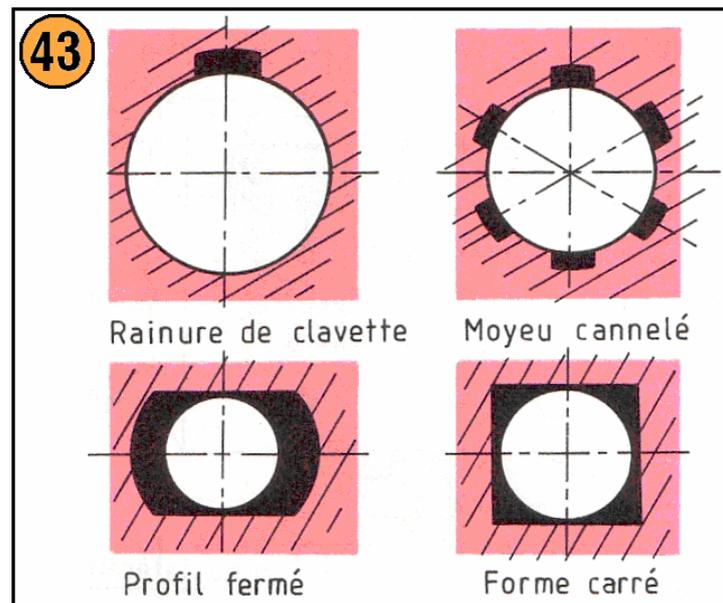
On peut imaginer que la broche est formée de plusieurs outils pelles placés les uns derrière les autres enlevant chacun un copeau d'épaisseur : e .

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).

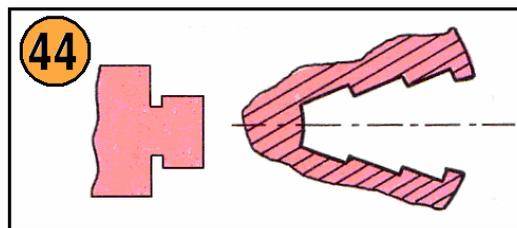


Si le profil à brocher est une forme intérieure fermée, le *brochage* est *intérieur*.

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 :

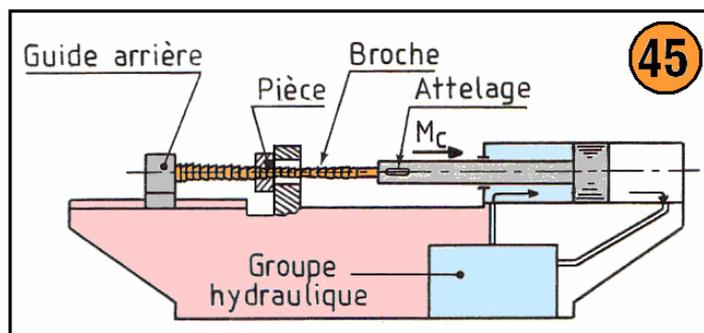
- **acier rapide** traité pour obtenir HRC 64 à 68.
- **carbure**, dans ce cas les vitesses de coupe utilisées sont plus grandes, les broches sont réaffûtées moins souvent et elles permettent d'usiner des pièces jusqu'à une dureté de HRC 40.

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.

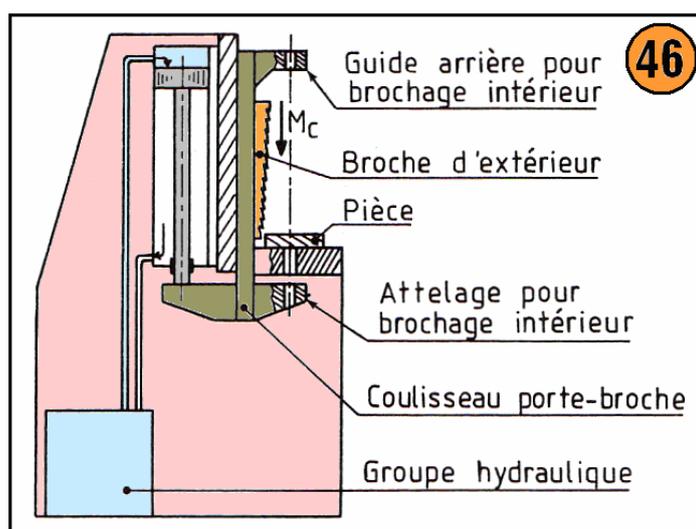
Machines à brocher horizontales (fig. 45) Elles sont réservées aux travaux d'intérieur, dans l'atelier elles occupent une grande surface au sol.



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.



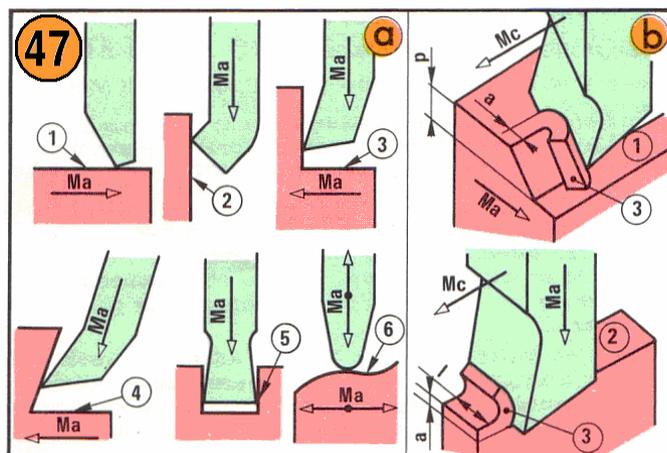
Machine à brocher verticale

6. Rabotage

6.1 Production par rabotage

- **Étaux-limeurs**

Ces machines permettent le dressage, le rainurage, le profilage (fig. 47) sur pièces courtes ($l \leq 600$ mm).

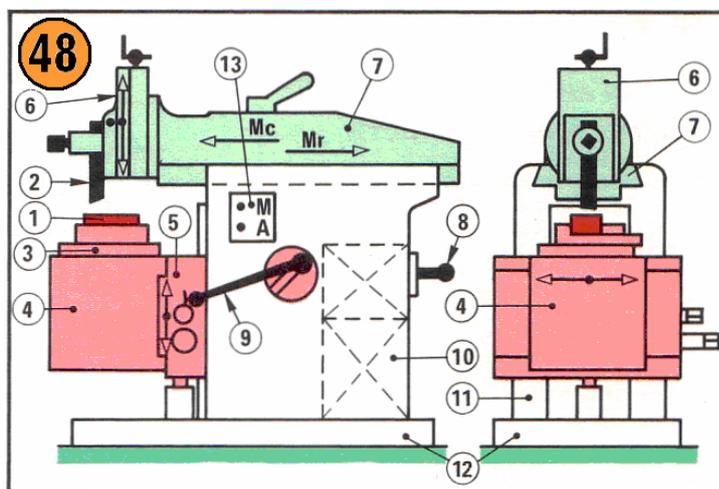


Opérations de rabotage

a) Principales opérations. Dressages horizontal (1) à l'outil à charioter ; vertical (2) à l'outil à charioter coudé. Angles dièdres rentrants (3) (4) à l'outil à dresser. Rainurage (5) à l'outil à rainurer. Profilage (6) à l'outil à retoucher.

b) Modes d'action. (1) Chariotage ; (2) Plongée ; (3) Copeau.

Tous les **étaux-limeurs** présentent la même disposition et ne diffèrent que par leurs caractéristiques (fig. 48).



Étau-limeur

Schéma d'une machine simple. (1) Pièce ; (2) Outil ; (3) Etou ; (4) Table ; (5) Chariot ; (6) Chariot porte-outil ; (7) Coulisseau ; (8) Levier de réglage de la boîte des vitesses ; (9) Système d'avance automatique ; (10) Moteur ; (11) Bâti ; (12) Socle ; (13) Contacteur. Mouvements de coupe M_c , de retour M_r .

Course du coulisseau : $L = 150$ à

600 mm.

Hauteur entre la table et l'outil : 150 à 400 mm.

Course du chariot : 150 à 400 mm.

Puissance du moteur : 0,7 à 7 kW.

Nombre de courses du coulisseau par minute : $n = 50$ à 200 c/mn.

Avance du chariot par course : $a = 0,1$ à 1 mm/c.

- **Outils de rabotage**

Ce sont des outils normalisés, à corps prismatiques, à partie active en acier rapide ou en carbure.

- **Mouvements relatifs outil-pièce**

Deux mouvements coordonnés sont nécessaires :

Mc mouvement de coupe, rectiligne alternatif de l'outil ;

Ma mouvement d'avance, rectiligne discontinu, produit en fin de course « retour » du coulisseau et appliqué :

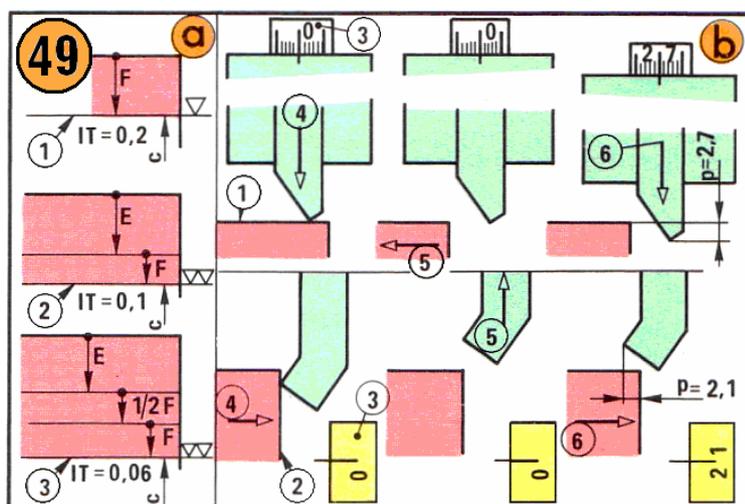
- à la pièce (rabotage horizontal) ;
- à l'outil (rabotage vertical ou oblique).

• Production d'une surface

Une surface peut être produite par chariotage (*déplacement progressif de la surface sous le bec de l'outil*) ou par plongée (*profil de l'outil identique à celui de la surface de faible largeur*) (fig. 47).

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

- une seule passe finition directe ;
- une ou plusieurs passes d'ébauche (*profondeur de passe p aussi grande que possible ; $a = 0,25$ à 1 mm/c*) et, une passe de finition ($p = 0,2$ à $0,6$ mm ; $a = 0,1$ à $0,25$ mm/c). Un travail très précis (fig. 49) 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 $1/2 F = F = 0,2$ à $0,6$ mm.

b) Réglage au tambour gradué (3) en chariotage horizontal (1), vertical (2). (4) Contact outil-pièce et tambour gradué à zéro ; (5) Dégagement ; (6) Réglage.

Exemple : Pour $s = 4$ mm, en réservant $0,3$ mm pour la finition et autant pour la demi-finition, il reste $3,4$ mm pour l'ébauche, réalisable en une seule passe.

6.2 Dressage par chariotage horizontal

Analyse de l'opération 2 (fig. 50) : dressage de la face (1) avec $s = 2,7$ mm ; $IT = 0,2$ mm ; état superficiel ∇ .

OPÉRATIONS		OUTILLAGE	CONTROLE
1	Ébavurer, contrôler le brut 22 x 40 x 129	Lime	Calibre à coulisse
Dresser. Chariotage horizontal		Outil à charioter	Equerre
Cotes ±0,1			
2	Face 1 19,3	p 2,7 a 0,4 n 80	calculer p
3	Chant 2 38,3	1,7 0,4 80	
4	Chant 3 36,5	0,4 80	calculer p
5	Face 4 16,5	0,4 80	
Dresser. Chariotage vertical		Outil à charioter coudé	
6	Bout 5 126,9	2,1 0,4 160	calculer p
7	Bout 6 125,5	0,4 160	
ÉBAUCHE		Acier, R = 65 hbar	

Instructions détaillées

La pièce brute a 22 x 40 X 129 mm. La surépaisseur moyenne par surface (2 mm) et la tolérance dimensionnelle (0,2 mm) permettent une seule passe par surface. L'état superficiel (traits sensibles au toucher) impose une forte avance par course. Les grandes SR (1) (2) doivent être produites au début.

• **Déterminer le processus**

Les données permettent le dressage en une seule passe $p = 2,7$ mm ; $a = 0,4$ mm/c.

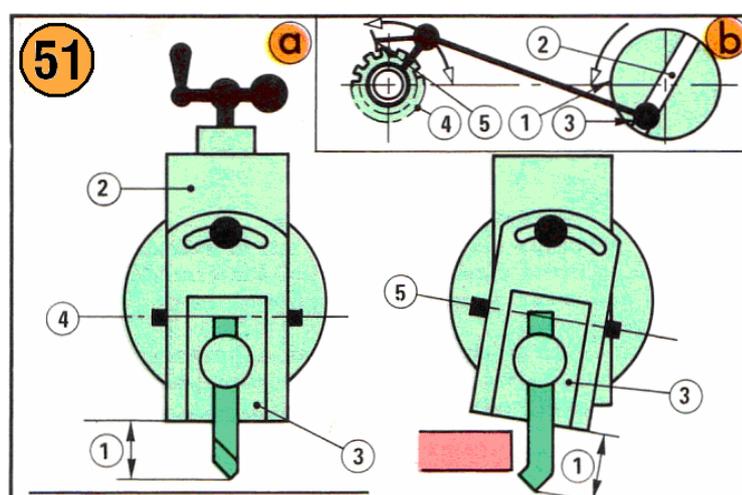
• **Choisir et monter l'outil**

L'outil à charioter droit, doit avoir une référence propre, non détériorée et une arête tranchante bien vive.

Immobiliser l'outil verticalement dans le porte-outil (fig. 51), dépassant le moins possible ; s'assurer du contact des références de l'outil et du porte-outil ainsi que du fonctionnement du volet porte-outil dont l'oscillation permet à l'outil de se dégager de la pièce pendant le retour du coulisseau.

• **Fixer la pièce dans l'étau**

L'étau-limeur est débrayé. La pièce (placée sur une cale, si nécessaire), au milieu de l'étau, dépasse au-dessus des mors (surépaisseur s + 2 mm). Pendant le serrage de l'étau, assurer le contact cale – étau – pièce en frappant légèrement avec une massette. Après serrage énergique, la cale doit être coincée entre la pièce et le fond de l'étau.

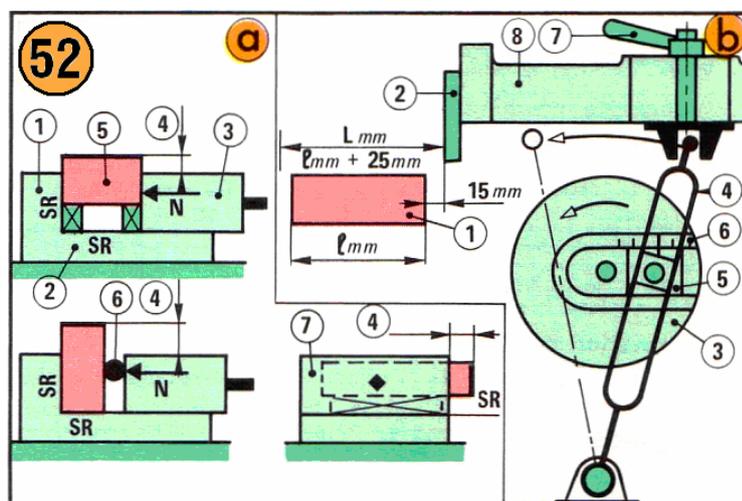


Réglages

a) Porte-outil. (1) Dépassements à réduire ; (2) Chariot porte-outil ; (3) Volet oscillant réglé pour chariotage horizontal (4), vertical (5). **b) Avance.** (1) Tambour (un tour par course) ; (2) Rainure ; (3) Maneton excentrique ; (4) Rochet de la vis de chariot ; (5) Cliquet (un aller et retour par course).

- **Procéder aux réglages**

Course du coulisseau : L mm. Sur machine simple, disposer le plateau et le balancier suivant fig. 52 ; desserrer l'écrou du maneton et faire glisser le coulisseau jusqu'à coïncidence entre l'index du maneton et la longueur de course désirée. Desserrer l'écrou à poignée du coulisseau et déplacer celui-ci pour situer l'outil à 15 mm du bout de la pièce ; bloquer l'écrou à poignée.



Ablocage. Réglages

a) Ablocage en étau : (1) Mors fixe ; (2) Base ; (3) Mors mobile ; (4) Dépassement ; serrage direct (5), sur cylindre (6), pour dressage vertical (7).

b) Réglage de la course :

(1) Pièce ; (2) Outil ; (3) Plateau ; (4) Balancier ; (5) Maneton ; (6) Graduations ; (7) Ecrou à poignée ; (8) Coulisseau.

Nombre de courses par minute du coulisseau : n c/mn. Assurer la valeur figurant sur la fiche d'instructions en plaçant le levier de la boîte des vitesses à la position indiquée par le tableau de réglage.

Avance automatique du chariot : a mm/c. Sur machine simple, assurer la valeur désirée en excentrant le maneton commandant la bielle et le cliquet ; l'avance, lue sur le tambour gradué de la vis du chariot, doit s'effectuer pendant le retour du coulisseau (fig. 51).

Contact outil-pièce. Situer la pièce sous l'outil. Descendre lentement le chariot porte-outil jusqu'à contact léger de la pointe de l'outil avec la pièce ; régler le tambour gradué au zéro et dégager la pièce en soulevant l'outil (fig. 49).

Profondeur de passe : p mm. Calculer le nombre de graduations correspondant à p mm désiré. (Exemple : une graduation 0,1 mm ; $p = 2,7$ mm = 27 graduations). Descendre l'outil du nombre de graduations calculé ; si la graduation prévue est dépassée, tourner la manivelle d'un demi-tour en sens inverse et refaire le réglage, pour éviter les erreurs dues au jeu entre vis et écrou du chariot.

- **Prendre la passe**

Approcher la pièce de l'outil, embrayer Mc puis abaisser le cliquet d'avance automatique. Pendant la passe, ne toucher à aucun organe en mouvement ni à l'outil. En fin de passe, débrayer l'avance puis la machine. Contrôler.

6.3 Dressage par chariotage vertical

Analyse de l'opération 6 (fig. 50) : dressage du bout (5) avec $s = 2,1$ mm ; IT = 0,2 mm ; état superficiel ∇ .

- **Déterminer le processus**

Les données permettent le dressage en une seule passe $p = 2,1$ mm ; $a = 0,4$ mm/c.

- **Choisir et monter l'outil**

Outil à charioter coudé (fig. 51). Incliner le volet porte-outil ($\approx 15^\circ$) pour dégager l'outil au retour ; fixer l'outil verticalement assurer un dépassement compatible avec l'épaisseur de la pièce.

- **Fixer la pièce dans l'étau**

Assurer un dépassement latéral suffisant (≈ 10 mm).

- **Procéder aux réglages**

Course du coulisseau : nombre de courses par minute.

Contact outil-pièce. Par déplacement du chariot, porte-pièce ; dégager l'outil au-dessus de la pièce (fig. 49).

Profondeur de passe. Par déplacement de la table,

- **Prendre la passe**

Approcher l'outil de la pièce, embrayer ; à chaque retour du coulisseau, descendre l'outil de la quantité a mm/c prévue en tournant la manivelle du chariot porte-outil. En fin de passe, débrayer. Contrôler,

7. La rectification

C'est une opération de finition des pièces qui ont été préalablement ébauchées. Elle permet une amélioration de la précision :

- dimensionnelle (indices de qualité couramment obtenus : 7, 6 et 5),
- de position géométrique,
- de qualité de surface (forme et rugosité).

Les progrès réalisés dans l'élaboration des meules, dans la rigidité et la puissance des machines font que la rectification concurrence parfois les techniques d'usinage par coupe dans les travaux de surfacage, filetage.

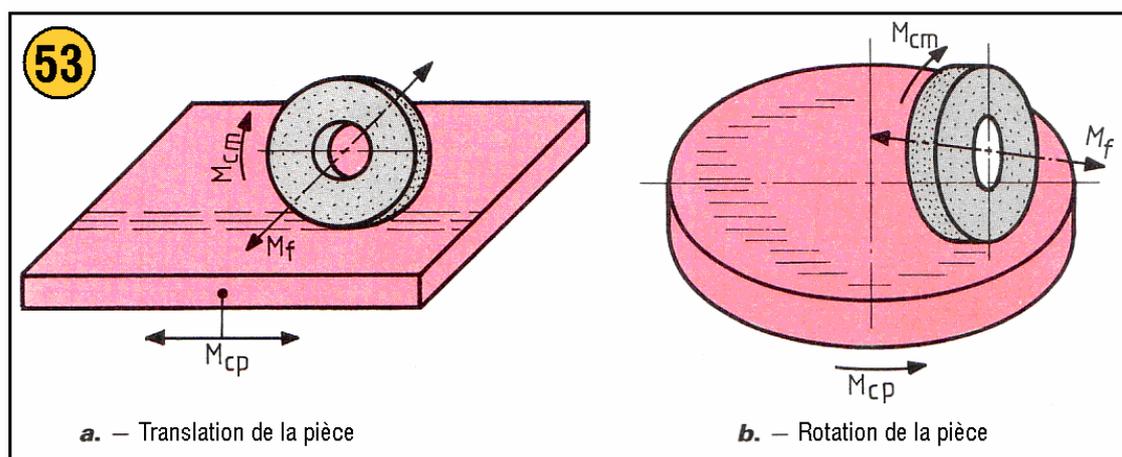
Exemple :

Surfaçage direct sur des ébauches laminées, l'épaisseur totale à enlever peut atteindre 1 mm.

7.1 Rectification des surfaces planes

- **Par meulage de profil**

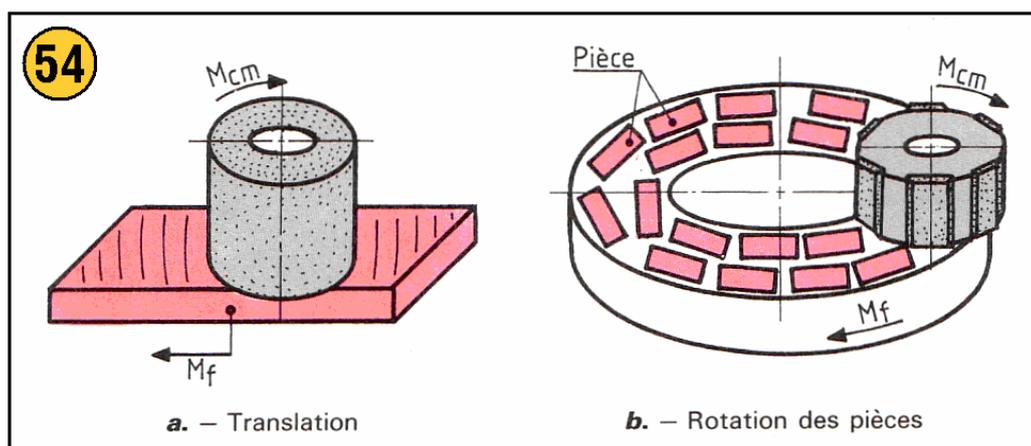
La meule plate travaille sur la périphérie, la pièce est animée du mouvement rectiligne alternatif ou circulaire continu (fig. 53).



- **Par meulage de face**

On utilise une meule boisseau (cylindrique ou conique) ou à segments.

La pièce est animée d'un mouvement de génération rectiligne ou continu (fig. 54).

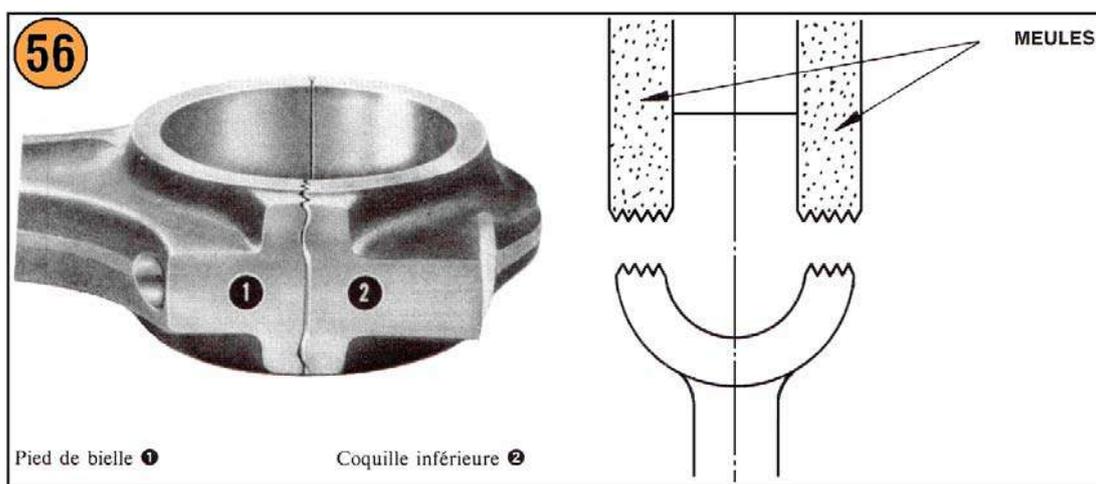
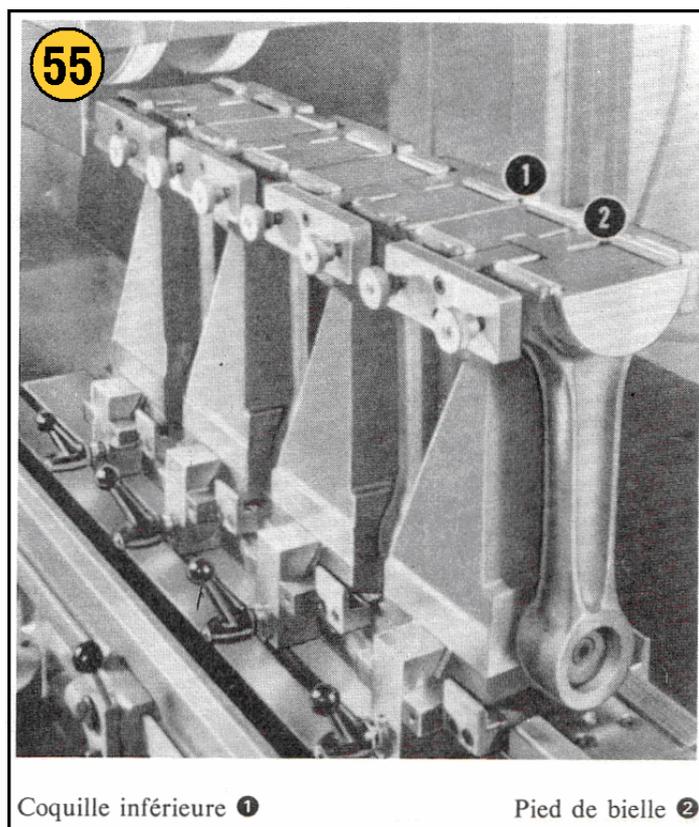
**7.2 Rectification des profils**

Les meules sont taillées pour obtenir le profil souhaité. Après la prise de passe la table est animée d'un mouvement d'avance rectiligne continu.

Les meules sont réaffûtées périodiquement à l'aide d'une molette.

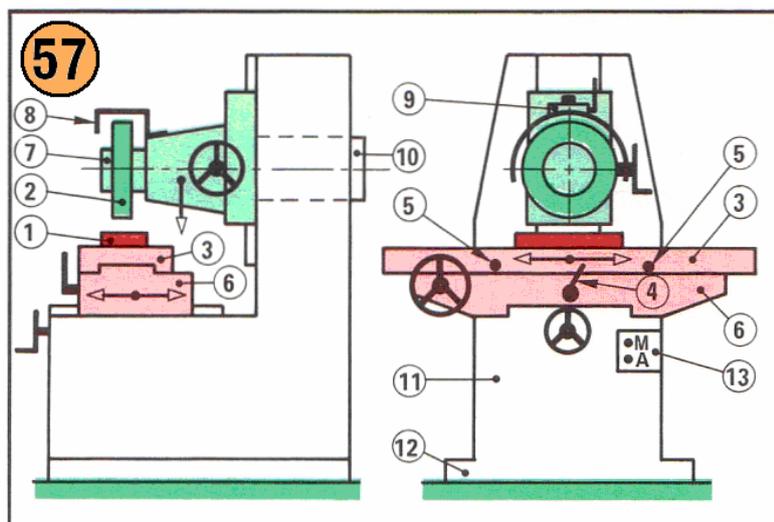
Exemple :

Rainurage par rectification des faces d'assemblage de pieds de bielles (fig. 55 et 56).



- **Rectifieuses planes tangentielles**

Sur les pièces semi-finies par coupe à l'outil, la finition par rectification à la meule assure des valeurs très réduites pour toutes les tolérances qui définissent les surfaces planes. Les opérations courantes de dressage et profilage se font sur des **rectifieuses planes tangentielles** à broche horizontale la surface rectifiée est engendrée par la périphérie d'une meule plate (fig. 57 et 58).



Rectifieuse plane
Schéma d'une machine simple (à commande hydraulique).
 (1) Pièce ; (2) Meule plate ; (3) Table ; (4) Levier d'inversion ; (5) Butées ; (6) Chariot ; (7) Broche porte-meule ; (8) Carter de meule ; (9) Chariot porte-diamant ; (10) Moteur ; (11) Bâti ; (12) Socle ; (13) Contacteur.

Ces rectifieuses tangentielles sont caractérisées par :

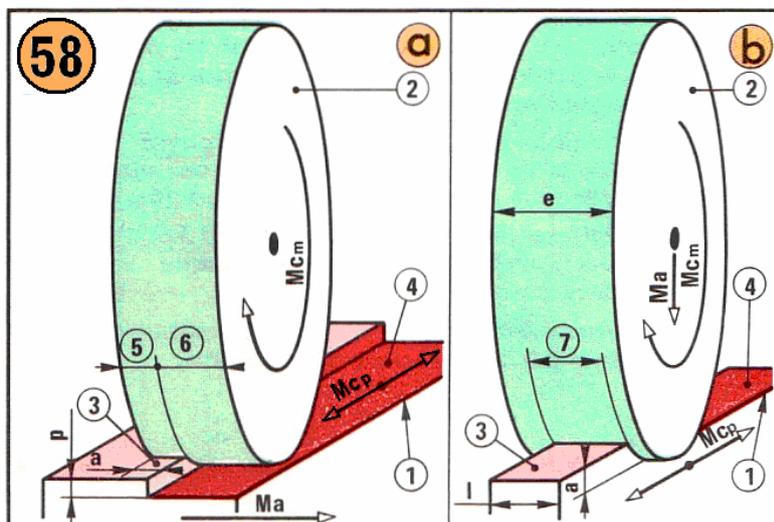
Course de la table : 250 mm à 1 m.

Course du chariot : 100 à 250 mm.

Vitesse maximale de la table 15 m/mn.

Avances du chariot par course $a = 0,05$ à 5 mm/c.

Dimensions des meules plates utilisées.



Mode d'action
 (1) Pièce ; (2) Meule ; surfaces (3) avant la course et (4) après la course. **a) Chariotage.** À chaque course, la pièce avance la zone (5) produit une étroite surface, la zone (6) régularise la surface. **b) Plongée.** $l < e$. À chaque course, la meule descend ; la zone (7) produit toute la surface.

• **Meules pour rectification plane**

Leurs caractéristiques doivent être adaptées au matériau à rectifier :

Acier non trempé : A38-H8V.

Acier trempé : A46-I8V.

Fonte : C36-J8V.

• **Mouvements relatifs meule-pièce**

Trois mouvements coordonnés sont nécessaires pour produire une surface (fig. 58).

M_{cm} . Mouvement de coupe circulaire continu de la meule.

M_{cp} . Mouvement rectiligne alternatif de la pièce :

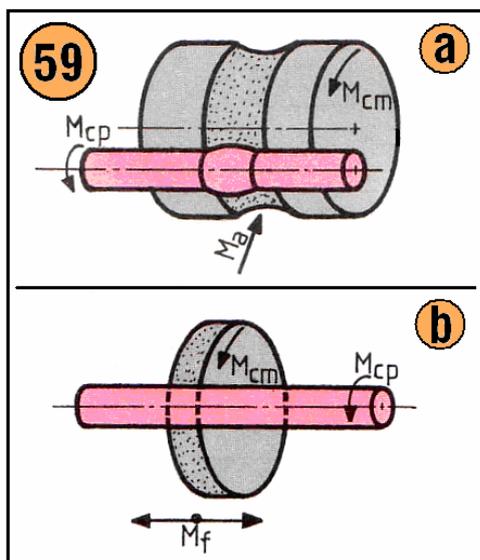
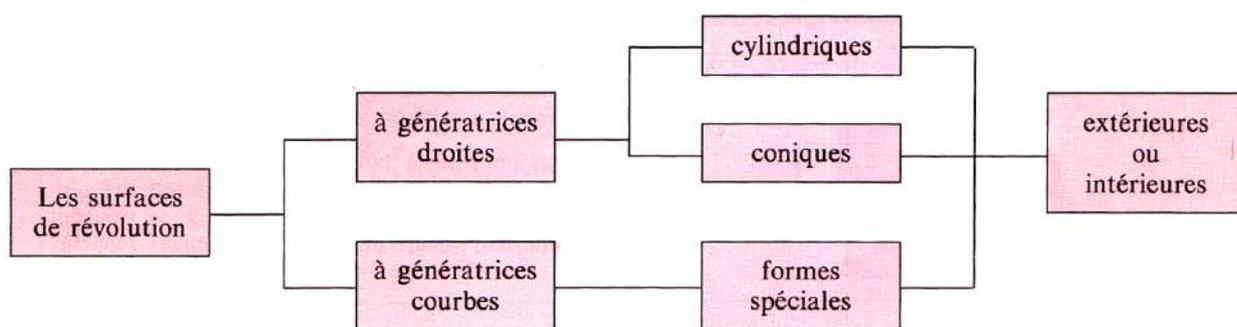
Acier trempé et fonte : 10 m/mn.

Acier non trempé : 8 m/mn.

M_a . Mouvement d'avance rectiligne discontinu de la pièce (*chariotage*), de la meule (*plongée*).

7.3 Rectification des surfaces de révolution

On distingue :



Mouvements nécessaires à l'usinage

a) M_{cm} , M_{cp} et M_a pour la génération linéaire ;

b) M_{cm} , M_{cp} , M_f et M_a pour la génération ponctuelle.

M_{cm} mouvement de rotation de la meule.

M_{cp} mouvement de rotation de la pièce.

M_a translation radiale communiquée à la meule ou à la pièce (mouvement de pénétration).

M_f translation rectiligne communiquée en général à la pièce.

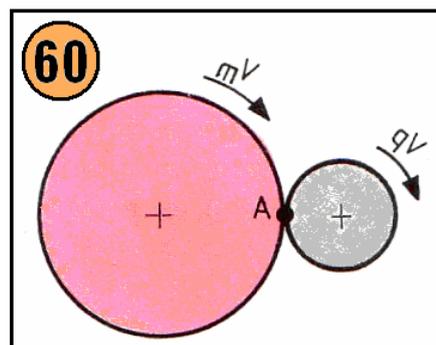
• **Rectification extérieure**

Vitesses de rotation (fig. 60).

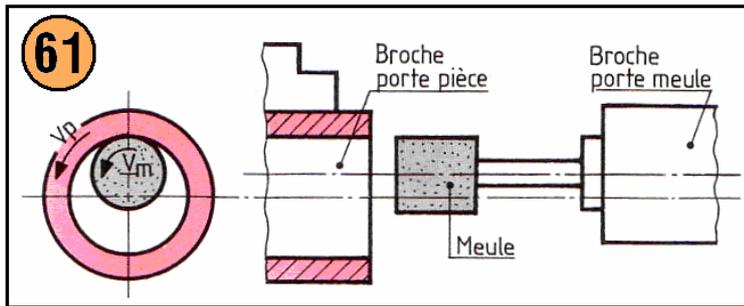
La meule et la pièce tournent dans le même sens :

V_m : 25 à 32 m/s.

V_p : 8 à 25 m/min.



- Rectification intérieure



Vitesses de rotation (fig. 61).

La meule est la pièce tournent dans le même sens.

$V_m = 25$ à 32 m/s.

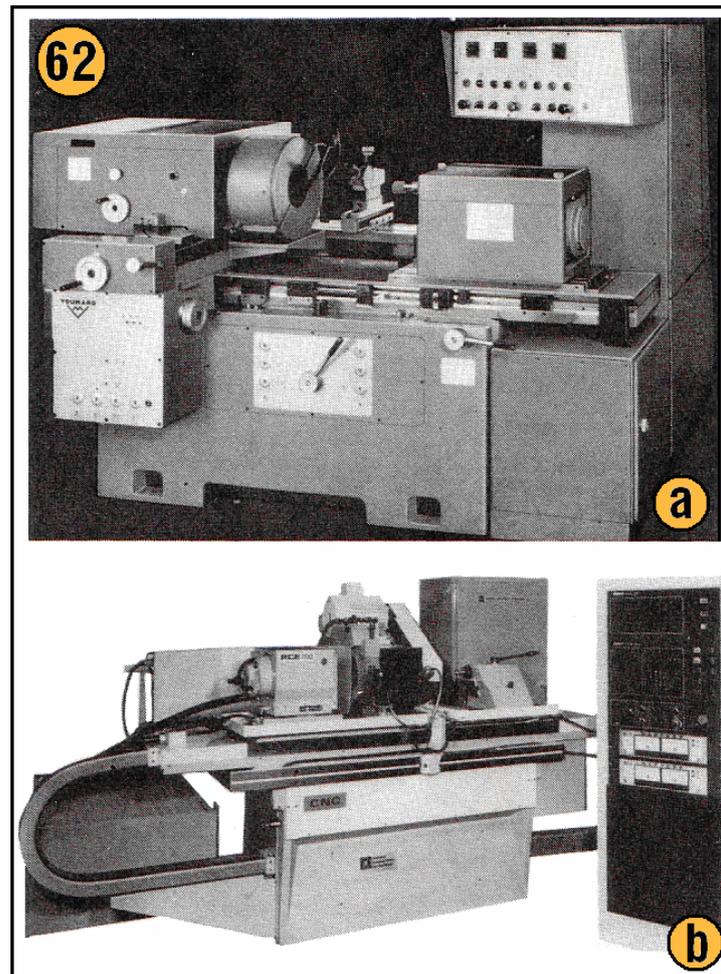
$V_p = 8$ à 25 m/min.

Remarques : On choisit un diamètre de meule maximal compatible avec le diamètre de l'alésage d'ébauche.

L'usure de la meule est assez rapide, on a intérêt à la répartir sur toute la périphérie.

- Les machines

- Machines à rectifier les surfaces extérieures (fig. 62a).
- Machines à rectifier les surfaces intérieures (fig. 62b).



- Machines à rectifier les surfaces extérieures et intérieures.
- Machines à mouvement planétaire et appareil à rectifier planétaire.

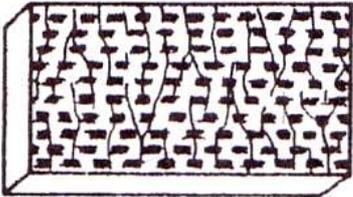
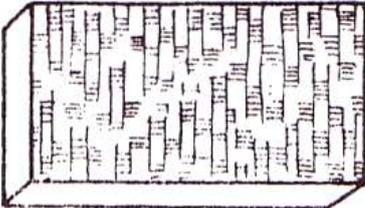
Suivant leur destination : usinage à l'unité ou en petite série ou usinage en moyenne et grande série, les machines reçoivent des solutions techniques qui améliorent leur universalité (travaux à l'unité) ou leur rapidité d'action (cycles automatiques pour les travaux de série).

Dans le domaine de la petite et de la moyenne série, les machines sont de plus en plus équipées d'un directeur de commande numérique (C.N.C.).

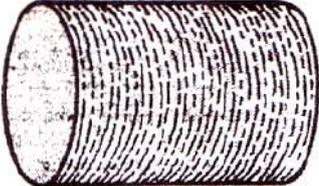
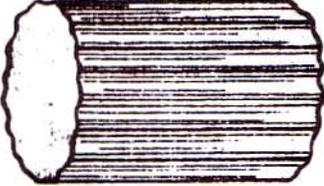
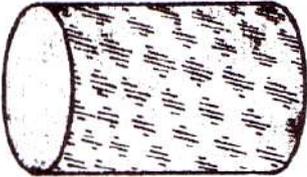
7.4 Principaux défauts

Les tableaux figures ci-dessous illustrent les principaux défauts rencontrés sur les pièces rectifiées et donnent les causes probables.

RECTIFICATION PLANE

Défauts	Causes
<p style="text-align: center;">Brûlures et criques</p> 	<ul style="list-style-type: none"> – Vitesse excessive de la meule. – Passe trop forte. – Vitesse de translation trop forte ou trop faible (selon la profondeur de passe). – Prise de contact trop brutale. – Descente irrégulière de la meule. – Glissement des courroies. – Mouvement de la table irrégulier. – Mauvais teillage de la meule. – Meule trop dure, lustrée ou encrassée. – Meule de grain trop fin. – Arrosage insuffisant ou mal dirigé. – Liquide d'arrosage de composition mal adaptée.
<p style="text-align: center;">Facettes</p> 	<ul style="list-style-type: none"> – Jeu dans la broche porte-meule. – Mauvais état du mécanisme de translation de la table. – Meule déséquilibrée. – Meule trop dure, lustrée ou encrassée – Meule de grain trop fin.
<p style="text-align: center;">Défaut de parallélisme</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Jeu dans la broche porte-meule. – Déformation de la table ou des glissières. – Meule trop tendre.

RECTIFICATION CYLINDRIQUE ENTRE POINTES

Défauts	Causes
<p>Brûlures et criques</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Vitesse de rotation de la pièce trop faible. - Vitesse de translation trop forte. - Passe trop profonde. - Prise de contact trop brutale. - Glissement des courroies. - Mauvais entraînement de la pièce. - Mauvais taillage de la meule. - Meule trop dure, lustrée ou encrassée. - Meule de grain trop fin. - Arrosage insuffisant ou mal dirigé. - Liquide d'arrosage de composition mal adaptée.
<p>Conicité des pièces</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise position de la table. - Meule trop tendre.
<p>Spires</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvaise position des lunettes. - Mauvais blocage de la pièce. - Mauvais alignement des pointes. - Excès de graissage des glissières de la table. - Jeux ou usures anormaux dans la machine. - Mauvais diamantage.
<p>Stries</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvais rapport des vitesses pièce-meule. - Mauvais diamantage : <ul style="list-style-type: none"> - diamant trop pointu ou en mauvais état ; - diamantage trop grossier. - Meule trop dure.
<p>Facette, avec arêtes arrondies</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Mauvais entraînement de la pièce. - Mauvais entraînement de la meule. - Jeu dans la broche porte-meule. - Meule déséquilibrée.
<p>Facettes en hélice</p> 	<ul style="list-style-type: none"> - Broche porte-meule en mauvais état. - Rainures de graissage des paliers de broche asymétriques. - Meule déséquilibrée. - Faux rond de la meule. - Face de travail de la meule en mauvais état. - Liquide d'arrosage souillé.
<p>Ovalisation des pièces</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Centres des pièces mal formés ou dissemblables. - Mauvais alignement des centres. - Excès ou manque de jet entre les pointes et la pièce. - Angles différents des pointes. - Pointes de la machine en mauvais état. - Entraînement de la pièce défectueux. - Arrosage intermittent.

Chapitre 3

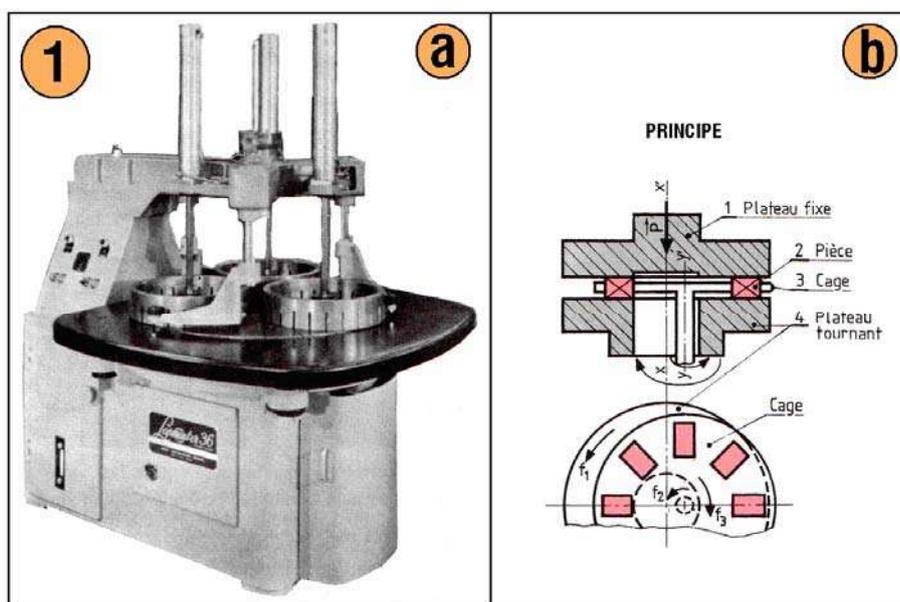
Procédés spéciaux d'usinage

1. Rodage

Le **rodage** permet d'améliorer l'état superficiel des surfaces, même déjà rectifiées : les rugosités sont réduites par frottement sur un rodoir enduit d'une très mince couche de pâte abrasive fluide. Alors que les machines à roder assurent à la fois dimension précise et état superficiel, le rodage à la main ne peut qu'améliorer l'état superficiel.

1.1 Finition par rodage

Le rodage consiste à user par frottement la surface des pièces à l'aide d'un outil support d'abrasif appelé « **rodoir** » (fig.1).



- **Abrasifs en poudre**

Application au rodage des surfaces planes (fig. 1).

Les pièces sont logées dans des alvéoles d'un disque et emprisonnées entre les deux plateaux en fonte dont les faces sont rigoureusement planes. Le plateau inférieur est animé d'un mouvement de rotation f_1 .

Le disque tourne autour de son axe yy' (f_2) et autour de l'axe du plateau xx' (f_3).

Le plateau supérieur est fixe, il assure la pression de travail.

L'abrasif est amené par le liquide d'arrosage.

• **Abrasifs en bâton** (fig. 2)

Application au rodage des alésages (cylindres de vérins, chemises de piston...).

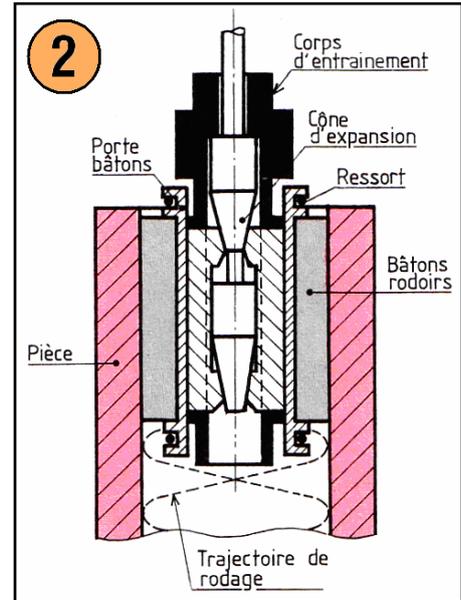
L'outil comporte trois ou quatre bâtons rodoirs. Un dispositif permet l'expansion du diamètre.

Pression de rodage 1 à 5 bars (10^5 à 5×10^5 Pa).

La lubrification est abondante (huile, pétrole, gazole).

L'outil est animé d'un mouvement hélicoïdal.

- Vitesse de rotation : 35 à 45 m/min.
- Vitesse de translation : 8 à 15 m/min.



• **Rodoir et pâte abrasive**

La pâte abrasive fluide est composée de cristaux abrasifs libres dans du pétrole. L'alundon est utilisé pour roder l'acier ; le carborundum (carbure de silicium) pour les autres matériaux. Le rodoir, en matériau plus tendre que le matériau à roder (ex. : rodoir en fonte pour roder l'acier trempé), présente une surface plane rectifiée (fig. 3).

3		CLASSIFICATIONS		Dimension L		Utilisations	
Anciennes		Actuelles					
2 mn	F	280	50 μ	Ébauche			
6 mn	2 F	320	40 μ				
10 mn	3 F	400	30 μ	Finition 1/2			
30 mn			20 μ				
60 mn	4 F	500	12 μ				
		600	5 μ				

a)

b)

Abrasifs. Mode d'action

a) Les cristaux abrasifs utilisés, très fins, sont mélangés avec du pétrole et forment une pâte très fluide.

b) Le rodoir plan (1) est enduit d'une très mince couche (2) de pâte abrasive ; la pièce (3) est déplacée sur toute la surface du rodoir, suivant des trajectoires Mc et des orientations (4) fréquemment modifiées.

• **Mode d'action**

Avant rodage, les cristaux abrasifs sont en contact avec le rodoir et la pièce (fig. 4).

Pendant le rodage, la pièce subit un déplacement Mc et une pression N ; sous cette pression, les cristaux en contact pénètrent :

- d'une part, profondément dans le rodoir, qui leur fournit ainsi une assise momentanée ;
- d'autre part, très peu profondément dans la pièce.

Chaque grain devient ainsi un outil solidaire du rodoir et qui, lors du mouvement Mc, taille un copeau très fin dans la pièce.

Les actions combinées de Mc et N provoquent l'usure, l'arrachement et la rupture des cristaux ; ceux-ci doivent être remplacés par des cristaux neufs. Après un assez long temps de rodage, le rodoir, usé irrégulièrement, doit être rectifié.

• Production d'une surface

Une surface terminée par coupe à l'outil nécessite ébauche, demi-finition et finition, chaque opération utilisant des grains de plus en plus fins et effaçant les traits produits par l'opération précédente. Une surface rectifiée n'exige qu'une finition. Le rodage doit être bref, pour ne pas déformer la surface.

1.2 Rodage à la main

Analyse des opérations de la fig. 4 relatives à la surface plane tournée (1).

4		OPÉRATIONS	OUTILLAGE	CONTRÔLE
	1	Contrôler la pièce		Palmer
	2	Préparer les pâtes	Carborandum n°	
		Ébauche	280	
		1/2 finition	400	
		Finition	500	
	3	Ébaucher ① ②	Pétrole - marbre de rodage	Disparition des traits
	4	1/2 Finir ① ②	- pâtes - spatules	
5	Finir ①	- cale plane	Comparateur	
6	Finir ②	- chiffon	Palmer	
7	// : 0,01	- essence	marbre	
		BAGUE	Fonte	

Instructions détaillées

La bague en fonte est produite par tournage. Le rodage de chaque face plane doit donc comporter ébauche, demi-finition et finition. Après rodage, ces surfaces doivent être planes, parallèles à 10μ près et ne présenter aucun trait visible ni à l'oeil nu, ni à la loupe.

• Déterminer le processus

Les données imposent ébauche, demi-finition et finition.

• Préparer le rodoir plan

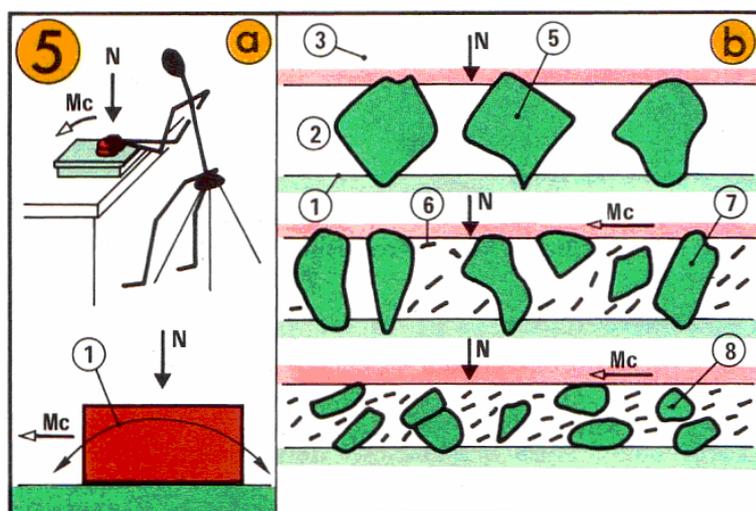
Le rodoir calé horizontalement, ne doit pas basculer sous les efforts de l'opérateur. Laver la surface de rodage à l'essence. Préparer les pâtes abrasives.

• Roder

Ebauche. Étaler la pâte abrasive sur le rodoir à l'aide d'une spatule puis d'un bloc métallique pour obtenir une couche uniforme très mince.

Placer la pièce sur le rodoir ; en appuyant au centre, la déplacer très lentement ($V = 10 \text{ cm/s}$) suivant une trajectoire curviligne se recoupant et couvrant progressivement toute la surface du rodoir (*usure régulière du rodoir*).

Après 30 secondes de rodage, dégager la pièce, la laver à l'essence, contrôler la régularité de disparition des traits de tournage ; modifier l'orientation de la pièce et reprendre le rodage (fig. 3 et 5).



Rodage plan

a) L'opérateur assure simultanément M_c très lent et N constant, évitant le basculement (1) de la pièce et la déformation de la surface. **b)** Action de N pénétration des cristaux dans le rodoir et la pièce. Action de N et M_c formation de copeaux (6) puis rupture (7) et usure (8) des cristaux.

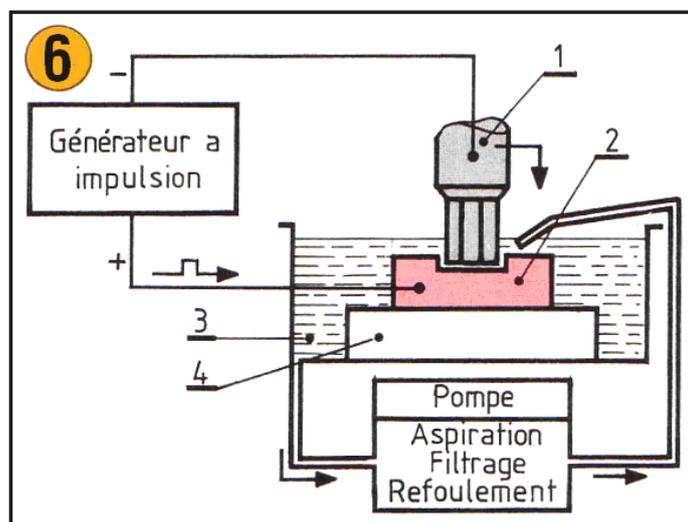
Après quelques minutes de rodage essayer le rodoir ; le regarnir si nécessaire pour terminer l'ébauche.

Demi-finition et finition. Laver le rodoir à l'essence. Opérer comme ci-avant avec des pâtes préparées pour chaque opération. Après finition, la surface examinée à la loupe, doit être polie, sans trait apparent.

2. Usinage par électro-érosion

C'est un procédé d'usinage où l'enlèvement de matière est obtenu par décharges électriques entre une électrode constituée par la pièce et une électrode constituée par l'outil.

2.1 Principe (fig. 6)



Les deux électrodes (1) et (2) sont plongées dans un liquide diélectrique* (3) qui circule en permanence. Un générateur à impulsion fournit les décharges électriques dont la durée et la tension sont réglées en fonction du matériau constituant la pièce et de la précision du travail. La pièce est reliée à l'anode et l'outil à la cathode.

A chaque impulsion, il se produit une décharge électrique (dont la température varie de 30 000 à 50 000 degrés) entre la pièce et l'outil qui provoque l'érosion de la pièce pour environ 99,5 % mais également de l'outil pour environ 0,5 %.

Pour les machines travaillant en plongée, l'électrode outil à la forme complémentaire de la forme à réaliser. L'avance de travail de l'outil est donnée par un servomécanisme qui permet le maintien d'une distance constante appelée **jeu frontal ou distance d'étincelage** ($J = 0,01$ à $0,5$ mm) entre le fond de la pièce et l'outil quelle que soit la vitesse d'avance.

Les particules de métal brûlé sont entraînées par le liquide. Le débit et la direction du jet doivent être réglés en fonction du travail à réaliser.

* **Diélectrique : substance isolante pour l'électricité. On utilise des hydrocarbures comme le pétrole et des huiles minérales. Dans cette application, il a pour rôle de refroidir la pièce et l'électrode.**

2.2 L'outil électrode

• Matériaux et formes

En principe tous les matériaux conducteurs conviennent : cuivre, graphite, laiton...

Le choix dépend :

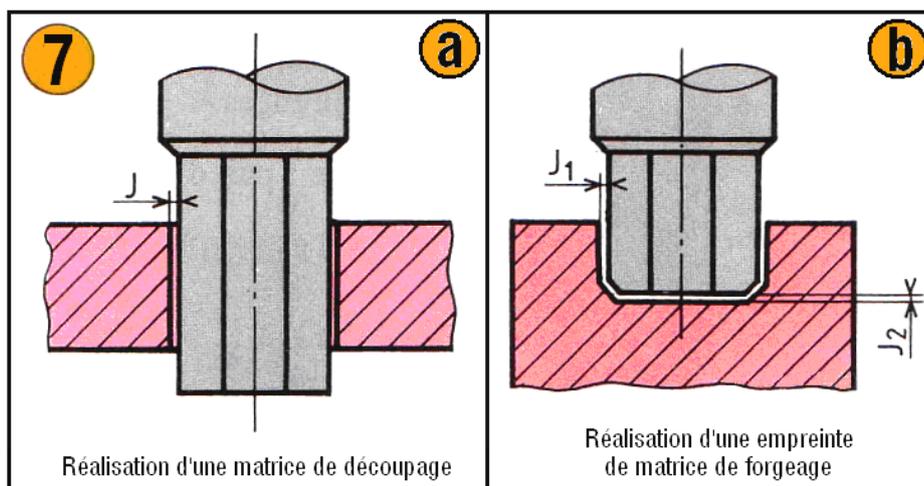
- du matériau usiné,
- de la forme usinée,
- de la productivité recherchée.

Les formes dépendent du type d'usinage.

• Usinage en plongée

L'électrode à la forme complémentaire de forme à réaliser, on distingue deux cas :

- Les électrodes génèrent un profil, dans ce cas seul le jeu latéral d'étincelage J est à considérer pour le calcul de ses dimensions (fig. 7a).
- Les électrodes génèrent une empreinte, dans ce cas le jeu latéral d'étincelage J_1 et le jeu frontal d'étincelage J_2 sont à considérer (fig. 7b).



Les dimensions de l'électrode sont plus petites que celles à obtenir dans la pièce.

Le jeu* est choisi en fonction de la rugosité à obtenir dans l'empreinte, du matériau constituant l'outil, des conditions d'avance, etc.

Pour réduire les effets d'usure de l'outil, on peut :

- percer un avant trou dans l'empreinte à réaliser ;
- réaliser la forme en plusieurs passes en utilisant plusieurs électrodes (ébauche, demi-finition, finition).

Les électrodes sont réalisées avec les procédés classiques d'usinage (tour, fraiseuse, etc.).

* Jeu. Dans les notices techniques on trouve plus couramment le mot anglais Gap pour désigner le jeu. On parlera de Gap latéral et de Gap frontal. Il varie entre 0,02 et 0,5 mm.

- **Usinage par découpage** (fig. 8)

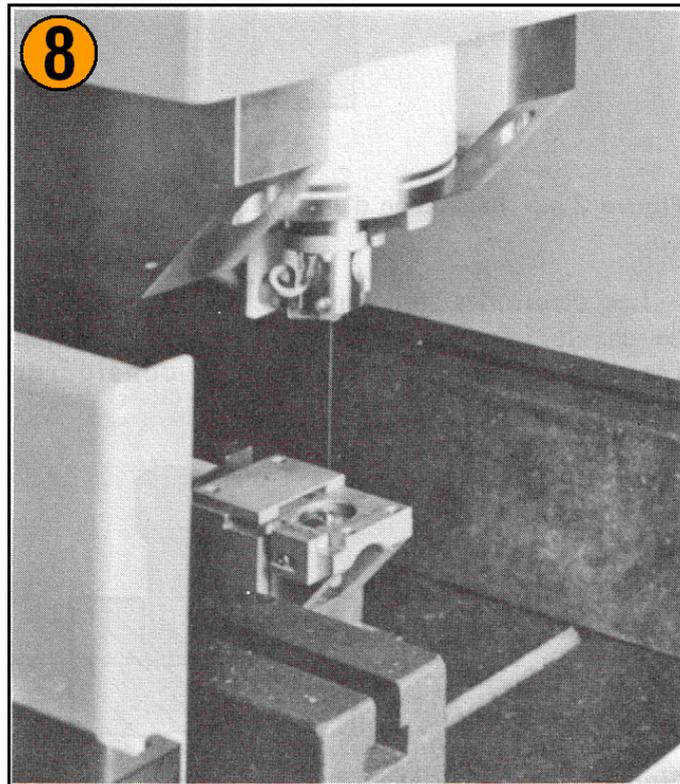
L'électrode est un fil de cuivre parfaitement calibré (\varnothing 0,05 à 0,35) qui se déroule continuellement devant la pièce. Cette dernière est montée sur une table à chariots croisés qui est astreinte à suivre le profil de la forme à obtenir.

La trajectoire des chariots est programmée par un dispositif à commande numérique.

Cette solution est utilisable :

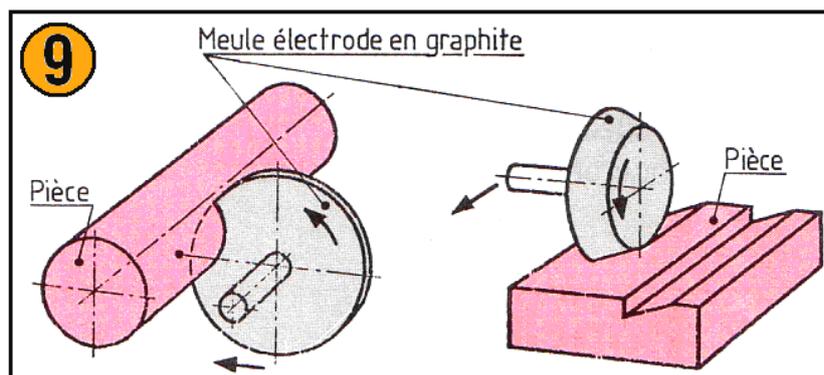
- pour usiner des formes intérieures mais seulement débouchantes,
- pour usiner des formes extérieures,
- pour usiner des formes intérieures et extérieures conjuguées.

Avantage : pas d'électrode outil à usiner.



- **Usinage par surfaçage** (fig. 9)

Ce procédé s'apparente à la rectification des surfaces planes et cylindriques mais on utilise une meule électrode en graphite. Réalisation de profils extérieurs rectilignes ou de révolution, tronçonnage, affûtage d'outil en carbure, etc.



2.3 Les résultats obtenus

- **Précision de l'usinage et rugosité**

Elles sont déterminées par la précision et la forme de l'outil, son matériau, les conditions de intensité du courant, durée des travail (avance, décharges, etc.)

Valeur moyennes	Ébauche	Demi finition	FINITION		
			Normale	Précise	Très précise
Précision en mm	0,5	0,1	0,06 à 0,03	0,03 à 0,01	0,01 à 0,001
Rugosité R_a en μm	6,3 à 3,2	3,2	3,2 à 1,6	0,8 à 0,4	0,4 à 0,2

• Production

La production est fonction de la puissance de la machine utilisée. Un débit important de matière par minute entraîne une grande usure de l'électrode-outil.

Si la dureté du matériau le permet, une ébauche de la forme par usinage mécanique permet de réduire le temps d'usinage par électroérosion.

Intensité max. (Amp.)	12	25	50	50	50
Enlèvement de matière maximum (mm^3/min)	300	450	900	900	900
Enlèvement de matière maximum sans usure d'électrode (mm^3/min)	60	170	400	400	400

2.4 Applications de l'électro-érosion

- Usinage : d'aciers traités de grande dureté et de carbures métalliques impossibles à usiner par les procédés de coupe à l'outil.
- Réalisation de formes intérieures irréalisables par les moyens classiques.
- Réalisation de formes intérieures quand le temps et la précision obtenus avec les moyens classiques sont trop longs.

Exemples (fig. 10) :

Réalisation de formes intérieures de matrices de découpage, de fonderie, de forge...

Affûtage d'outil en carbure.



3. Schémas cinématiques

Les **schémas cinématiques** sont utilisés pour modéliser les mouvements de mécanisme, afin de faciliter la compréhension de leur fonctionnement par les spécialistes des différents pays. La représentation obtenue est un support graphique simplifié servant à la résolution des problèmes mécaniques.

3.1 Symboles de base des schémas cinématiques

Le système de symboles graphiques, défini par la présente norme (NF EN ISO 3952-1, NF E 04-015-1), répond aux besoins définis précédemment et facilite la réalisation des schémas cinématiques. Chaque symbole de cette schématisation caractérise les degrés de liberté dans une liaison entre deux solides.

Dans le tableau 1, les liaisons sont classées par ordre croissant de leur degré de liberté.

Les mouvements permis, indiqués dans ce tableau, précisent le nombre de rotations et de translations possibles dans le mouvement relatif des deux solides en liaison. La représentation en perspective, souvent utile, n'est donnée qu'à titre de symbole conseillé elle ne figure pas dans la norme.

Dans certains cas, l'appellation ou le symbole de la norme précédente (NF E 04-015-1), qui semble plus explicite ou mieux adapté, est indiqué entre parenthèses.

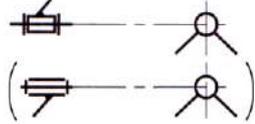
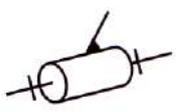
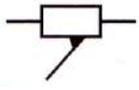
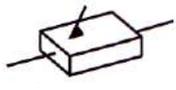
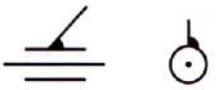
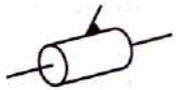
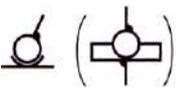
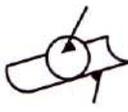
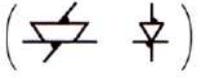
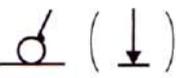
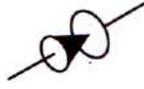
Désignation	Degré de liberté	Mouvements permis	Symboles de base	Perspective
Liaison pivot	1	0 translation 1 rotation		
Liaison glissière	1	1 translation 0 rotation		
Liaison hélicoïdale	1	1 translation 1 rotation conjuguées		
Liaison pivot glissant	2	1 translation 1 rotation		
Liaison sphérique à doigt	2	0 translation 2 rotations		
Liaison rotule ou sphérique	3	0 translation 3 rotations		
Liaison appui plan	3	2 translations 1 rotations		
Liaison sphère-cylindre (linéaire annulaire)	4	1 translation 3 rotations		
Liaison linéaire rectiligne	4	2 translations 2 rotations		
Liaison sphère-plan (ponctuelle)	5	2 translations 3 rotations		

Tableau 1. Symboles pour les schémas cinématiques

3.2 Symboles admissibles dans les schémas cinématiques

Le tableau 1 donne les symboles de base de la norme NF EN ISO 3952-1. Pour certaines liaisons, cette norme définit des symboles admissibles (tableau 2) et des symboles complémentaires (tableau 3).

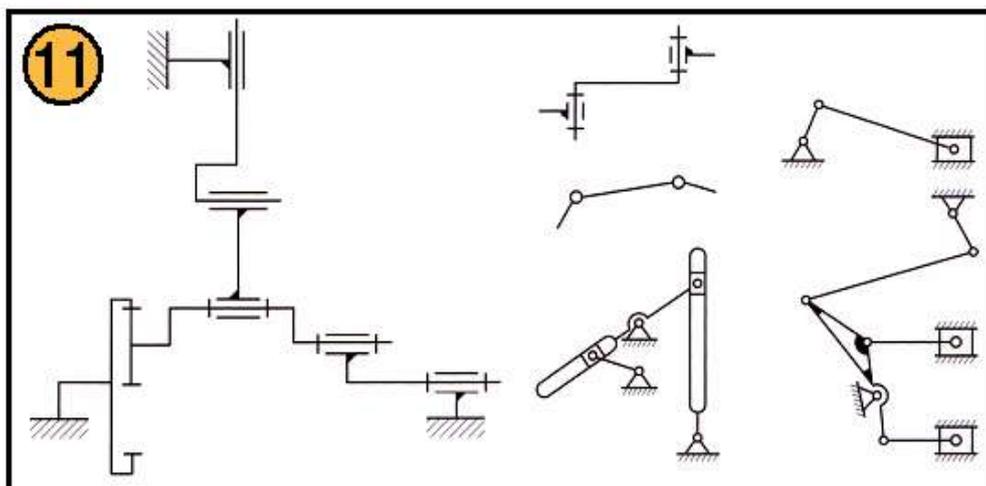
Des exemples d'utilisation de ces différents symboles sont donnés dans la figure 11.

Désignation	Symboles admissibles
Liaison pivot	
Liaison glissière	
Liaison hélicoïdale	
Liaison pivot glissant	

Tableau 2. Symboles admissibles pour les schémas cinématiques

Désignation	Symbole	Exemple
Base		
Axe, tige		
Liaison fixe des composants du solide		
Liaison fixe des composants du solide avec l'axe		
Liaison permettant le réglage des composants du solide		

Tableau 3. Symboles complémentaires pour les schémas cinématiques.



3.3 Mouvements des solides de mécanismes

Afin de compléter les schémas cinématiques, la norme définit des symboles permettant d'indiquer les caractéristiques des mouvements de solides dans le mécanisme schématisé. Le tableau 4 donne quelques exemples de ce type de symbole.

Désignation	Symboles de base	Désignation	Symboles de base
Mouvement à sens unique		Mouvement oscillatoire avec arrêt prolongé en une position extrême	
Mouvement à sens unique avec arrêt instantané		Mouvement oscillatoire avec arrêts prolongés aux positions extrêmes	
Mouvement à sens unique avec arrêt prolongé		Mouvement oscillatoire avec arrêt prolongé en position intermédiaire	
Mouvement à sens unique partiellement inversé		Mouvement à sens unique partiellement inversé avec arrêt prolongé	
Mouvement oscillatoire		Fin de mouvement	

Tableau 4. Mouvements des solides de mécanismes

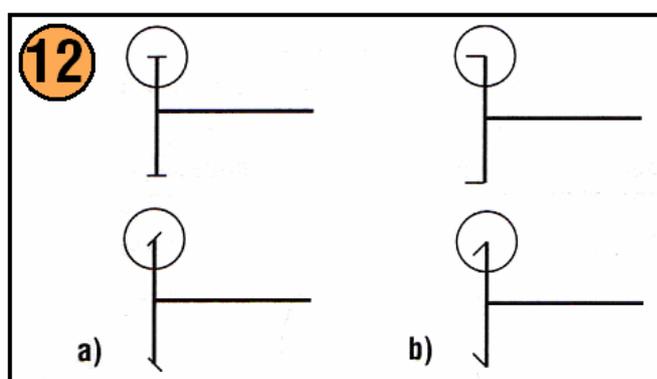
3.4 Mécanismes à friction, à denture, à cames

La schématisation des mécanismes à friction, à denture et à cames est donnée par la norme NF EN ISO 3952-2 (E 04-015-2) (tableaux 5, 6 et 7).

On remarquera, dans les symboles des roues dentées et des roues de friction, que la distinction se fait par une position différente de la ligne représentant la couronne dentée ou la surface de friction par rapport au plan de la roue (fig. 12).

Désignation	Symboles de base	Désignation	Symboles de base
Roue : cylindrique		Transmission avec : roues cylindriques	
conique		roues coniques	
curviligne		roues coniques réglables	
flasque de transmission frontale		roue frontale réglable	
flexible			

Tableau 5. Mécanismes de friction



a) Roue dentée ;
b) Roue de friction.

Désignation	Symboles de base	Désignation	Symboles de base
Roue dentée cylindrique (1) et (2) conique (3)		hypoïde	
flexible		à vis avec vis sans fin cylindrique	
à denture droite (1) hélicoïdale (2) en chevrons (3)		à vis globique	
droite (1) en spirale (2) circulaire (3)		par vis et écrou	
Transmission par engrenage cylindrique		Transmission à crémaillère	
roues non circulaires		avec secteur denté	
conique			

Tableau 6. Mécanismes à denture

Désignation	Symboles de base	Désignation	Symboles de base
Came plate rotative (1) mobile rectiligne (2)		Contre came pointue	
Came spatiale rotative cylindrique conique globique		à arc	
		avec galet pousseur	
		avec poussoir	

Tableau 7. Mécanismes à cames

3.5 Transmission par chaîne et par courroie

La norme ISO 39524 définit les symboles de représentation des transmissions par chaîne et par courroie ; elle paraîtra en norme française sous la référence NF EN ISO 3952-4 (tableau 8).

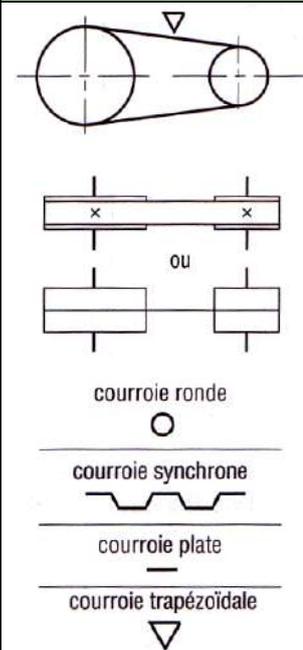
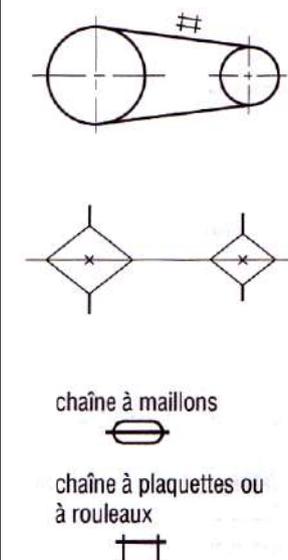
Désignation	Symboles de base	Désignation	Symboles de base
<p>Transmission par courroie</p> <p>symbole général</p> <p>si nécessaire, indiquer le type de courroie (voir symboles ci-contre)</p>	 <p>courroie ronde</p> <p>courroie synchrone</p> <p>courroie plate</p> <p>courroie trapézoïdale</p>	<p>Transmission par chaîne</p> <p>symbole général</p> <p>si nécessaire, indiquer le type de chaîne (voir symboles ci-contre)</p>	 <p>chaîne à maillons</p> <p>chaîne à plaquettes ou à rouleaux</p>

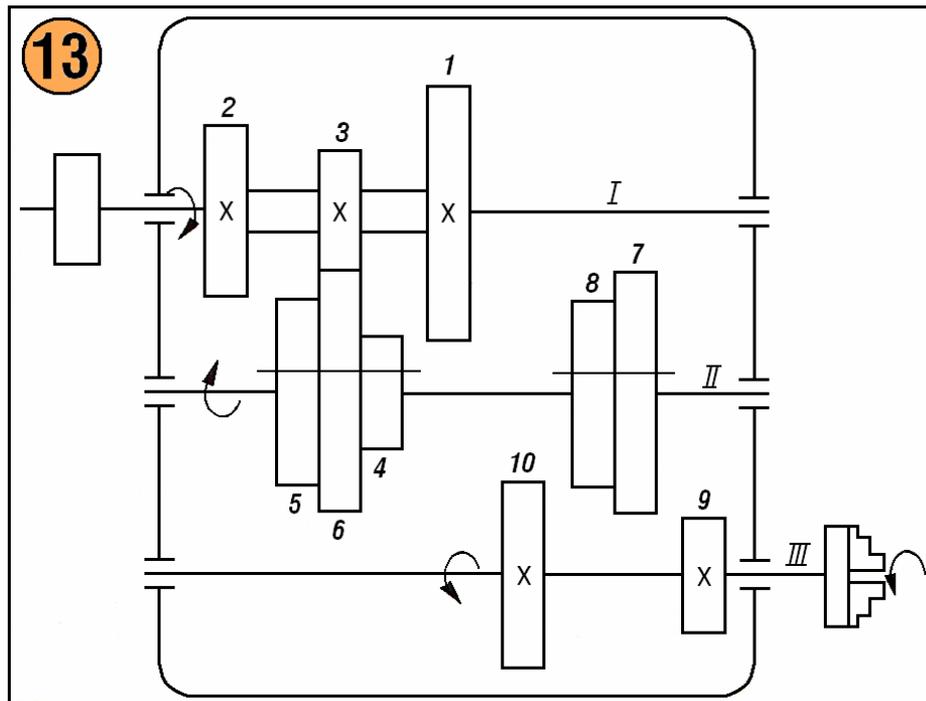
Tableau 8. Transmissions par courroie et par chaîne

Exemple : Schéma cinématique d'une boîte de vitesse.

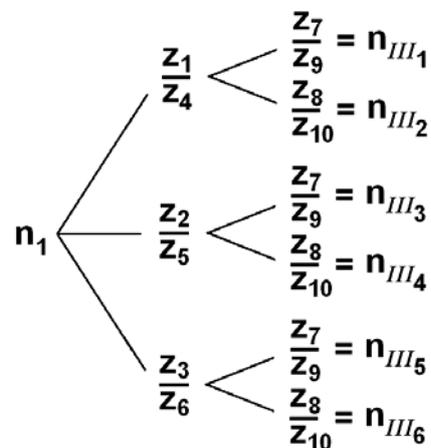
Le schéma cinématique d'un organe ou d'une machine c'est une représentation conventionnelle des transmissions et des éléments cinématiques d'une machine, qui a pour but l'étude du fonctionnement d'outillage respectif.

Dans la figure 13 est représenté le schéma cinématique d'une boîte de vitesse avec baladeurs, où le mouvement de rotation de l'arbre *I* se transmet au l'arbre *II* par la paire de roues dentées 3 – 6. En suite, l'arbre *III* est mis en mouvement par le déplacement du baladeur 7 – 8 vers la droite qui entraîne ainsi la roue 9 fixé solidaire à l'arbre principal *III*.

L'arbre principal *III* peut être entraîné avec six vitesses de rotation différentes, par l'accouplement du baladeur 4 – 5 – 6 alternativement avec les roues 1, 2 et 3. A son tour, chacun des trois fréquence de rotations de l'arbre *II* peuvent se transmettre au l'arbre principal *III* par l'accouplement du baladeur 7 – 8 vers la gauche avec la roue 10 ou vers la droite avec la roue 9, obtenant finalement six fréquences de rotations différentes.



Les fréquences de rotation transmises au l'arbre III dépend du rapport de transmission de chaque variante de transmission de mouvement, comme suite :



Exercice : Calculez la fréquence de rotation de l'arbre III, n_{III5} en sachant : fréquence de rotation de l'arbre I, $n_I = 1\ 000$ tours/ min, $z_3 = 30$, $z_6 = 60$, $z_7 = 65$, $z_9 = 30$.

Solution : Fréquence de rotation de l'arbre III :

$$n_{III5} = n_I \cdot \frac{z_3}{z_6} \cdot \frac{z_7}{z_9} = 1\ 000 \cdot \frac{30}{60} \cdot \frac{65}{30} = 1\ 080 \text{ tours/ min.}$$

3.5 Liaison cinématique

Une liaison cinématique entre deux solides est caractérisée par les degrés de liberté qu'elle autorise.

À un degré de liberté correspond la possibilité d'un mouvement de rotation ou de translation entre deux solides.

Un solide qui n'a aucune liaison possède six degrés de liberté :

- trois degrés de liberté en translation ;
- trois degrés de liberté en rotation.

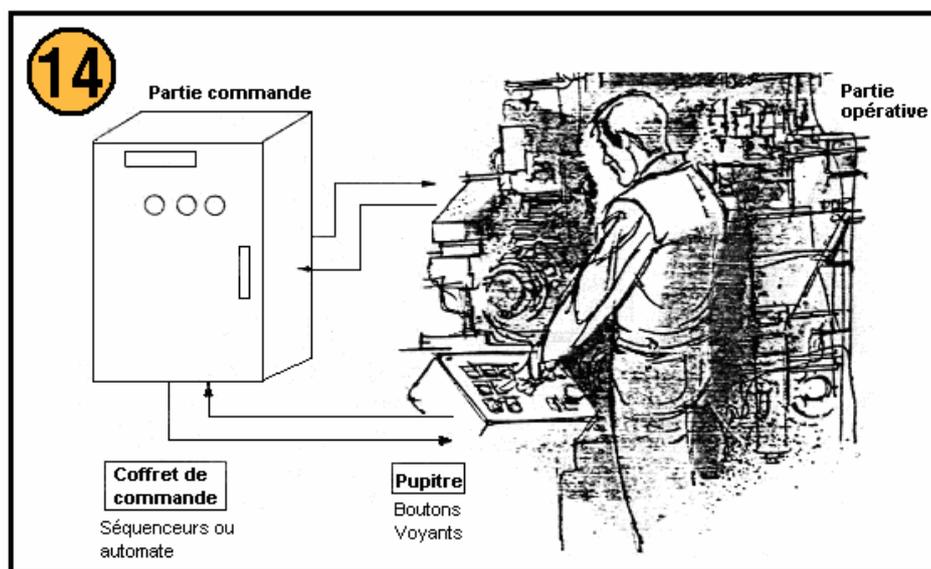
Pour établir un schéma cinématique, on considère :

- que les surfaces en contact sont géométriquement exactes et indéformables,
- que les mouvements autorisés sont théoriquement sans jeu.

4. Principe de fonctionnement des organes de machines

Tous les systèmes automatisés répondent, en général, à la même structure :

- une partie opérative ;
- une partie commande ;
- un pupitre (dialogue) (voir fig. 14)



Structure d'un système automatisé « tout pneumatique »

La partie opérative. Ce secteur de l'automatisme relie les actionneurs de type électrique, pneumatique ou hydraulique aux divers éléments mécaniques pour effectuer des actions suivant une logique organisée.

La partie commande. Cette partie du système automatisé contrôle le déroulement du cycle. Elle fournit les signaux de commande de type électrique ou pneumatique vers les pré-actionneurs.

Le pupitre. Cet élément regroupe les boutons et voyants qui assurent la mise en marche, les arrêts d'urgence et autres commandes du système.

4.1 Description sommaire des principaux éléments

- **Les actionneurs.** Ils représentent les organes visibles du mécanisme. Ils effectuent le travail et doivent être adaptés au milieu dans lequel ils travaillent.

Parmi les principaux **actionneurs** utilisés dans les systèmes automatisés, on peut citer :

- les vérins linéaires (simple et double effet) VSE - VDE ;
- les vérins rotatifs ;
- les vérins sans tiges ;
- les moteurs pneumatiques et hydrauliques ;
- les moteurs électriques.

- **Les préactionneurs (distributeurs).**

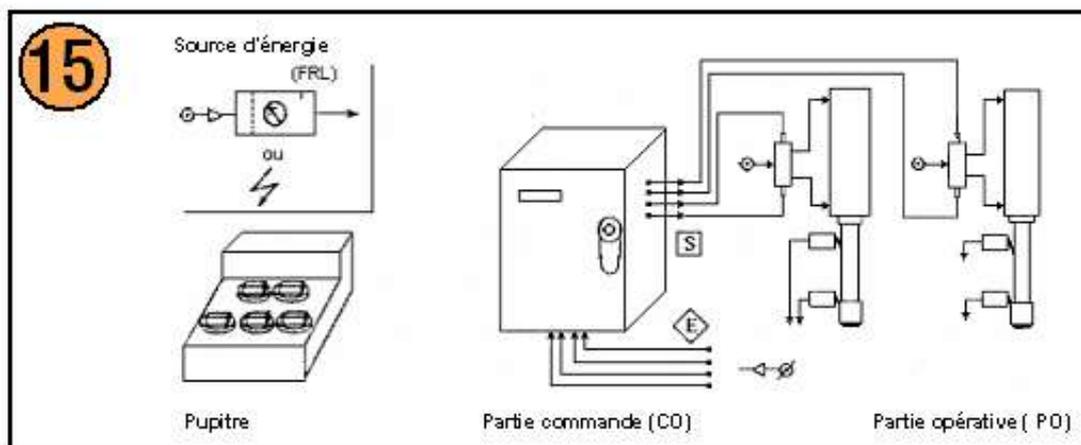
Le rôle de ces éléments est de diriger la pression vers l'actionneur et de réagir aux ordres en provenance de la partie commande.

- **La détection (les capteurs).**

Il existe sur le marché de nombreux types de capteurs. Ils peuvent être pneumatiques ou électriques. Leurs rôles consistent à contrôler l'exécution du travail. Ils délivrent une information à la partie commande.

- **La partie commande.**

Dans les automatismes, il existe obligatoirement une partie commande qui a pour rôle d'organiser le déroulement logique des opérations. Son travail consiste à collecter les informations en provenance des capteurs, de traiter ces informations et de délivrer ensuite des ordres à la partie opérative, en vue d'effectuer une tâche programmée. La partie commande assure donc le traitement des informations dans un ordre logique étudié auparavant à partir d'un cahier des charges parfaitement défini (fig.15).



Cette technologie peut être de deux types :

- tout pneumatique,
- électro – pneumatique.

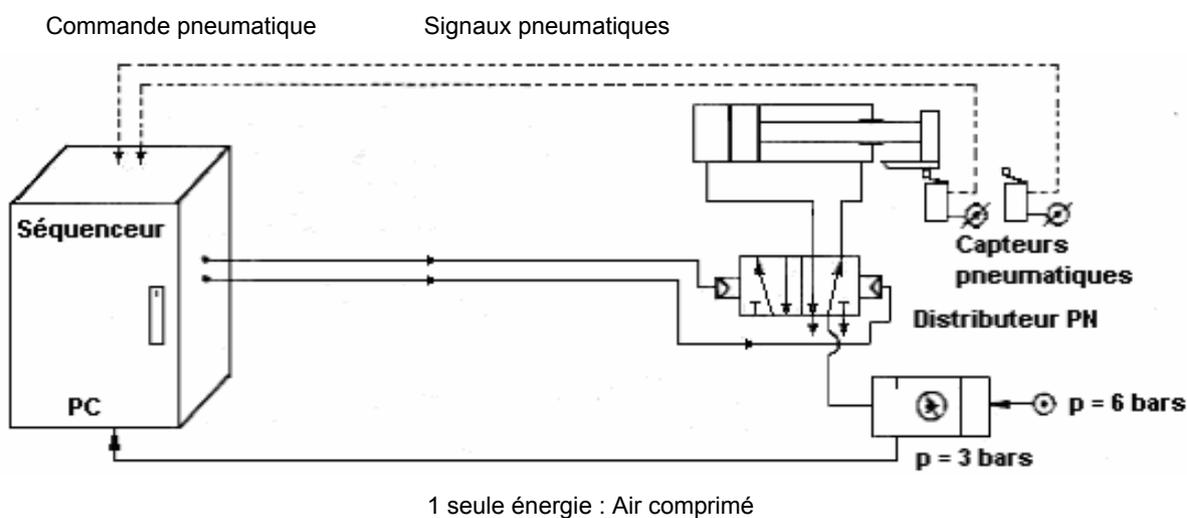
4.2 Description d'un automatisme « tout pneumatique »

Dans ce type d'automatisme, l'énergie pneumatique sera la seule utilisée. L'air comprimé alimente les vérins et assure également le traitement des informations émises par les capteurs.

Généralement, on distingue *trois circuits* :

- le circuit air lubrifié : $\text{⊙} \rightarrow \text{▷}$
- le circuit air sec : $\text{⊘} \rightarrow \text{▷}$
- le circuit basse pression : $\text{⊗} \rightarrow \text{▷}$

Schéma de principe



Le distributeur est pneumatique (pilotage pneumatique).

Les capteurs sont pneumatiques.

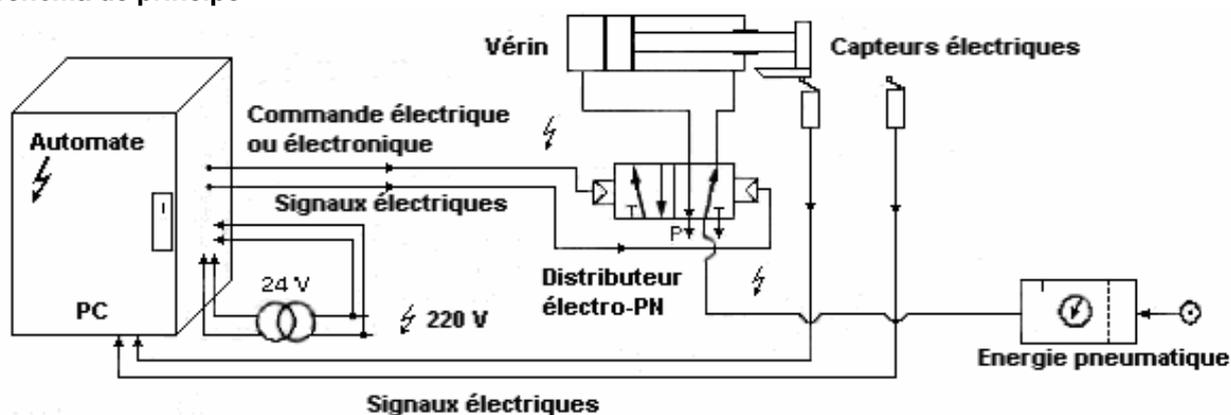
4.3 Description d'un automatisme « électro-pneumatique »

Ici, les deux sources d'énergie sont utilisées.

L'énergie pneumatique assure l'alimentation des actionneurs.

L'énergie électrique servira à l'alimentation de la partie commande.

Schéma de principe



2 énergies : Electrique-pneumatique

Des électrovannes équipent le distributeur pneumatique.

Les capteurs sont de type électrique.

Remarque sur la commande « tout pneumatique »

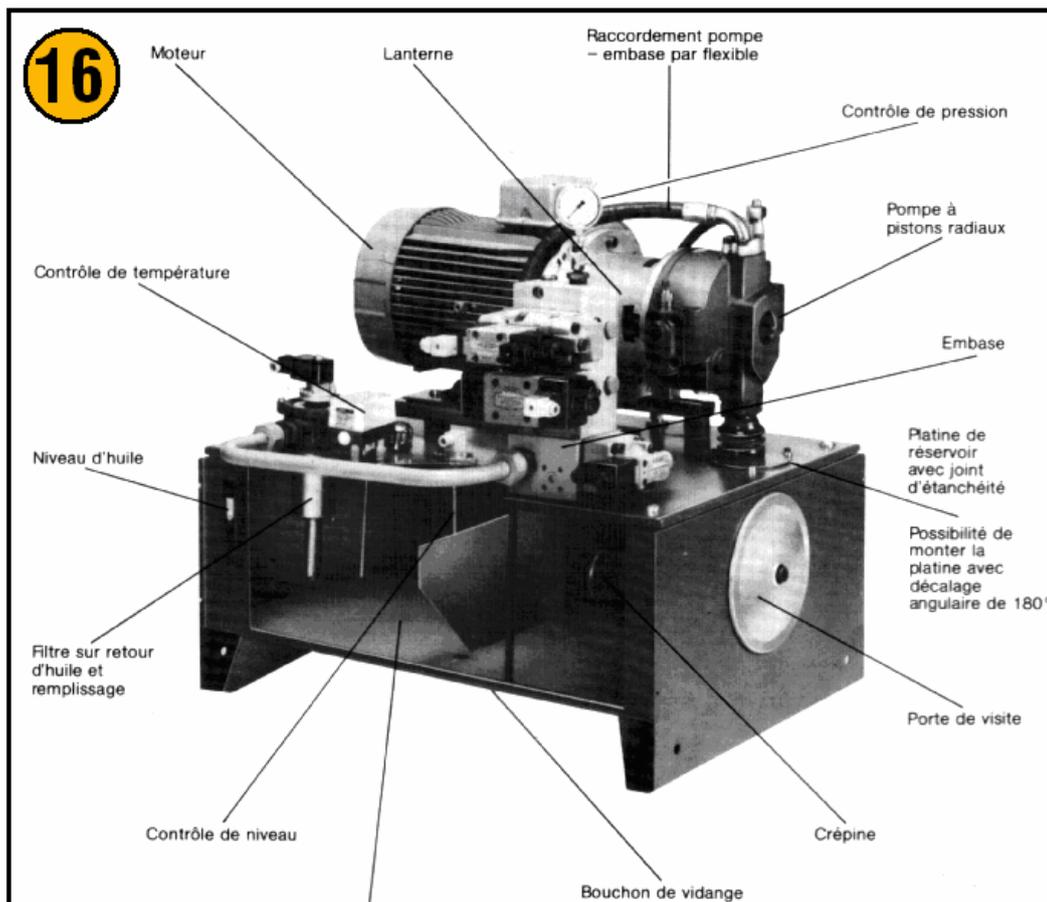
Dans la pratique, les vérins pneumatiques s'associent mieux aux capteurs pneumatiques qu'aux capteurs électriques.

4.4 La centrale hydraulique

C'est l'ensemble assurant le conditionnement de fluide et sa mise sous pression (figure 16)

Cet ensemble composé de plusieurs éléments (moteur, pompe, réservoir, filtre) permet de fournir un débit d'huile dans un système hydraulique

Synonymes de « centrale hydraulique » : groupe générateur de puissance hydraulique, group hydraulique.



5. Entretien des machines-outils

5.1 Démontage et remontage des machines-outils

Ces opérations réclament du soin, de l'attention et de la méthode.

- **Déshabillage**

Les groupes d'organes sont enlevés de la machine puis démontés séparément (boîtes de vitesses, poupées fixes, pompes, etc.).

- **Démontage**

- Les pièces d'un groupe d'organes sont démontées suivant un ordre logique. S'aider au besoin d'un dessin d'ensemble. Ne jamais forcer sur un organe sans rechercher pour quelles raisons il ne peut être facilement désajusté.
- Les écrous, les vis, les goupilles, etc., sont remis provisoirement en place sans être bloqués.
- Les organes constitués par deux ou plusieurs parties et pièces symétriques sont repérés par chiffres et par lettres (D et G) de manière que les organes en contact occupent toujours la même position relative.

- Le **repérage** se fait généralement par frappe.
- Le **décapage** des pièces se fait au bain (eau faiblement acidulée, $\text{SO}_4 \text{H}_2$) de façon à mettre rapidement le métal à nu.
- Les pièces sont ensuite lavées et essuyées.
- On procède ensuite à l'**expertise** qui, par l'examen des organes, décèlera les usures anormales, permettra de remédier à leur cause et déterminera les organes à réparer ou à reconstruire. Les organes neufs sont ajustés, nettoyés (au pétrole) et graissés avant remontage.
- On s'efforce, au **remontage**, d'assurer aux organes les jeux de fonctionnement nécessaires.

5.2 Les joints d'étanchéité

Certaines pièces assemblées doivent satisfaire à des conditions précises d'étanchéité. C'est le cas des organes destinés à recevoir ou à conduire des fluides (eau, huile, gaz sous pression, etc.).

On constate dans la plupart des cas que, malgré un usinage poussé, le contact entre les pièces n'est pas suffisamment intime (suintements). Il est donc nécessaire d'interposer entre les pièces en contact une matière plastique qui résistera aux pressions exercées par le serrage des pièces et la force d'expansion du fluide.

Les joints doivent satisfaire à une ou plusieurs des conditions suivantes :

- **résister aux fortes pressions** (papier, cuivre, étoupe enduite d'hermétique ou de graisse) ;
- **résister aux hautes températures** (amiante, joint métallo-plastique) ;
- **demeurer inaltérables aux fluides** (cuir, caoutchouc, liège enduits de suif ou de cêruse pour l'eau ; cuir, papier, feutre enduits d'hermétique pour l'huile ; étoupe, papier, fibre enduits de savon ou d'hermétique pour l'essence).

• Mise en place des joints

Pour assurer une étanchéité absolue, les surfaces doivent être soigneusement usinées et parfaitement planes.

Dans le cas d'une réparation, enlever soigneusement les traces d'enduit en évitant d'attaquer le métal.

Étendre une couche d'enduit sur le joint et les parties métalliques à rapprocher.

Mettre le joint en place. Serrez les écrous de fixation de proche en proche en commençant par ceux de la partie centrale.

Chapitre 4

Technologie de construction d'une machine-outil

1. Ajustements

Un **ajustement** est constitué par l'assemblage de deux pièces de même dimension nominale. Il est désigné par cette dimension nominale suivie des symboles correspondant à chaque pièce, en commençant par l'alésage.

La position relative des intervalles de tolérances détermine :

- soit un **ajustement avec jeu** ;
- soit un **ajustement incertain**, c'est-à-dire pouvant présenter tantôt un jeu, tantôt un serrage ;
- soit un **ajustement avec serrage**.

Pour un ajustement les exigences fonctionnelles définies par le système ISO sont établies à partir du **principe de l'enveloppe ou principe de Taylor**.

L'exigence de l'enveloppe s'applique notamment chaque fois qu'il convient de garantir :

- les exigences fonctionnelles d'un ajustement du système ISO ou d'un ajustement avec des valeurs chiffrées ;
- une forme parfaite de l'élément à la dimension au maximum de matière.

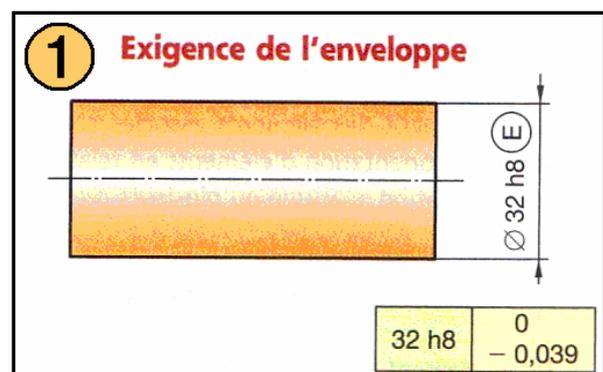
Remarque :

Aucune valeur du tolérancement géométrique éventuel ne peut être supérieure à la valeur de la tolérance dimensionnelle.

• Principe :

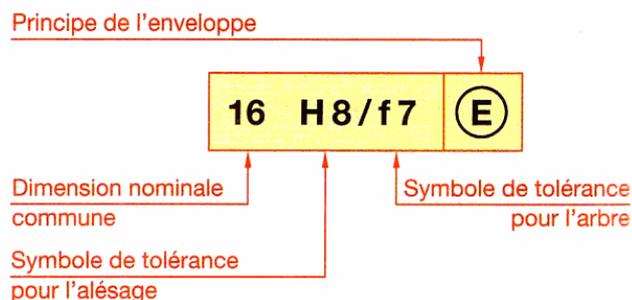
Pour un élément isolé, soit un cylindre de révolution, soit un élément établi par deux plans parallèles :

- *l'enveloppe de forme parfaite à la dimension au maximum de matière ne doit pas être dépassée ;*
- *les dimensions locales ne doivent pas être inférieures à la valeur minimale admissible.*

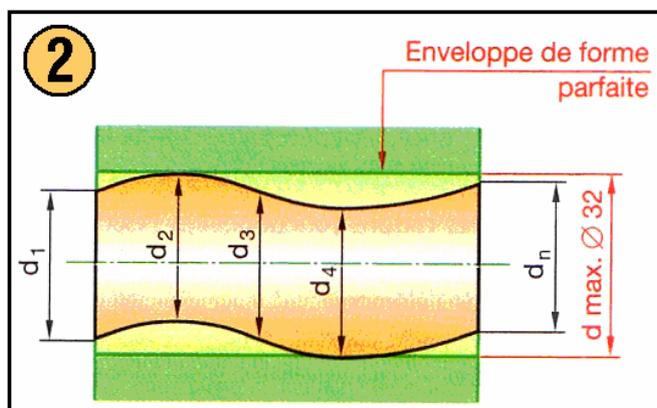


• Indication sur les dessins

Faire suivre la valeur de la tolérance dimensionnelle du symbole \textcircled{E} .

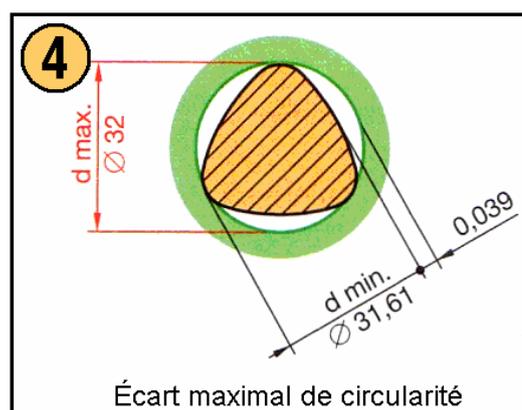
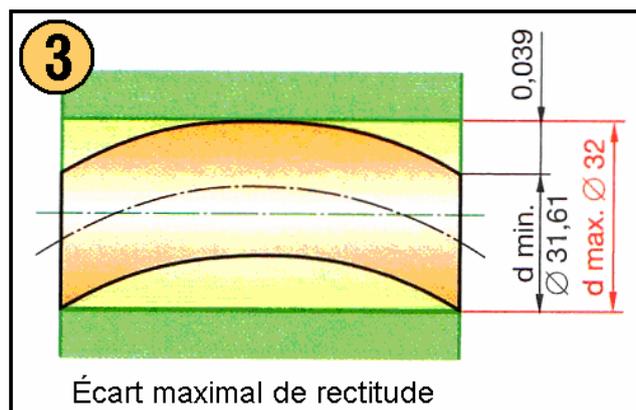


• Signification



Écart dimensionnel

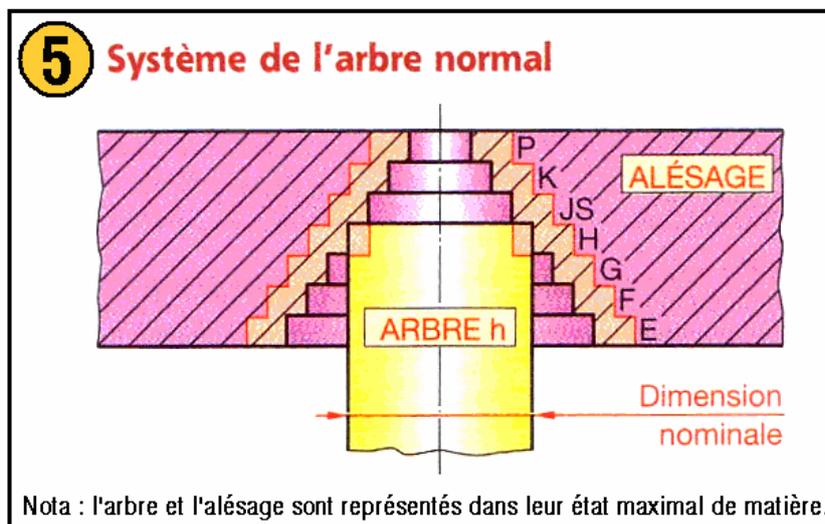
d_1, d_2, \dots, d_n = dimensions locales comprises entre 31,61 et 32.



1.1 Système de l'arbre normal

Dans ce système (fig. 5) la position pour les intervalles de tolérances de tous les arbres est donnée par la **lettre h** (écart supérieur nul).

L'ajustement désiré est obtenu en faisant varier pour l'alésage la position de l'intervalle de tolérance. L'emploi de ce système est réservé à des applications bien définies emploi d'arbre en acier étiré, logements des roulements, etc.

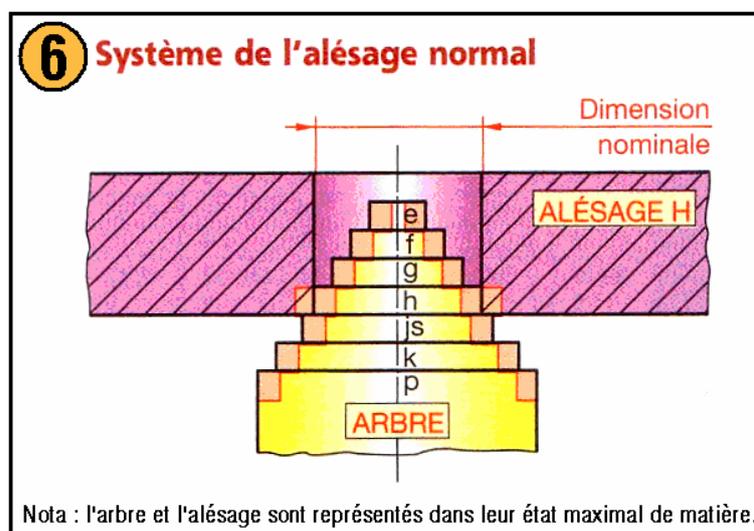


- **Système de l'alésage normal**

Dans ce système (fig. 6), la position, pour les intervalles de tolérances, de tous les alésages est donnée par la **lettre H** (écart inférieur nul).

L'ajustement désiré est obtenu en faisant varier pour l'arbre la position de l'intervalle de tolérance.

C'est ce système que l'on doit toujours employer de préférence (il est plus facile de réaliser des tolérances différentes sur un arbre que dans un alésage).



- **Relation entre les ajustements de deux systèmes**

Les ajustements homologues des deux systèmes présentent les mêmes jeux ou serrages.

Par exemple : l'ajustement **30 H7/f7** donne les mêmes jeux que l'ajustement **30 F7/h7**.

Remarque :

Afin de faciliter l'usinage des pièces, on associe habituellement un alésage de qualité donnée avec un arbre de qualité voisine inférieure.

Exemple : H7/p6 — P7/h6.

- **Choix d'un ajustement**

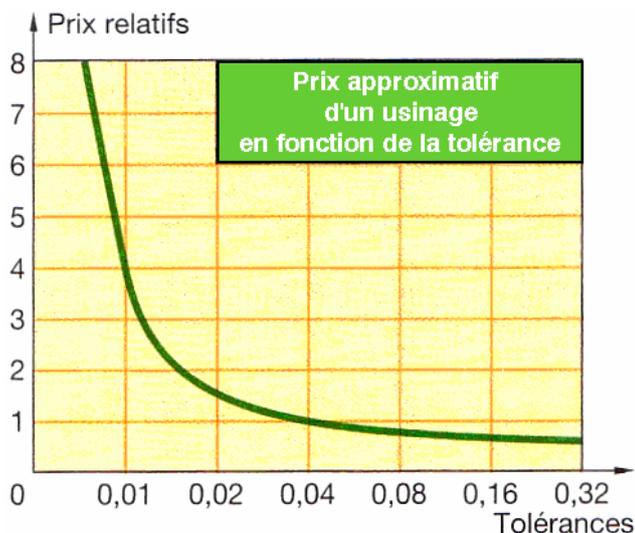
Pour les applications usuelles l'utilisation du tableau 1 est suffisante.

Principaux ajustements			Arbres*	H 6	H 7	H 8	H 9	H 11		
Pièces mobiles l'une par rapport à l'autre	Pièces dont le fonctionnement nécessite un grand jeu (dilatation, mauvais alignement, portées très longues, etc.).		c				9	11		
			d				9	11		
	Cas ordinaire des pièces tournant ou glissant dans une bague ou palier (bon graissage assuré).		e		7	8	9			
			f	6	6-7	7				
Pièces avec guidage précis pour mouvements de faible amplitude.		g	5	6						
Pièces immobiles l'une par rapport à l'autre	Démontage et remontage possible sans détérioration des pièces	L'assemblage ne peut pas transmettre d'effort	Mise en place possible à la main		h	5	6	7	8	
			Mise en place au maillet		js	5	6			
					k	5				
	Démontage impossible sans détérioration des pièces		L'assemblage peut transmettre des efforts	Mise en place à la presse		m		6		
				Mise en place à la presse ou par dilatation (vérifier que les contraintes imposées au métal ne dépassent pas la limite élastique)		p		6		
						s			7	
						u			7	
					x		7			

Méthode générale

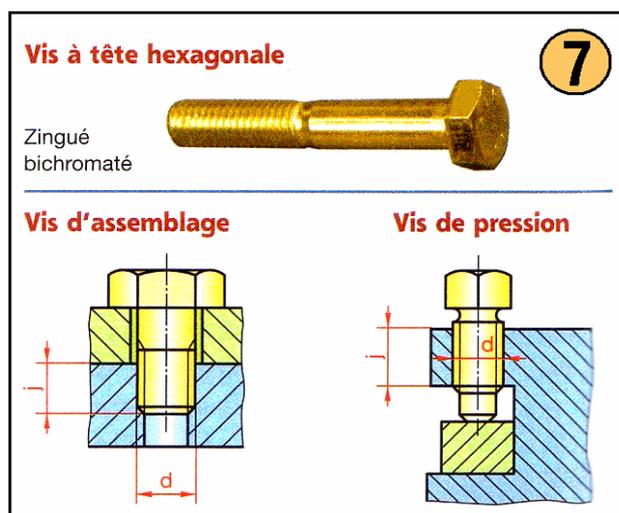
1° On détermine les jeux ou serrages limites compatibles avec un fonctionnement correct (éviter tout excès de précision inutile, voir diagramme ci-dessous).

2° On choisit dans les normes, et de préférence, dans les valeurs les plus couramment utilisées, l'ajustement ISO qui comporte des jeux ou serrages aussi voisins que possible des valeurs précédemment déterminées.



2. Vis de fixation

Les vis de fixation (fig.7) servent à réunir plusieurs pièces par pression des unes sur les autres.



Deux modes d'action sont utilisés :

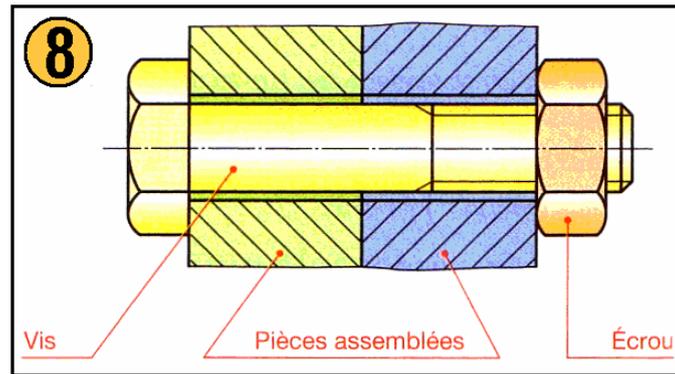
- la pression est exercée par la tête (vis d'assemblage) ;
- la pression est exercée par l'extrémité (vis de pression).

Toutes les vis de fixation ont les mêmes dimensions quel que soit le matériau métallique ou plastique.

3. Écrous

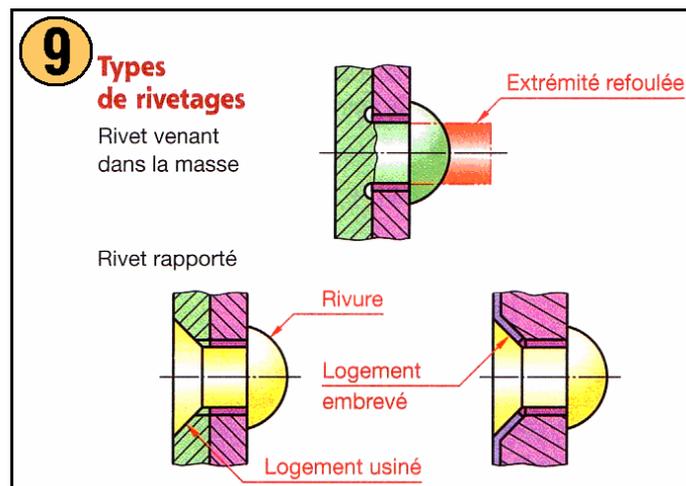
Toute pièce ayant un trou taraudé fait fonction d'écrou. Par l'intermédiaire d'une tige filetée, un écrou peut servir :

- soit d'écrou d'assemblage (fig. 8) ;
- soit d'écrou de transformation de mouvement (écrou d'étau par exemple).



4. Assemblages rivetés

Les assemblages rivetés (fig. 9) permettent d'obtenir économiquement une **liaison encastrement indémontable** d'un ensemble de pièces par refoulement ou par expansion de matière d'un élément malléable (aluminium, alliages d'aluminium, cuivre, laitons, aciers doux, aciers inoxydables, alliages de zinc...).



On distingue essentiellement le rivetage avec ou sans rivet rapporté, le sertissage et le clinchage.

5. Goupilles

Une goupille est une cheville métallique. Elle sert notamment :

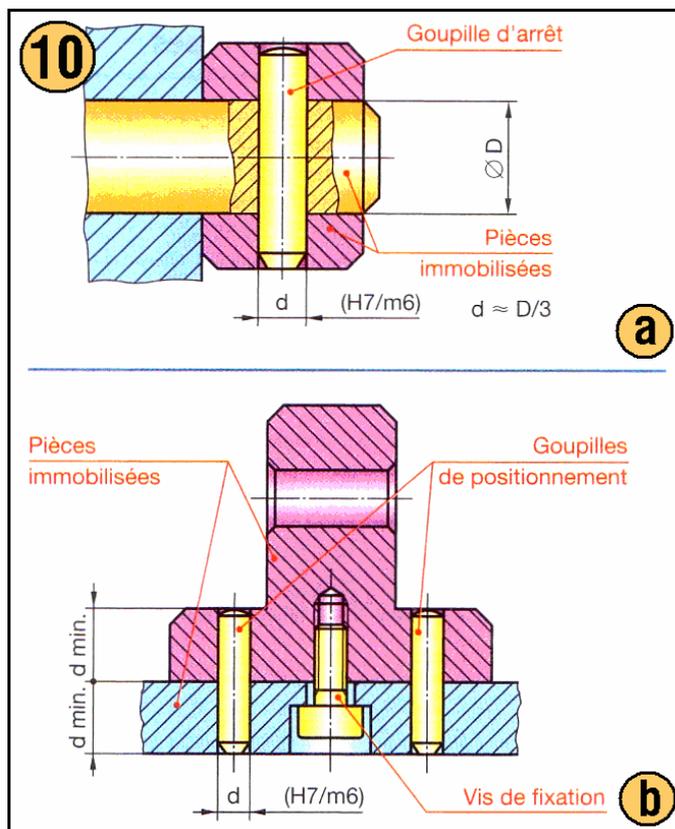
- à immobiliser une pièce par rapport à une autre pièce (goupille d'arrêt, fig. 10 a) ;
- à assurer la position relative de deux pièces (goupille de positionnement ou pied de positionnement, fig. 10 b) ;

Les goupilles de positionnement s'emploient à l'unité (s'il existe par ailleurs un autre centrage) ou par deux, jamais davantage.

- à réaliser un axe de chape ;
- à assurer une sécurité par cisaillement de la goupille en cas de surcharge, etc.

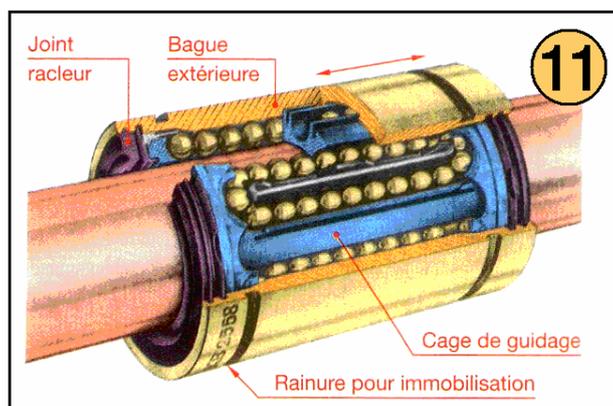
Afin de faciliter l'usinage et le démontage :

- éviter les trous longs et de petits diamètres ;
- faire de préférence des trous débouchants.



6. Guidages linéaires

Les guidages linéaires (fig.11) à éléments roulants présentent des avantages comparables à ceux des roulements pour mouvements de rotation.

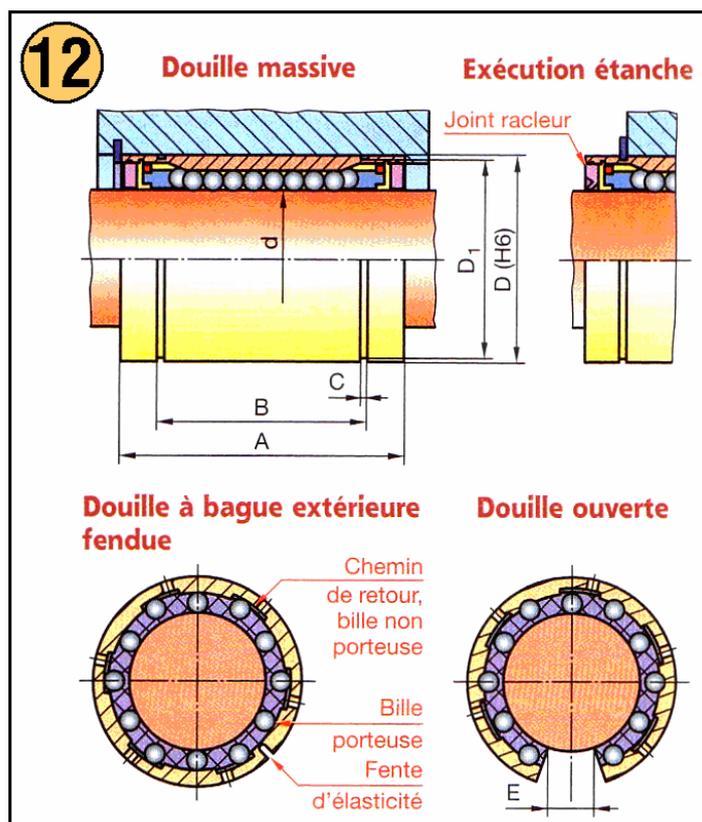


• Douilles à billes

Les douilles à billes (fig. 12) conviennent pour n'importe quelle longueur de course. Par contre, elles n'admettent pas les mouvements de rotation.

On distingue trois types de douilles :

- les douilles massives : elles présentent un jeu fonctionnel d'environ 0,1 mm ;
- les douilles à bague extérieure tendue elles permettent un réglage du jeu fonctionnel ;
- les douilles ouvertes : elles peuvent se fixer sur un support continu il est ainsi possible de remédier à la flexion des arbres de grande longueur.

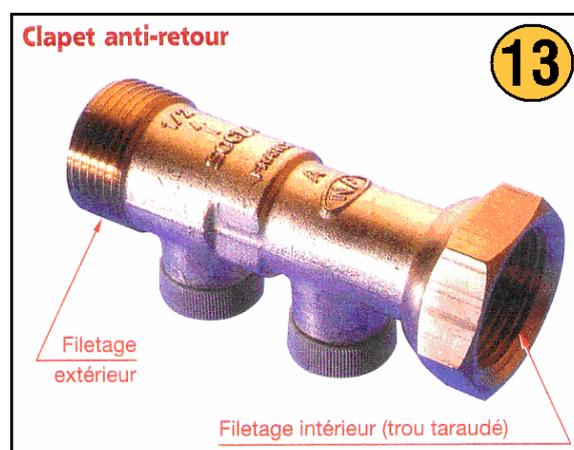


7. Filetages

Un filetage est obtenu à partir d'un cylindre (quelquefois d'un cône) sur lequel on a exécuté une ou plusieurs rainures hélicoïdales. La partie pleine restante est appelée **filet**.

On dit qu'une tige est « filetée extérieurement » ou « **filetée** » et qu'un trou est « filetée intérieurement » ou « **tarauté** » (fig. 13).

Une tige filetée est aussi appelée **vis** et un trou taraudé **écrou**.



Le système vis-écrou permet :

- d'assembler d'une manière démontable deux pièces (liaison des roues d'une voiture par exemple) ;
- de transmettre un mouvement (vis d'étai par exemple).

L'emploi de filetages est permanent en construction mécanique.

7.1 Caractéristiques

La valeur des caractéristiques d'un filetage dépend de son utilisation.

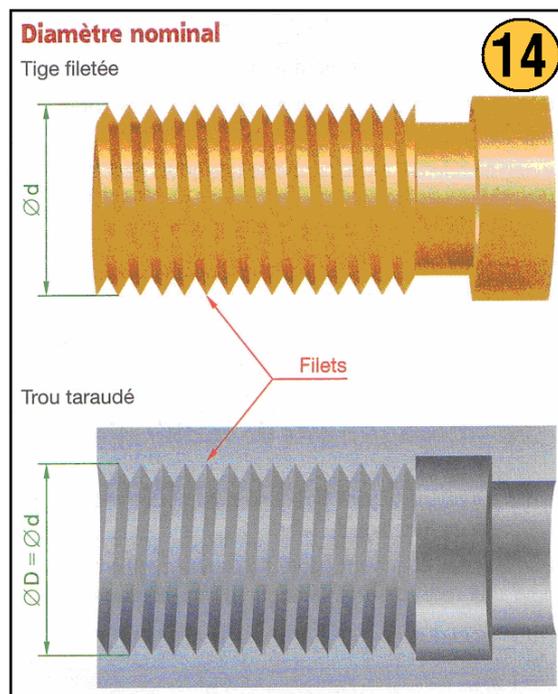
- **Diamètre nominal** (fig. 14)

Le diamètre nominal d'une vis, ou d'un écrou, est une notion utilisée pour la désignation.

La valeur du diamètre nominal correspond, aux tolérances près, au diamètre extérieur de la vis.

Par définition, la vis et l'écrou ont le même diamètre nominal :

$$d \text{ nominal} = D \text{ nominal}$$

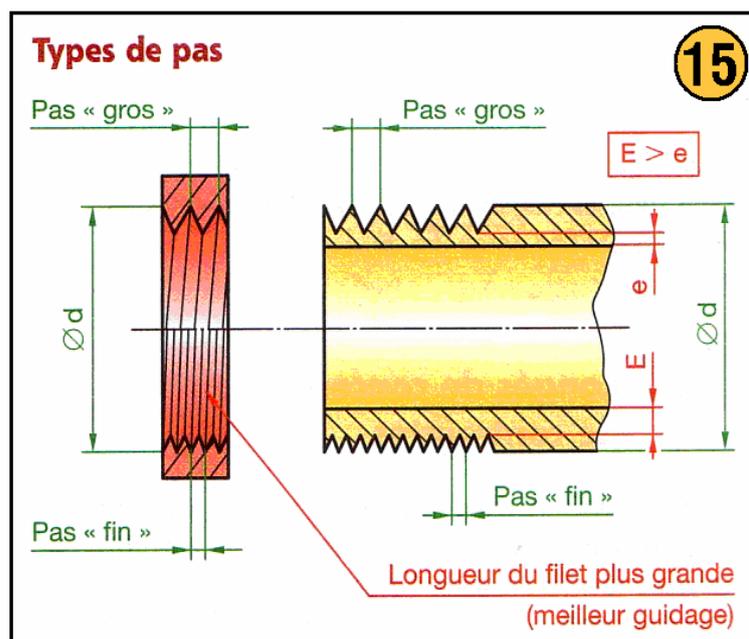


- **Pas** (fig. 15)

Le pas est la distance qui sépare deux sommets consécutifs d'une même hélice.

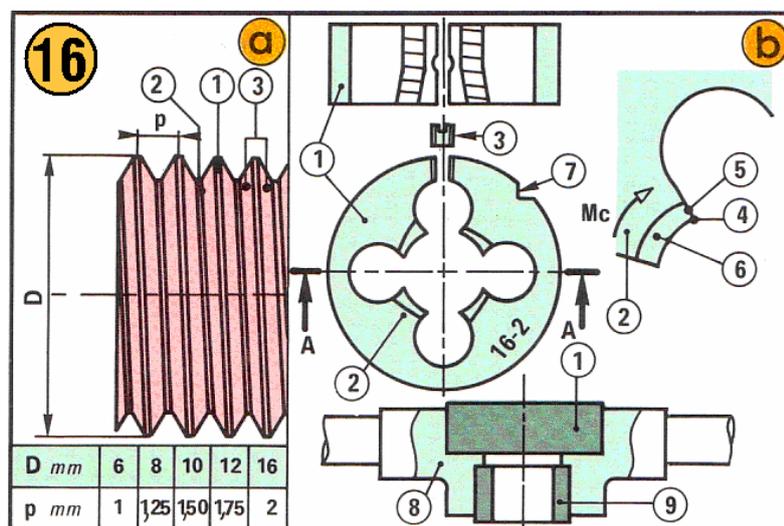
Les normes ont prévu avec chaque diamètre nominal un **pas usuel ou pas gros** (boulonnerie du commerce) et un petit nombre de **pas fins d'emploi exceptionnel** (filetage sur tube mince, écrou de faible hauteur, vis d'appareil de mesure).

A diamètre nominal égal, **plus un pas est fin, plus les tolérances sont réduites**, d'où une fabrication plus onéreuse.



7.2 Production des filets de vis

Sur un cylindre calibré, le filetage produit un met de vis dont la fonte et les dimensions normalisées sont adoptées par de nombreux pays (système M ; I.S.O.). La production en série est faite sur machines automatiques mais certains travaux unitaires doivent être faits avec des filières à main dont la plus simple est la filière ronde (fig. 16).



Filet normalisé. Filières

a) Filet triangulaire (60°).

- (1) Sommet ; (2) Fond ;
- (3) Flancs.

b) Filière ronde expansible (1).

- (2) Peignes profilés réglables par la vis conique (3) ; (4) Arête tranchante ; (5) Surface d'attaque ; (6) Surface profilée ; (7) Encoche d'entraînement ; (8) Porte-filière ; (9) Guide cylindrique.

- **Filières rondes**

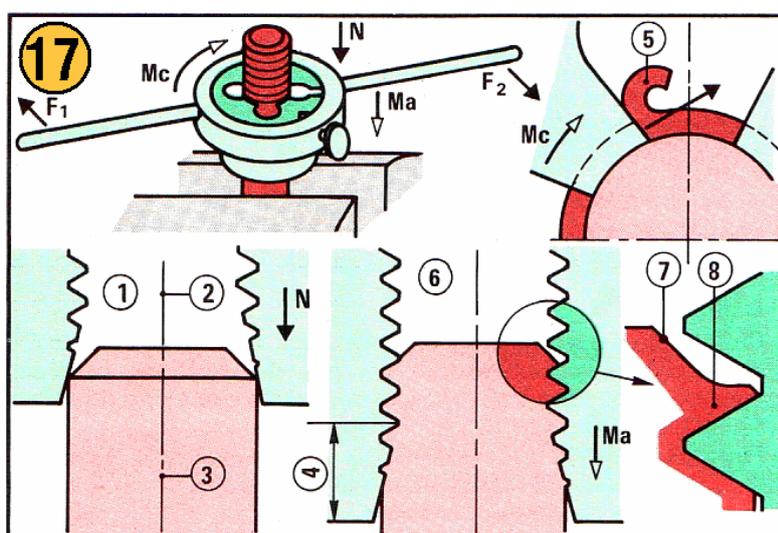
Les rainures internes déterminent des peignes (*acier trempé*) de profil correspondant à celui de la vis à obtenir ; sur chaque peigne, quelques filets sont abattus obliquement ; c'est l'entrée, qui assure la progressivité d'action de la filière ; une vis conique permet un très faible réglage du diamètre.

La filière est ajustée et fixée dans la cage d'un porte-filière, laquelle présente souvent un guide concentrique, amovible, calibré au diamètre de la pièce.

- **Mode d'action**

Avant filetage, l'entrée de la filière est en contact avec le chanfrein de la pièce ; les deux axes étant ainsi alignés, la filière subit simultanément un mouvement circulaire M_c en sens d'horloge et une pression axiale N , ce qui amorce le met (fig. 17).

Après amorçage et suppression de N , la filière se visse d'elle-même; l'entrée ébauche le filet (*les copeaux se forment sur les faces d'attaque*) alors que la partie profilée des peignes calibre le vis.



Filetage

Au début (1) les axes de la pièce (2) et de la filière (3) sont alignés, l'opérateur exerce une pression N et le couple F_1F_2 . L'entrée conique (4) de la filière amorce le filet, les copeaux (5) se forment sur les surfaces d'attaque. Ensuite (6), la filière se visse d'elle-même. Le chanfrein (7) réduit la bavure (8).

- **Production d'un filetage**

Jusqu'à M16, le filetage est produit en une seule passe si la filière est bien réglée.

7.3 Filetage à la main

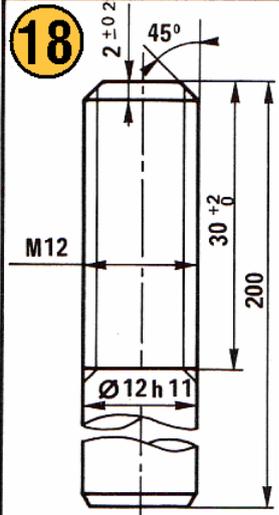
Analyse des opérations de la fig. 18 : filetage M12 de longueur 30 mm sur pièce calibrée et chanfreinée.

- **Déterminer le processus**

Les données permettent le filetage M 12 en une passe.

- **Fixer la pièce dans l'étau**

Il est préférable de la situer verticalement et dépassant de la longueur nécessaire.

	OPÉRATIONS		OUTILLAGE	CONTRÔLE
	1	Contrôler la pièce		Calibre à coulisse
	2	Choisir la filière le guide les monter dans le porte-filière	Filière M12 Ø12	
	3	Serrer la pièce - dépassement : 50 mm, axe vertical		Réglet
	4	Fileter sur l = 30	Huile Pinceau Filière	Bague filetée M12 Réglet
PORTE BUTÉE		Acier étiré, R = 40 hbar		

Instructions détaillées

Le porte-butée est en acier étiré calibré à 12h11 (Ø maximal 12 mm ; Ø minimal 11,89 mm). L'extrémité doit être filetée à M12 (normalisation: D nominal = 12 mm ; pas du filetage P = 1,75 mm) sur longueur maximale 32 mm, minimale 30 mm. Le chanfrein doit être usiné avant filetage.

• **Choisir la filière**

Le diamètre et le pas sont inscrits sur la filière. Contrôler l'état des peignes et le réglage du diamètre : la filière doit se visser à la main, sans jeu, sur une pièce type. Immobiliser la filière dans le porte-filière, l'entrée du côté du guide.

• **Fileter**

Lubrifier la pièce avec une huile épaisse. Engager le guide sur la pièce, et amorcer le filet en manoeuvrant la porte-filière pression axiale N et rotation très lente Mc, en sens d'horloge (fig. 17).

Après amorçage, fileter (*suppression de N*) en brisant les copeaux par de fréquentes inversions de rotation (*un quart de tour*) et en lubrifiant. Lorsque la pièce est filetée sur la longueur désirée, dévisser la filière.

Les flancs du filet doivent être polis et le sommet du met de largeur régulière ; une bague filetée étalon doit se visser sans jeu sur la longueur désirée.

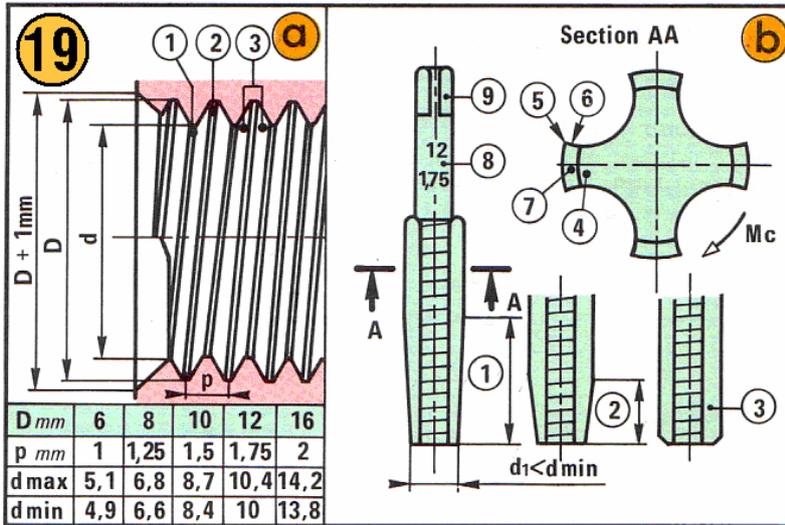
7.4 Production des filets d'écrous (tarudage)

Dans un trou cylindrique calibré, le tarudage produit un filet d'écrou normalisé. Il est préférable de tarauder mécaniquement, mais certains travaux unitaires nécessitent encore le tarudage à la main, à l'aide d'un jeu de tarauds.

• **Tarauds**

Les rainures externes déterminent des peignes (acier trempé), de profil correspondant à celui de l'écrou à obtenir ; sur chaque peigne, plusieurs filets sont abattus obliquement c'est l'entrée, qui assure la progressivité d'action du taraud (fig. 19).

Pour l'utilisation, le taraud est fixé dans un tourne-à-gauche, ajusté sur le carré d'entraînement.



Filet normalisé. Tarauds

a) Filet triangulaire (60°).

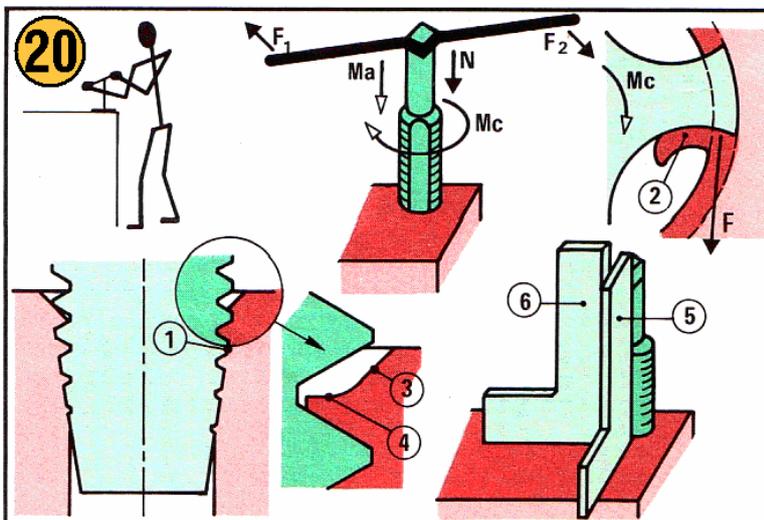
(1) Sommet; (2) Fond; (3) Flancs.

b) Jeu de trois tarauds.

(1) Ebaucheur à entrée longue; (2) demi-finiisseur à entrée moyenne; (3) finisseur; (4) Peigne profilé; (5) Arête tranchante; (6) Surface d'attaque; (7) Surface profilée; (8) Collet; (9) Carré d'entraînement.

• **Mode d'action**

Avant taraudage, l'entrée du taraud est engagée dans le trou; les deux axes étant ainsi alignés, le taraud subit simultanément un mouvement circulaire M_c , en sens d'horloge, et une pression axiale N , ce qui amorce le filet. Après amorçage et suppression de N , le taraud se visse de lui-même; l'entrée ébauche le filet (*les copeaux se forment sur les faces d'attaque*), alors que la partie profilée calibre l'écrou (fig. 20).



Taraudage

Au début, le cône d'action (1) du taraud ébaucheur amorce le filet, les copeaux (2) se forment. Ensuite, le taraud se visse de lui-même. La fraisure (3) réduit la bavure (4). La perpendicularité, qui doit être assurée avant engagement complet du cône d'action, est contrôlée suivant deux directions (5), (6).

• **Production d'un trou taraudé**

La fragilité des tarauds et l'irrégularité des efforts exercés par l'opérateur nécessitent une production progressive grâce à trois tarauds à entrée longue (ébauche), moyenne (1/2 finition), courte (finition).

7.5 Taraudage à la main

Analyse des opérations de la fig. 21 taraudage M12 dans un trou calibré et chanfreiné.

		OPÉRATIONS	OUTILLAGE	CONTRÔLE
		1	Contrôler la pièce	
2	Choisir les tarauds le tourne-à-gauche	Tarauds M12		
3	Serrer la pièce - dépassement : 5 mm axe du trou vertical			
4	Tarauder M12 Ebauche 1/2 Finition Finition	Huile Pinceau Tarauds n° 1 n° 2 n° 3	Equerre Tampon fileté M12	
CALE		Acier, R = 65 hbar		

Instructions détaillées

Le trou doit être taraudé à M12 (*normalisation* : $D_{nominal} = 12\text{ mm}$; *pas du taraudage* $P = 1,75\text{ mm}$) ; le taraudage perpendiculaire aux faces de la pièce, doit être utilisable sur toute l'épaisseur. Le trou doit être percé à $\varnothing 10,4\text{ mm}$; les deux fraises à $\varnothing 13\text{ mm}$ doivent être produites avant taraudage.

• **Déterminer le processus**

Utiliser successivement les tarauds n° 1, 2 et 3.

• **Fixer la pièce dans l'étau**

Situer l'axe du trou verticalement en laissant accessible la référence de la pièce.

• **Choisir les tarauds**

Le diamètre et le pas sont inscrits sur le collet de chaque taraud. Contrôler l'état des peignes. Choisir et monter le tourne-à-gauche sur le taraud n° 1.

• **Tarauder**

Lubrifier le taraud à l'huile épaisse. Engager l'entrée du taraud dans le trou et amorcer le filet en manoeuvrant le tourne-à-gauche pression axiale N et rotation très lente Mc, en sens d'horloge (fig. 20).

Après amorçage, contrôler la perpendicularité du taraud avec la référence de la pièce; relever le sens du défaut et reprendre la rotation (*suppression de N*) en exerçant un léger effort perpendiculaire à l'axe pour corriger le défaut ; contrôler à nouveau et rectifier, si nécessaire ; l'orientation du taraud n° 1 doit être correcte avant pénétration totale de l'entrée.

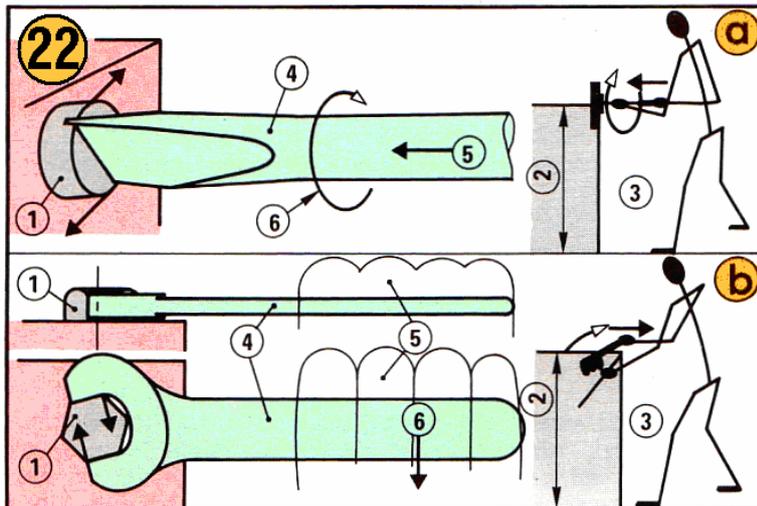
Tarauder en lubrifiant : le taraud se visse de lui-même ; briser de temps à autre les copeaux par rotation en sens inverse (*un quart de tour*) ; traverser la pièce avec le taraud (collet dégagé) ou dévisser le taraud (*collet non dégagé*) ; passer ensuite les tarauds n° 2 et 3, en les vissant d'abord à la main.

Les flancs du filet doivent être polis et le sommet du filet de largeur régulière ; un tampon fileté étalon doit se visser sans jeu dans l'écrou ainsi produit.

8. Assemblage par vissage

8.1 Vissage, serrage, blocage

Dans les travaux d'assemblage en série, l'élément normalisé à bloquer (*vis ou écrou*) est vissé, serré et bloqué mécaniquement (boulonneuse, visseuse). Dans les autres cas, le couple exercé par la main suffit pour visser alors que les clés et tournevis normalisés assurent un couple plus grand nécessaire pour serrer et bloquer (fig. 22).



Serrage et blocage

(1) Vis ; (2) Hauteur favorable ; (3) Positions de l'opérateur.

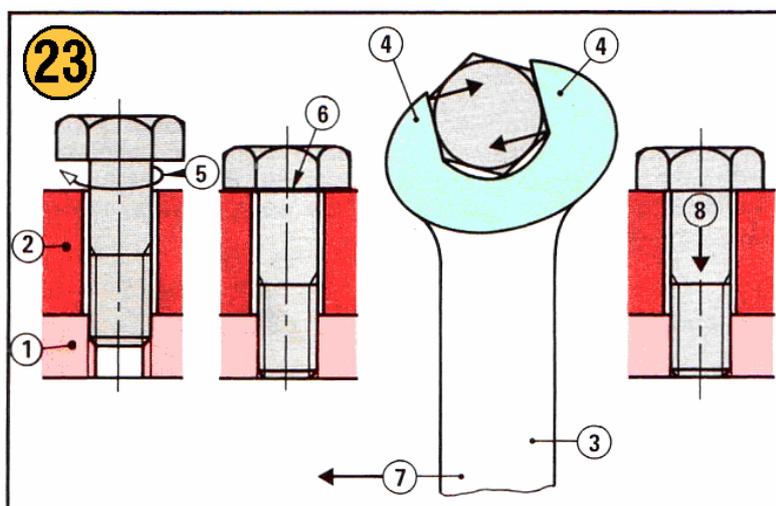
a) Tournevis.

(5) Poussée axiale ; (6) Rotation par action manuelle alignement des axes de la vis et du tournevis (4).

b) Clé. (5) Position de la main ; (6) Effort manuel la poignée de la clé (4) est perpendiculaire à l'axe de la vis.

• Étude du blocage

Le vissage (*sens d'horloge*) est facile, grâce aux jeux dans le trou de passage et entre filets de vis et d'écrou ; en fin de vissage la tête de vis (*ou l'écrou*) est en contact avec la pièce (fig. 23).



Étude du blocage

Pièces avec trou taraudé (1), de passage (2). La clé (3) présente deux mâchoires (4). Le vissage à la main (5) est limité par le contact (6) entre pièce et tête de vis. L'effort manuel (7) sur la clé détermine le couple de serrage sur la tête de vis. L'effort (8), résultant du couple de blocage, assure l'assemblage.

Pendant le serrage, l'effort normal de l'opérateur sur l'outil de serrage produit un couple de serrage tel que la vis (*ou l'écrou*) se visse encore d'une fraction de tour le corps de la vis subit une traction et s'allonge légèrement (*élasticité*), la pièce est comprimée et un frottement

important a lieu entre les surfaces de contact (*pièce-tête de vis ou écrou, flancs de filets de vis et d'écrou*).

En fin de serrage, c'est le blocage ; l'opérateur exerce son effort maximal : tous les effets ci-avant sont maximaux (*un léger graissage préalable empêche le grippage des surfaces en contact*) et le blocage est assuré ; lorsque l'opérateur cesse son effort, la vis (*ou l'écrou*) reste bloquée.

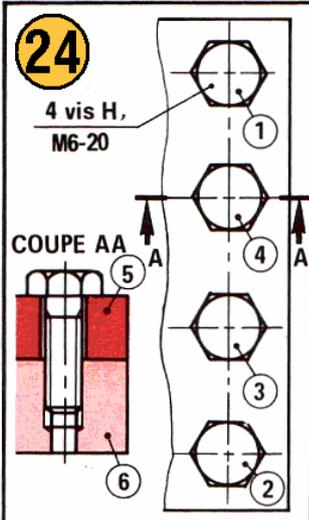
- **Réalisation du blocage**

Vis à tête hexagonale. Tenir la clé de la main droite ; l'engager à fond sur la tête de la vis, perpendiculairement à l'axe, de façon telle que le mouvement de serrage soit dirigé vers l'opérateur. Serrer puis bloquer par action d'une seule main (*jusqu'à M 16*).

Vis à tête cylindrique. La main droite, tenant l'extrémité du manche du tournevis, assure et maintient l'engagement de la lame dans la fente ainsi que la rotation du tournevis en sens d'horloge. Le tournevis tourne aisément si son axe est confondu avec celui de la vis. Pour serrer et bloquer, l'action de la main droite suffit jusqu'à M6.

8.2 Assemblage

Analyse des opérations de la figure 24 : assembler deux pièces par quatre vis H, M6-20.

		OPÉRATIONS	OUTILLAGE	CONTRÔLE
		1 Nettoyer les pièces	Chiffon	Visuel
2 Aligner les pièces		Visuel		
4 Huiler les 4 vis H, M 6-20	Huile			
5 Visser à la main la vis ① puis les vis ②, ③, ④				
6 Serrer les vis dans l'ordre ① ② ③ ④	Clé normalisée	Contact entre pièces, entre têtes de vis et pièces.		
7 Bloquer les vis dans l'ordre ① ② ③ ④				
VISSAGE				

Instructions détaillées

Les VIS normalisées (1) (2) (3) (4) à tête hexagonale, à corps fileté M6 de longueur 20 mm sous tête, assemblent les pièces (5) (trous de passage Ø 7) et (6) (trous taraudés M6). Il faut s'assurer que toutes les vis peuvent se visser avant de serrer et de bloquer l'une d'elles.

- **Contrôler les éléments**

Contrôler l'identité de diamètre des trous taraudés et des vis, la longueur des vis, le diamètre des trous de passage, l'alignement des trous de passage et des trous taraudés, la propreté des surfaces, l'absence de bavures, le graissage des vis.

- **Déterminer le processus**

Aligner les pièces, les trous ; maintenir l'alignement ; visser, serrer, bloquer.

- **Choisir la clé**

Sélectionner la clé normalisée pour vis H, M6.

- **Visser**

Visser (1) et (2) aux extrémités, pour maintenir l'alignement; visser (8) (4).

- **Serrer, bloquer**

Serrer dans l'ordre (1) (2) (3) (4) afin de constater la possibilité de l'opération ; bloquer dans le même ordre.

- **Contrôler**

Après blocage, les plats des têtes de vis ne doivent pas être détériorés ; les pièces doivent être solidaires et les surfaces portantes en contact parfait.

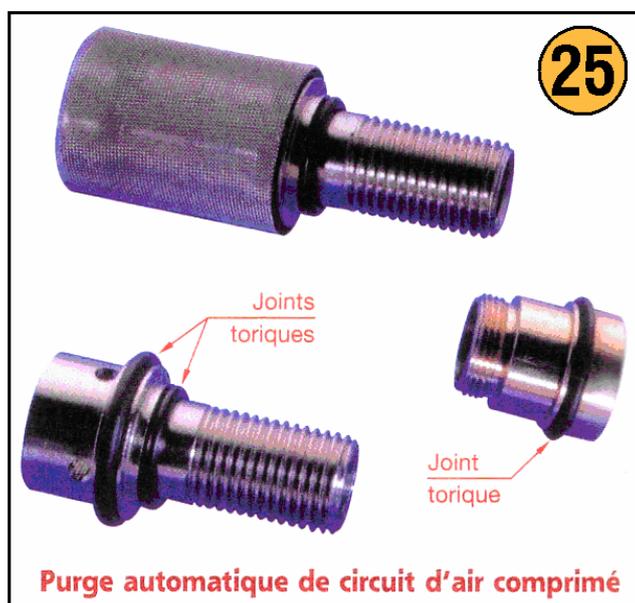
9. Joints d'étanchéité

Les joints sont utilisés pour obtenir l'étanchéité d'une enceinte d'un mécanisme.

On distingue :

- l'étanchéité statique entre deux pièces sans mouvement relatif ;
- l'étanchéité dynamique entre deux pièces ayant un mouvement relatif.

Il faut également tenir compte des conditions de fonctionnement pression, température, fluide à étancher, vitesse, état de surface, etc.



9.1 Joints plats de forme quelconque (fig.26)

Les joints plats sont généralement découpés à partir d'un matériau en feuilles et ils conviennent pour des étanchéités statiques.

Choisir un joint plat, c'est déterminer son épaisseur et sa matière.

- **Détermination de l'épaisseur**

L'épaisseur d'un joint plat dépend essentiellement de la rugosité des surfaces sur lesquelles il s'applique. L'épaisseur du joint décroît si la rugosité des surfaces diminue.

D'une manière générale, l'épaisseur d'un joint plat est choisie aussi faible que possible.

On réduit ainsi :

- les effets exercés par la pression sur la tranche du joint ;
- le prix du joint.

- **Choix du matériau**

On choisit habituellement les joints confectionnés en matières qui satisfont le mieux aux exigences de fonctionnement : fluide à étancher, température, etc. et dont le prix est le plus bas.

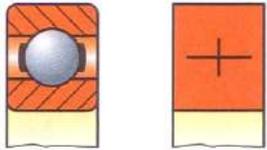
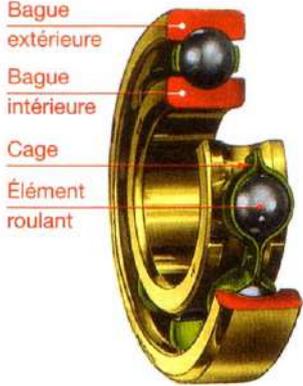
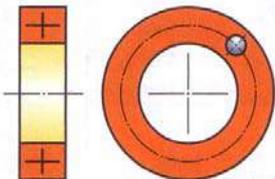
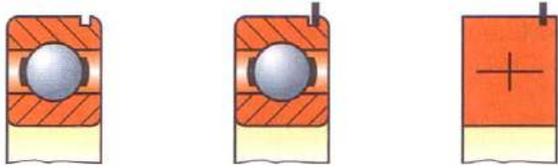
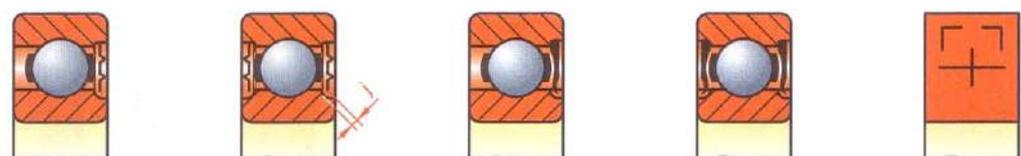
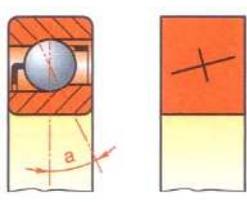
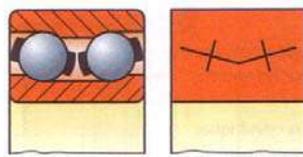


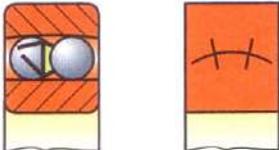
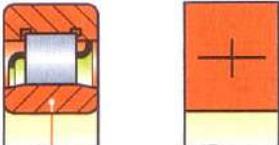
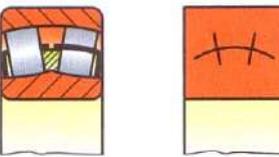
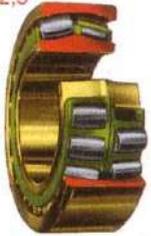
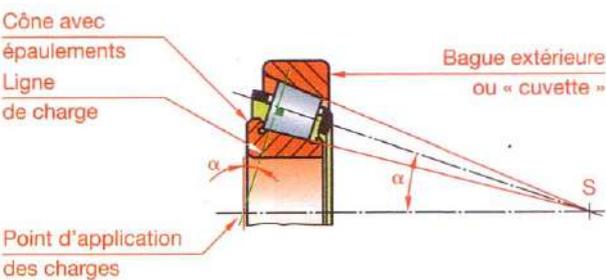
10. Roulements

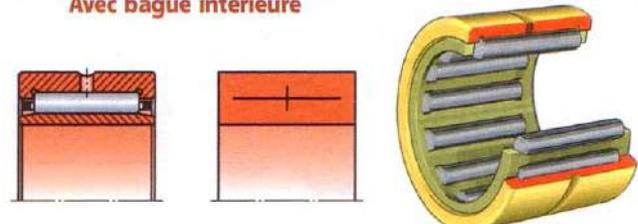
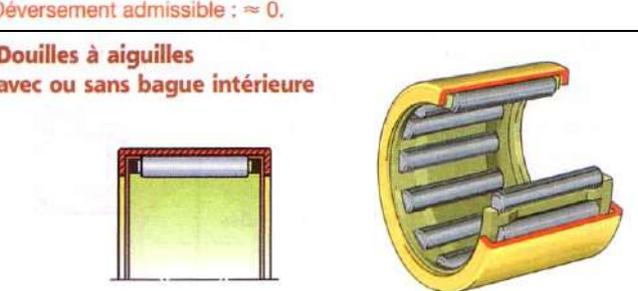
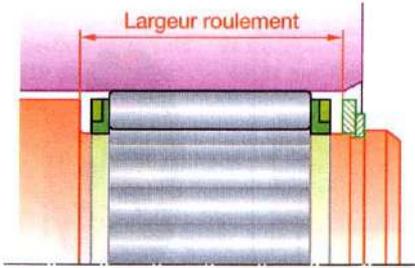
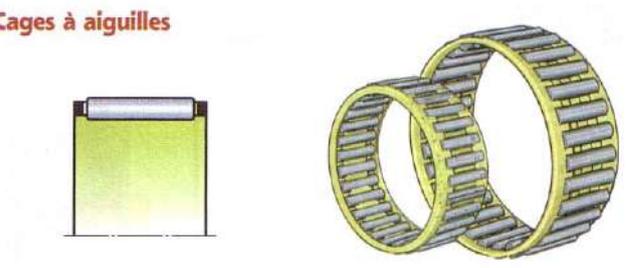
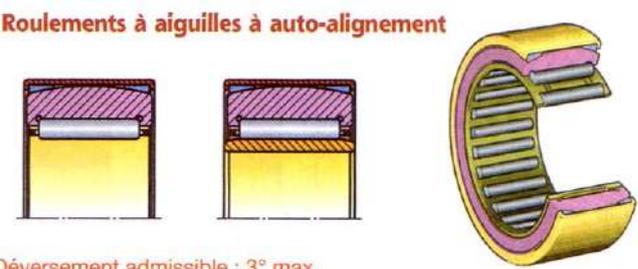
ISO 492 – ISO 15 – ISO 104 – ISO 355 – ISO 5593 – NF EN ISO 8826

La fonction d'un **roulement** est de permettre à deux éléments d'être en rotation l'un par rapport à l'autre avec une précision et avec un frottement optimisé, en remplaçant un glissement par un roulement.

9.1 Principaux types de roulements

Roulements à une rangée de billes, à contact radial		
<ul style="list-style-type: none"> Ces roulements supportent des charges radiales et axiales relativement importantes. Ils exigent une bonne coaxialité des portées de l'arbre d'une part et des alésages des logements d'autre part. C'est un type de roulement très employé. 	<p>Représentations complète simplifiée</p> 	 <p>Déversement admissible (rotulage) : 2' à 10'</p>
<p>En fonction des besoins, on utilise :</p> <ul style="list-style-type: none"> soit une représentation simplifiée générale valable pour les types de roulement ; soit une représentation simplifiée spécifique à chaque type de roulement. 		
<p>Ces roulements existent en trois variantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> avec une rainure dans la bague extérieure pour maintien par segment d'arrêt ; avec protection latérale par un ou deux flasques ; avec protection latérale par un ou deux joints (lubrification à vie). 	<p>Avec rainure Avec rainure et segment d'arrêt Représentation conventionnelle</p> 	
	<p>Protection d'un seul côté par flasque Protection des deux côtés par flasques Protection d'un seul côté par joint Protection des deux côtés par joints Représentation simplifiée*</p> 	
Roulements à une rangée de billes, à contact oblique		
<ul style="list-style-type: none"> Ces roulements supportent des charges axiales relativement élevées dans un seul sens, ou des charges axiales et radiales combinées. En général, ils ne sont pas démontables. Ils conviennent pour de grandes fréquences de rotation. Ils demandent une bonne coaxialité des portées. 		<p>Déversement admissible : ≈ 0.</p> 
Roulements à deux rangée de billes, à contact oblique		
<ul style="list-style-type: none"> Ces roulements supportent des charges radiales assez importantes et des charges axiales alternées. Les fréquences admissibles de rotation sont plus faibles que celles des roulements à une rangée de billes. Ils exigent une très bonne coaxialité des portées. 		<p>Déversement admissible : ≈ 0</p> 

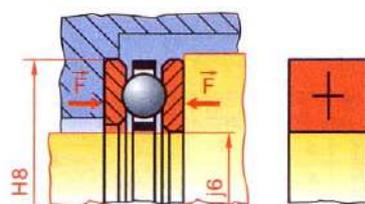
Roulements à deux rangées de billes, à rotule dans la bague extérieure		
<ul style="list-style-type: none"> • Ces roulements supportent des charges radiales moyennes et des charges axiales faibles. • Ils conviennent pour de grandes fréquences de rotation. • Ils sont utilisés lorsque l'alignement précis des paliers est difficile. 		<p>Déversement admissible : 1,5° à 3°</p> 
Roulements à rouleaux cylindriques		
<ul style="list-style-type: none"> • Ces roulements supportent des charges radiales élevées mais aucune charge axiale. • Ils conviennent pour de grandes fréquences de rotation. • Ils exigent une très bonne coaxialité des portées. 	 <p style="text-align: center;">Bague séparable</p>	<p>Déversement admissible : 2'</p> 
Roulements à deux rangées de rouleaux, à rotule dans la bague extérieure		
<ul style="list-style-type: none"> • Ces roulements supportent des charges radiales très importantes et des charges radiales et axiales combinées. • Les fréquences admissibles de rotation sont moyennes. • Ils sont utilisés lorsque l'alignement des paliers est difficile. 		<p>Déversement admissible : 1° à 2,5°</p> 
Roulements à rouleaux coniques		
<ul style="list-style-type: none"> • Ces roulements supportent des charges radiales et axiales relativement importantes. • Ils ne conviennent pas pour les grandes fréquences de rotation. • Ils exigent une très bonne coaxialité des portées. • La bague extérieure ou « cuvette » est séparable. • Les cônes formés par les chemins de roulement et les rouleaux coniques ont le même sommet S situé sur l'axe du roulement. • Ces roulements sont habituellement utilisés par paire et montés en opposition. • Ils permettent de régler le jeu de fonctionnement. • Ils sont utilisés pour des paliers de dimensions grandes et moyennes pour des mécanismes précis fortement sollicités. 	 <p style="text-align: center;">Bague séparable</p>	<p>Déversement admissible : 2'</p> 
	 <p style="text-align: center;">Cône avec épaulements Ligne de charge Point d'application des charges Bague extérieure ou « cuvette »</p>	

Roulements à aiguilles	
<p>CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les roulements à aiguilles supportent des charges radiales importantes sous un encombrement relativement réduit. Comme les roulements à rouleaux cylindriques comportant une bague sans épaulement ils ne supportent aucune charge axiale. • Ils conviennent pour de grandes fréquences de rotation. • Ils exigent une très bonne coaxialité des portées de l'arbre et une très bonne coaxialité des alésages des logements. • Ils résistent bien aux chocs. • Ils permettent un léger déplacement axial de l'arbre par rapport au logement. • La bague intérieure est séparable. • Ces roulements sont couramment utilisés : sans bague intérieure, sous forme de douilles à aiguilles ou de cages à aiguilles (sans bague extérieure et sans bague intérieure). L'encombrement est réduit, mais les surfaces de roulement doivent présenter une dureté et un état de surface suffisant (HRC min. = 57 ; Ra max. 0,2). • Les roulements à aiguilles avec étanchéité sont lubrifiés avec une graisse au lithium. • Les roulements à aiguilles sont utilisés pour les paliers de petites et moyennes dimensions soumis à des charges radiales importantes. 	<p style="text-align: center; color: #800000;">Avec bague intérieure</p>  <p style="text-align: center; color: #800000;">Sans bague intérieure Avec étanchéité d'un seul côté Avec étanchéité des deux côtés</p>  <p style="text-align: center; color: #800000;">Déversement admissible : ≈ 0.</p> <p style="text-align: center; color: #800000;">Douilles à aiguilles avec ou sans bague intérieure</p>  <p style="text-align: center; color: #800000;">Avec fond Avec étanchéité d'un seul côté Avec étanchéité des deux côtés</p> 
 <p style="text-align: center; color: #800000;">Largeur roulement</p>	<p style="text-align: center; color: #800000;">Cages à aiguilles</p> 
 <p style="text-align: center; color: #800000;">Léger déport axial admissible</p>	<p style="text-align: center; color: #800000;">Roulements à aiguilles à auto-alignement</p>  <p style="text-align: center; color: #800000;">Déversement admissible : 3° max.</p>

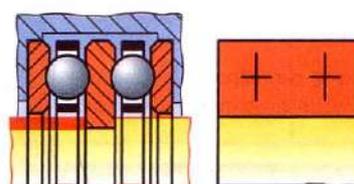
Butées à billes

- Les butées à billes ne supportent que des charges axiales relativement importantes.
Les butées à simple effet ne supportent que des charges axiales dans un seul sens.
Les butées à double effet sont conçues pour subir des charges axiales alternées.
- L'action de la force centrifuge sur les billes limite leur emploi à de faibles fréquences de rotation.
- Les butées à billes ne sont pas conçues pour guider un arbre en rotation.
Ce guidage doit être assuré par d'autres types de roulements.
- Les butées à billes conviennent particulièrement pour des arbres verticaux, fortement chargés axialement et tournant lentement.

À simple effet



À double effet



Bagues séparables

Roulements combinés à aiguilles et à billes

- Les roulements combinés à aiguilles et à billes sont utilisés pour des paliers fixes supportant des charges axiales et radiales.
- Les charges radiales sont supportées par les aiguilles et les charges axiales par les billes.
- Par rapport aux charges supportées, l'encombrement de ces roulements est très réduit.

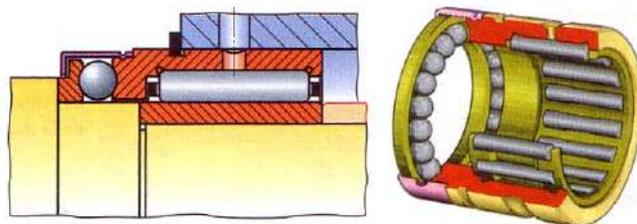
REMARQUES

L'encombrement des roulements type NX et type NKX peut encore être réduit par suppression de la bague intérieure.

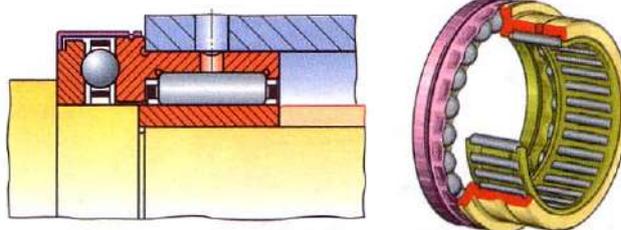
Dans ce cas, les surfaces de roulement doivent présenter, outre des caractéristiques géométriques suffisantes, une dureté RHC 57.

Afin de pouvoir supporter des charges axiales, les roulements type NKIA et type NKIB doivent obligatoirement être utilisés avec leur bague intérieure.

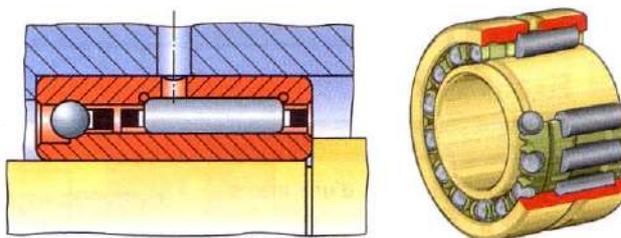
Type NX à simple effet (avec ou sans bague intérieure)



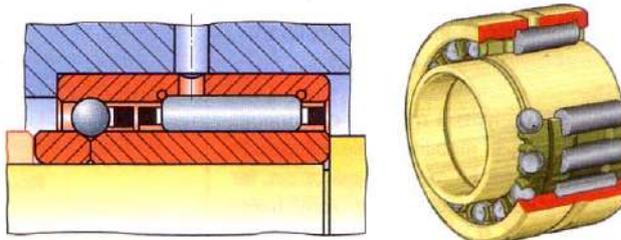
Type NKX à simple effet (avec ou sans bague intérieure)



Type NKIA à simple effet (avec bague intérieure)



Type NKIB à double effet (avec bague intérieure)

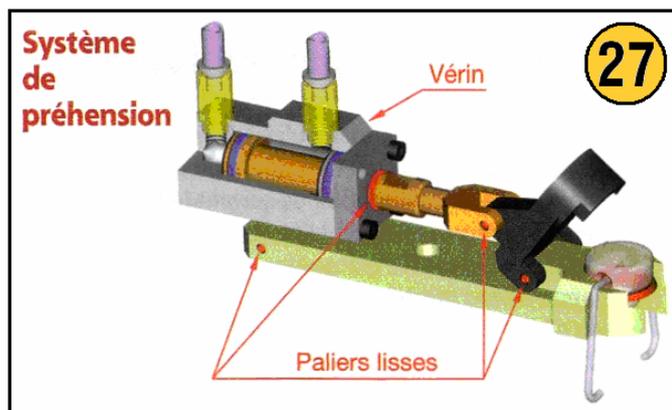


Tolérance de l'arbre pour roulement sans bague intérieure	
Type	Tolérance
NX - NKX	k6
Rugosité	$Ra \leq 0,2$
Circularité	25 % de k6
Parallélisme	50 % de k6

11. Paliers

Le **palier** est un organe mécanique capable de supporter et de guider un arbre tournant.

Les articulations sont des mécanismes de liaison, laissant certaines libertés de mouvements aux pièces assemblées.



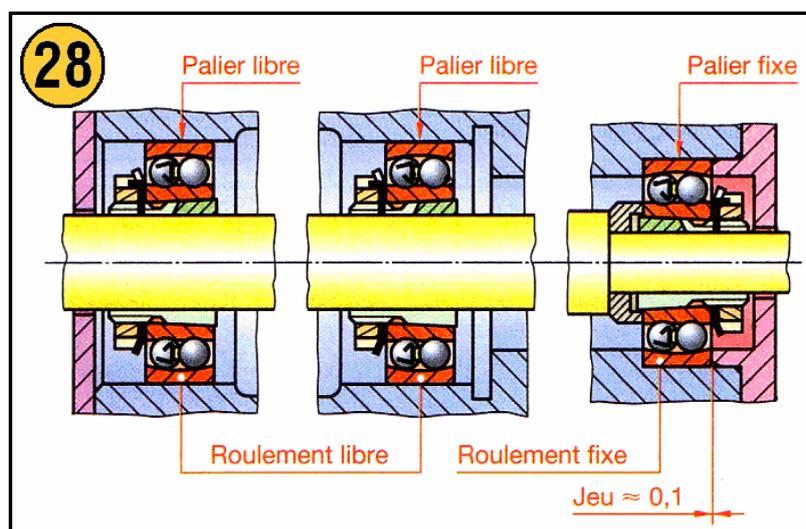
• Articulations avec roulement

Afin d'éviter aux roulements d'une même ligne d'arbre une opposition mutuelle due aux tolérances de fabrication ou aux dilatations, un seul palier, appelé « **palier fixe** », assure la position axiale de l'arbre.

Les autres paliers, appelés « **paliers libres** », prennent d'eux-mêmes leur place (fig. 28).

Remarque :

Pour les roulements à rouleau cylindriques ou à aiguilles, la mobilité axiale est assurée par le roulement lui-même. Dans ce cas, les deux bagues du roulement sont fixées.



- **Paliers compacts**

Ces paliers, de faible encombrement, sont constitués d'un corps en alliage d'aluminium et d'une douille à bague extérieure en tôle emboutie traitée.

Les billes circulent dans les ouvertures apparentes de la bague, ce qui permet le graissage.

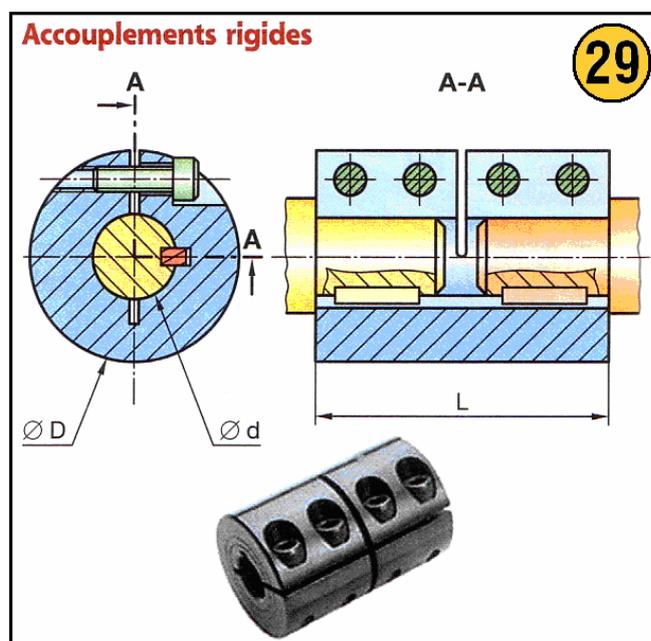
Le graissage s'effectue quand les billes sont en mouvement.

12. Accouplements

Les **accouplements** sont utilisés pour lier en rotation deux arbres de transmission de puissance en prolongement l'un de l'autre.

- **Accouplements rigides** (fig.29)

Ce type d'accouplement nécessite un bon alignement des arbres.

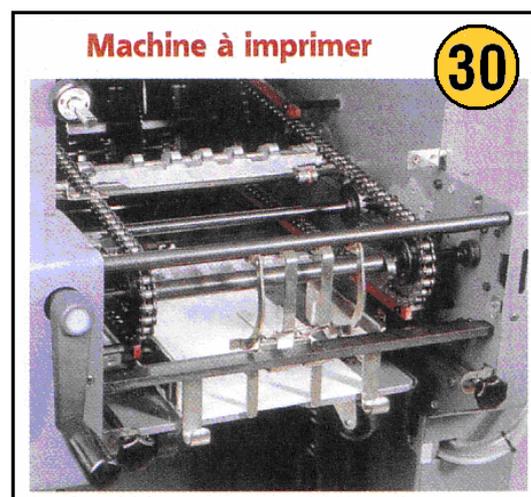


13. Transmission de mouvement

13.1 Chaînes de transmission

Ces chaînes permettent la transmission d'un mouvement de rotation entre une roue dentée menante et une roue dentée menée sans contact entre elles (fig. 30).

- Afin de répartir les efforts, l'arc d'enroulement de la chaîne doit être supérieur à 90° .
- Le rapport entre le nombre de dents de la roue et le nombre de dents du pignon ne doit pas dépasser 8.
- Un traitement spécial pour $HV \geq 1\ 800$ augmente la durée de vie et rend la lubrification aléatoire.
- Un traitement par zingage-bichromatage permet d'augmenter la résistance à la corrosion.
- Les chaînes en acier inoxydable ne nécessitent aucune lubrification.



Chaînes à rouleaux

Symbole	Pas p	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	b ₅	b ₆	d ₁	d ₂	h ₁	h ₂	p _t	Charge de rupture en da N		
													Simple	Double	Triple
08 A	12,70	7,95	11,31	17,8	32,3	46,7	3,9	7,95	3,96	12,33	12,07	14,38	1 385	2 770	4 155
10 A	15,87	9,53	13,97	21,8	39,9	57,9	4,1	10,16	5,08	15,35	15,09	18,11	2 175	4 350	6 525
12 A	19,05	12,70	17,88	26,9	49,8	72,6	4,6	11,91	5,94	18,34	18,08	22,78	3 115	6 230	9 345
16 A	25,40	15,88	22,74	33,5	62,7	91,9	5,4	15,88	7,92	24,39	24,13	29,29	5 555	11 110	16 665
06 B	9,52	5,77	8,66	13,5	23,8	34	3,3	6,35	3,28	8,52	8,26	10,24	895	1 700	2 490
08 B	12,70	7,75	11,43	17	31	44,9	3,9	8,51	4,45	12,07	11,81	13,92	1 785	3 115	4 450
10 B	15,87	9,65	13,41	19,6	36,2	52,8	4,1	10,16	5,08	14,99	14,73	16,59	2 225	4 450	6 675
12 B	19,05	11,68	15,75	22,7	42,2	61,7	4,6	12,07	5,72	16,39	16,13	19,46	2 890	5 780	8 670
16 B	25,40	17,02	25,58	36,1	68	99,9	5,4	15,88	8,28	21,34	21,08	31,88	4 225	8 450	12 675

Roues pour chaînes

Simple

Double

Triple

Pas

Caractéristiques

Pas de la chaîne : p

Nombre de dents : z

Angle au centre : $2\alpha = \frac{360^\circ}{z}$

Diamètre primitif : $d = \frac{p}{\sin \alpha}$

Rapport des fréquences de rotation :

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{z_B}{z_A}$$

EXEMPLE DE DÉSIGNATION :
Chaîne de transmission ISO 606-08 B2

Faire suivre le symbole de la chaîne d'un chiffre correspondant au nombre de brins.

13.2 Courroies

- **Courroies de transmission** (fig. 31 et 32)

Les poulies et courroies permettent la transmission d'un mouvement de rotation d'un arbre menant à un arbre mené relativement éloignés l'un de l'autre.

Rapport de transmission **R** (« raison ») :

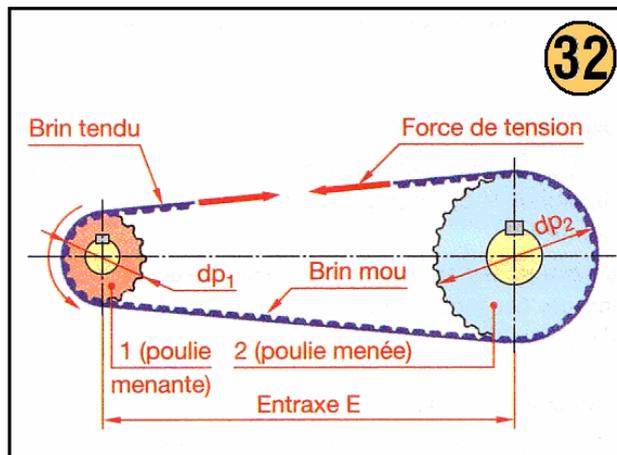
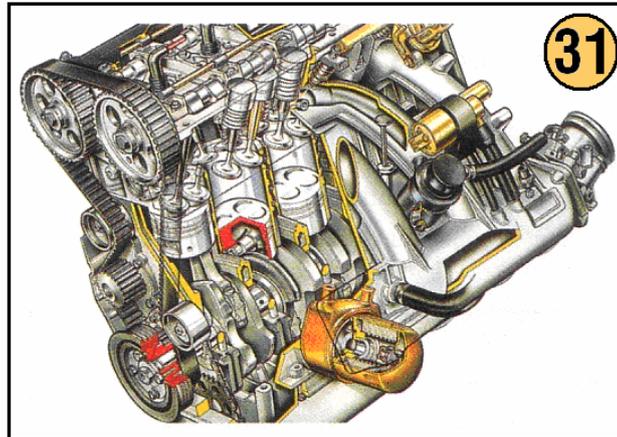
$$R = \frac{n_2 \text{ (poulie menée)}}{n_1 \text{ (poulie menante)}} = \frac{dp_1 \text{ (poulie menante)}}{dp_2 \text{ (poulie menée)}}$$

n : fréquence de rotation des poulies en tr/min.

dp : diamètres primitifs des poulies en mm.

Longueur primitive **L** d'une courroie :

$$L = 2E + 1,57 (dp_1 + dp_2) + \frac{dp_2 - dp_1}{4E}$$



• **Courroies plates**

<p>Les courroies plates permettent de transmettre de grandes fréquences de rotation. Afin de limiter l'action de la force centrifuge sur les courroies, on limite généralement les vitesses circonférentielles aux valeurs ci-dessous</p>		<p>Profil recommandé</p>	<p>Profil admissible</p>
Matériau	Vitesse circonférentielle maximale		
Aramide – Silicone	50 à 80 m/s	<p>La partie bombée permet à la courroie de se placer d'elle-même dans le plan médian de la poulie.</p>	
Polyuréthane	25 m/s		
Tolérance sur l'entraxe E			
<p>E max. = entraxe nominal + 3% L E min. = entraxe nominal – 1,5% L</p>			

• **Courroies synchrones**

La face interne de ces courroies est dentée. Elles assurent ainsi une transmission sans glissement permettant la synchronisation ou l'indexage positif requis.

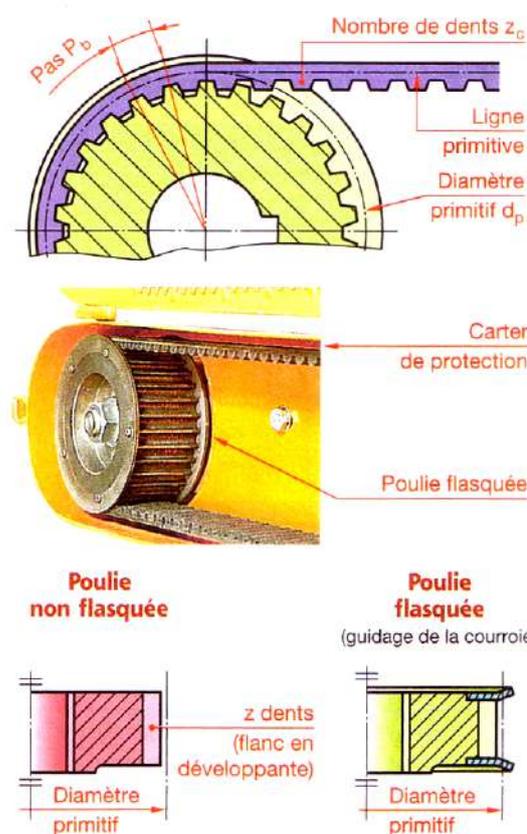
- Matière matériau composite (polyuréthane armé de câbles en acier ou de câbles en aramide...)
- Température d'utilisation : - 10 °C à + 60 °C.

POULIES

- Afin que la courroie ne sorte pas des poulies, au moins une des deux poulies doit être flasquée, en principe la plus petite.
- Lorsque l'entraxe est supérieur à huit fois le diamètre primitif de la petite poulie, les deux poulies doivent être flasquées.
- Lorsque les axes des poulies sont verticaux, ou très inclinés par rapport à l'horizontale, utiliser des poulies flasquées.

MONTAGE DES COURROIES

Afin de remédier aux tolérances de longueur sur les courroies et de pouvoir monter sans contrainte, prévoir un réglage de l'entraxe entre les poulies.



• **Courroies trapézoïdales**

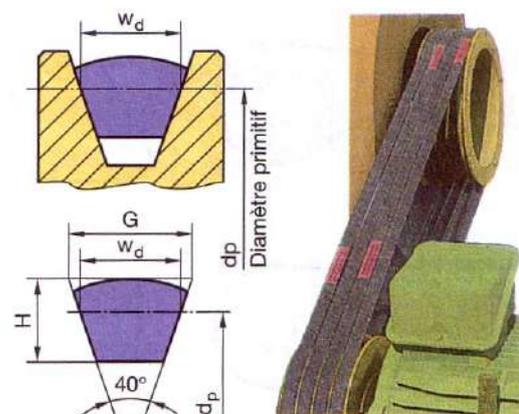
La courroie et la gorge de la poulie sont à section trapézoïdale. On obtient ainsi une forte adhérence par coincement de la courroie dans la gorge de la poulie (environ trois fois plus que pour une courroie plate dans un même matériau). Il est, ainsi, possible de réduire l'arc d'enroulement et d'avoir des entraxes relativement courts.

- Matière :
Matériau composite (chloroprène + fibres de verre + fils d'acier + ...).
- Température d'utilisation :
- 25 °C à +85 °C.

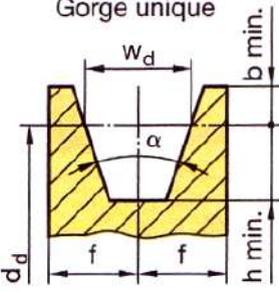
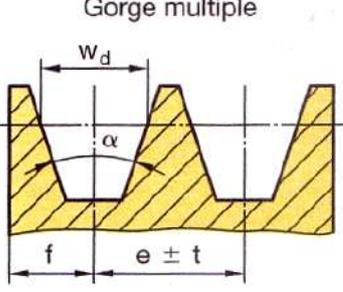
LONGUEUR DE RÉFÉRENCE DE LA COURROIE L_d
C'est la longueur de la courroie, au niveau de la largeur de référence et sous tension normalisée.

MONTAGE DES COURROIES

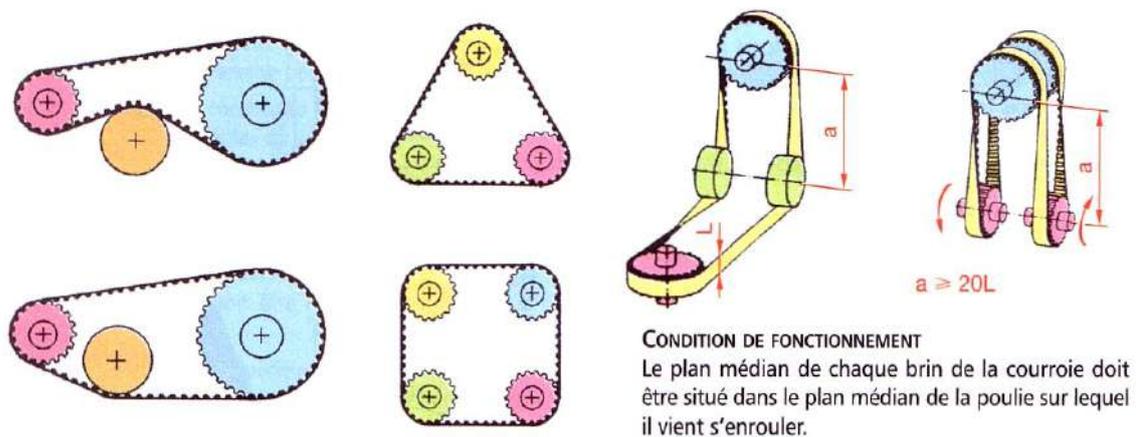
Afin de remédier aux tolérances de longueur sur les courroies et de pouvoir monter les courroies sans contrainte, prévoir un réglage de l'entraxe entre les poulies.



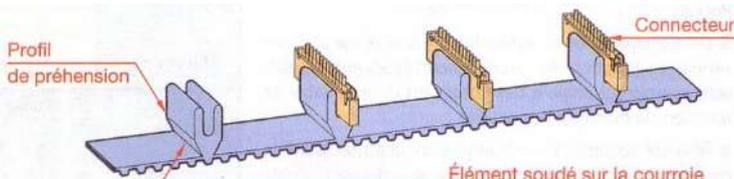
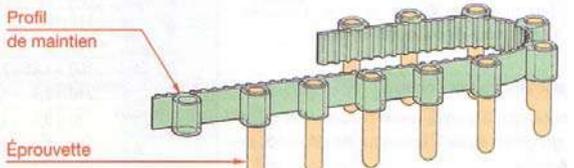
• **Poulies**

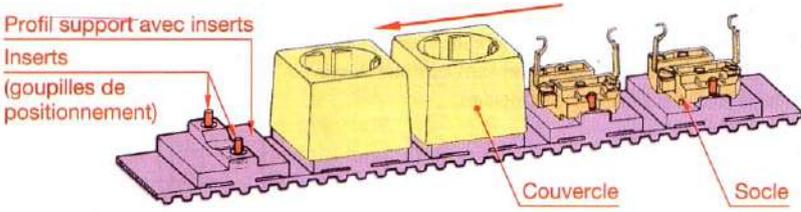
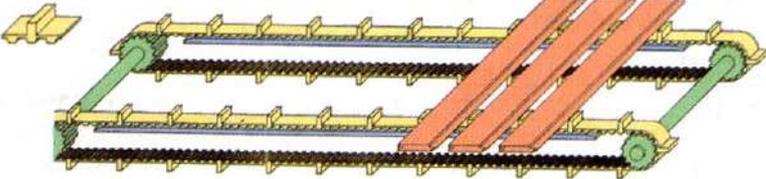
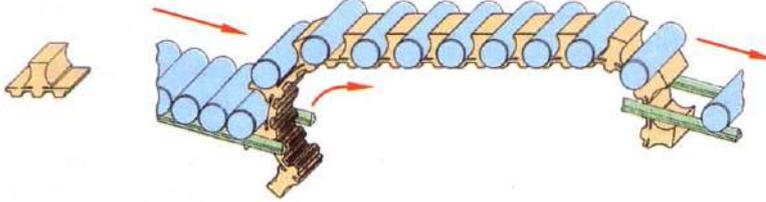
<ul style="list-style-type: none"> • Les dimensions de la section transversale d'une courroie varient en fonction du rayon d'incurvation auquel elles sont soumises. L'angle α des gorges est donc variable en fonction du diamètre des poulies. • Afin de réduire la contrainte d'incurvation dans la courroie, choisir un diamètre aussi grand que possible pour la petite poulie. Veiller à ne pas dépasser une vitesse circonférentielle de 25 m/s pour les courroies classiques et 40 m/s pour les Courroies étroites. <p>DIAMÈTRE DE RÉFÉRENCE D'UNE POULIE C'est le diamètre de la poulie mesuré au niveau où la largeur de la gorge est égale à la largeur de référence de la courroie (Wd).</p>	<p>Poulies NF ISO 4183</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>Gorge unique</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>Gorge multiple</p>  </div> </div>
--	--

• **Exemples d'utilisation**



• **Courroies de convoyage**

<p>Assemblage et convoyage de connecteurs électroniques</p>	
<p>Transport d'éprouvettes sur une machine d'analyses médicales</p>	

<p>Assemblage et convoyage de prises de courant électrique</p>	 <p>Profil support avec inserts Inserts (gouilles de positionnement) Couvercle Socle</p>
<p>Transport de pièces dont la longueur est relativement importante</p>	
<p>Le profil a un rayon adapté au cylindre à transporter. Le profil est préhenseur et maintient le cylindre par pincement.</p>	

14. Graissage et lubrification

14.1 Les lubrifiants

Matières capables de réduire le frottement entre les surfaces de contact des organes mobiles des machines afin d'en faciliter le mouvement et d'en diminuer l'usure.

- **But de la lubrification**

La **lubrification** permet :

- de **diminuer les résistances passives** dues au frottement entre les pièces en mouvement,
- de **limiter l'élévation de température** en favorisant la dissipation de la chaleur provoquée par le frottement,
- de **réduire l'usure des pièces**,
- d'**améliorer l'étanchéité**.

- **Caractéristiques principaux d'un lubrifiant**

La **viscosité** d'un fluide est la résistance qu'il oppose au glissement interne de ses molécules au cours de son écoulement. C'est son aptitude à pouvoir s'écouler plus ou moins facilement.

La viscosité diminue quand la température augmente et inversement. Une huile très visqueuse convient pour les faibles vitesses, les températures élevées, les fortes charges et les jeux importants.

Fluidité : C'est l'état d'un corps fluide, trop coulant (inverse de la viscosité).

Onctuosité : C'est la nature d'un corps gras qui fait au toucher l'impression douce et moelleuse de la graisse (l'onctuosité de lubrifiant permet de mouiller les surfaces à graisser et d'y adhérer). L'huile la plus onctueuse résiste mieux à la pression.

Consistance (de la graisse) : C'est l'état d'un corps relativement à sa solidité (un liquide qui devient pâteux et s'épaissit). Une graisse dure convient pour les faibles vitesses, les très fortes charges et ces jeux importants.

- **D'autres caractéristiques** telles que :

- **stabilité chimique**,
- **point éclair**, température d'inflammation des vapeurs du fluide,
- **point de congélation**, température à laquelle le fluide refroidi ne coule plus,...
- sont importantes pour le choix d'un lubrifiant.

- **Choix d'un lubrifiant**

Le choix d'un lubrifiant doit prendre en compte les conditions fonctionnelles du mécanisme à lubrifier en particulier :

- **la température de fonctionnement**,
- **les efforts de pression**,
- **les vitesses relatives de déplacement**,
- **les conditions d'environnement**.

Ses conditions sont satisfaites par deux grandes familles de lubrifiants :

- les **huiles**, à l'état liquide,
- les **graisses**, à l'état pâteux.

- **Huiles industrielles**

Elles sont **d'origine minérale** présentant après raffinage des propriétés améliorées telles que :

- protection contre la corrosion,
- antimoussage,
- antiusure,...

14.2 Graisses industrielles

Les **graisses industrielles** sont composées :

- d'**huile**,
- de **gélifiants** ou **épaississants**,
- d'**additifs** solubles pour améliorer leur qualité, d'antiusure, d'anti-oxydation et d'anticorrosion.

Les graisses sont choisies en fonction de :

- de leur **viscosité**,
- de leur **consistance**,
- de leur **point de goutte** caractérisé par la température à laquelle la première goutte se détache et tombe.

Exemple : Pour des roulements utilisés dans des applications industrielles générales SKF préconise une graisse constituée d'une huile minérale plus du savon de lithium, utilisable entre – 30 et +120 °C.

Bibliographie

PRODUCTIQUE MECANIQUE – SCHOEFS, FOURNIER, LEON (DELAGRAVE).

MEMOTECH – PRODUCTIQUE MECANIQUE, BARLIER, C., POULET, B. (ELEDUCALIVRE).

GUIDE DU DESSINATEUR INDUSTRIEL, Hachette Technique, édition 2003-2004.

TECHNOLOGIE ELEMENTAIRE, Delagrave.

TECHNOLOGIE – BUTIN, R., PINOT M, Les éditions FOUCHER, Paris.