

POLYCOPIÉ DE COURS

SCIENCES ET TECHNOLOGIES MÉCANIQUES

UNITÉ : PRODUCTION



2^{ème} ANNÉE STM



USINAGE



PROCÉDÉS
DE FABRICATION



ASSEMBLAGE



CONTRÔLE
QUALITÉ



PRODUCTIVITÉ

Comprendre – Concevoir – Produire – Améliorer



Nom :.....

Prénom :.....

Année scolaire :.....

Pour contacter le prof :

- Tel / whatsapp : 0676448253
- Email: sabri.mohamed89@gmail.com

Avant-propos :

I. Présentation de la discipline

Les Sciences de l'Ingénieur constituent une discipline technologique qui vise à développer chez l'élève une compréhension globale des systèmes techniques et des procédés industriels. Dans la filière STM, l'enseignement s'appuie sur l'observation, l'analyse, l'expérimentation, les activités pratiques et la réalisation de projets.

L'unité Production est consacrée à l'étude des moyens et des procédés permettant de transformer une matière première en produit répondant à des exigences données de qualité, de précision et de performance. Elle permet à l'élève d'appréhender le système de production dans sa globalité, depuis l'alimentation en matière, en énergie et en outillage jusqu'à la transformation, la distribution des flux et l'assemblage des constituants.

L'étude s'organise autour de quatre fonctions : Alimenter, Distribuer, Convertir et Transmettre.

II. Finalités de la discipline

- Développer une compréhension globale des systèmes techniques et des procédés industriels.
- Mobiliser des démarches scientifiques et technologiques pour résoudre des problèmes.
- Développer l'observation, l'expérimentation, l'analyse et l'esprit critique.
- Comprendre et choisir des solutions technologiques adaptées à un besoin.
- Exploiter des documents, modèles, outils de mesure et logiciels.
- Développer l'autonomie, la créativité et le travail en équipe.
- Préparer l'élève à la poursuite d'études dans les domaines scientifiques et technologiques.

III. Compétences visées

- Analyser un système de production et identifier ses principales fonctions.
- Exploiter des connaissances scientifiques et technologiques pour comprendre les phénomènes liés à la production.
 - Identifier et caractériser les matériaux, procédés, machines et outillages.
 - Choisir et justifier une solution technologique adaptée.
 - Exploiter des dossiers techniques, schémas, tableaux, graphes et représentations normalisées.
 - Expérimenter, mesurer, contrôler et interpréter des résultats.
 - Participer à la conception et à la réalisation d'un produit dans le cadre d'un projet collectif.

IV. Objectifs du module Production

À l'issue du module, l'élève doit être capable de :

- identifier et caractériser un système de production ;
- analyser les fonctions d'alimentation et de distribution des flux ;
- identifier les matériaux utilisés et leurs principales propriétés ;
- choisir des outillages adaptés à une opération de production ;
- comprendre les principes des principaux procédés d'obtention des produits ;
- mettre en relation Produit – Matériau – Procédé ;
- exploiter les notions de durée de vie des outils et le modèle de Taylor ;
- comprendre l'organisation d'un îlot ou d'une ligne de production ;
- analyser les flux de matière, de produits, d'outillage et de déchets ;
- réaliser ou exploiter des opérations d'assemblage ;
- utiliser des moyens de mesure et de contrôle ;
- participer à la réalisation d'un projet collectif encadré.

V. Savoirs associés

A. ALIMENTER

- Typologie des systèmes de production selon la nature de l'énergie d'alimentation.

- Typologie des matériaux utilisés en production.
- Types d'outillage : outils, porte-outils et porte-pièces.
- Propriétés physiques et mécaniques des matériaux.
- Procédés d'élaboration des matériaux.
- Mise et maintien en position et montages d'usinage.
- Classes de matériaux : métalliques, polymères et élastomères, composites.

B. DISTRIBUER

- Fonction Distribution dans les systèmes de production.
- Flux de matière d'œuvre, d'en-cours, de produits finis, de déchets et d'outillage.
- Îlot de production et ligne de fabrication.
- Transitaire : convoyeurs, palettiseurs et véhicules à guidage automatique (AGV).
- Chargement et déchargement des outils et produits dans une MOCN.
- Implantation d'un îlot de production par la méthode des chaînons.

C. CONVERTIR

- Adéquation Produit – Matériau – Procédé.
- Procédés d'obtention des produits et principes de fonctionnement.
- Durée de vie des outils et modèle de Taylor.
- Puissance de coupe et conditions de coupe.
- Paramètres influents sur le procédé.
- Géométrie des outils et brut capable.
- Procédés : moulage, forgeage, estampage, emboutissage, pliage, usinage, UGV, soudage, découpage, frittage et traitements thermiques.

D. TRANSMETTRE / ASSEMBLER

- Fonction d'un constituant dans un assemblage.
- Performances d'un assemblage.
- Techniques d'assemblage.
- Démarches de montage et de démontage.
- Graphe de montage et de démontage.
- Exploitation du dossier technique et assemblage des éléments du projet collectif.

VI. Approche pédagogique

Le module Production privilégie une approche systémique et concrète fondée sur des situations-problèmes, l'expérimentation, les activités pratiques et la démarche de projet.

Les ressources mobilisées peuvent comprendre le laboratoire de production, les machines et instruments de mesure, les maquettes, les logiciels, les documents constructeurs, les catalogues, les dossiers techniques, les moyens multimédias et les visites d'entreprises.

L'élève est placé progressivement dans des situations lui permettant d'observer, analyser, expérimenter, choisir, justifier et réaliser.

VII. Synthèse

Le module Production permet à l'élève de comprendre, analyser et mettre en œuvre les principaux éléments d'un système de production industrielle.

La progression peut être synthétisée par la chaîne fonctionnelle :

ALIMENTER → DISTRIBUER → CONVERTIR → TRANSMETTRE / ASSEMBLER

L'objectif final est de permettre à l'élève de comprendre une organisation de production, d'analyser les solutions technologiques, de justifier ses choix et de participer à la réalisation et à la qualification d'un produit industriel.

Chapitre 1 : Sciences des matériaux

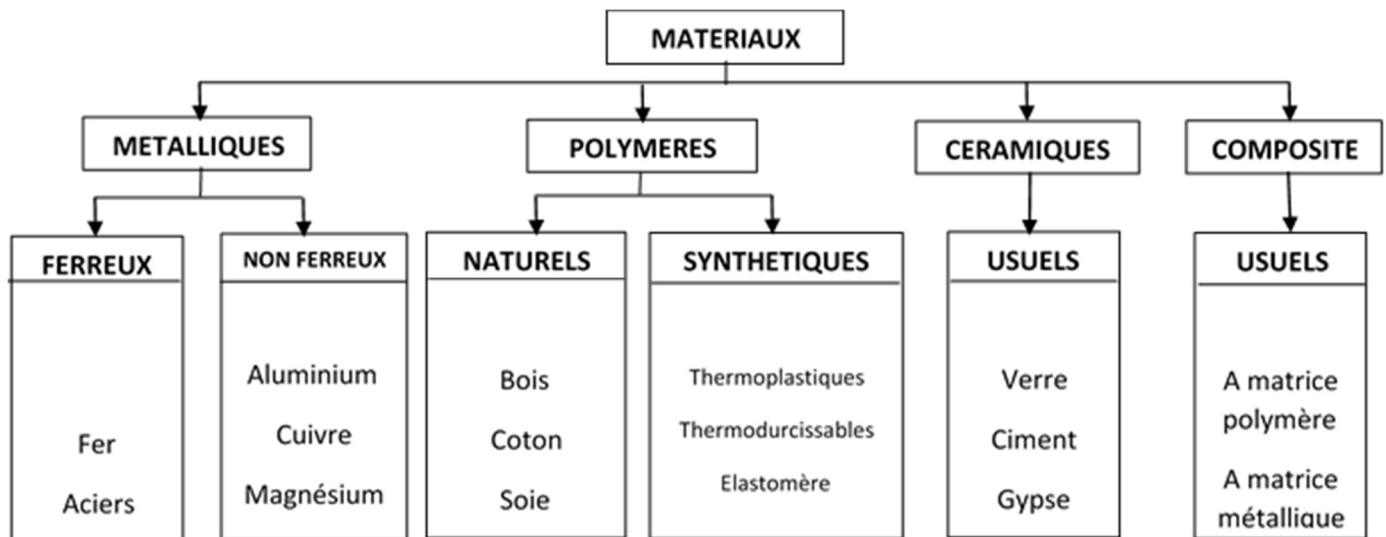
I. Mise en situation :

Un bon produit, c'est-à-dire qui fonctionne bien, a un bon rapport qualité/prix et donne satisfaction à l'utilisateur, utilise les matériaux les mieux adaptés et en exploite pleinement le potentiel et les caractéristiques.

Un matériau est une matière d'origine naturelle ou artificielle que l'homme façonne pour en faire des objets et mis en œuvre en vue d'un usage spécifique. Toute matière entrant dans une construction devient un matériau.

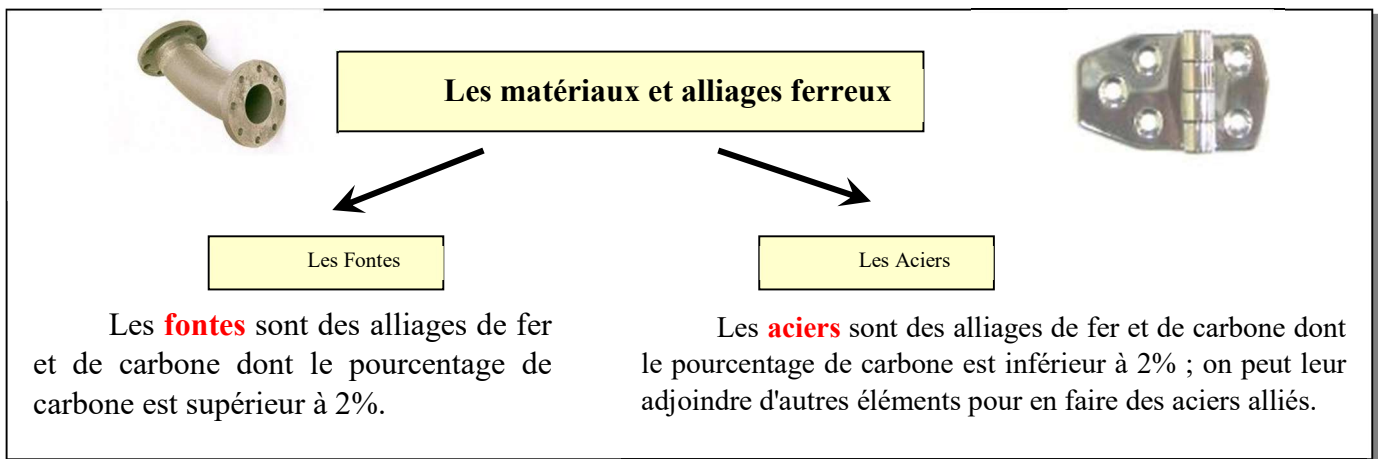
II. Classification des matériaux :

Les matériaux industriels peuvent être classés en quatre grandes catégories :

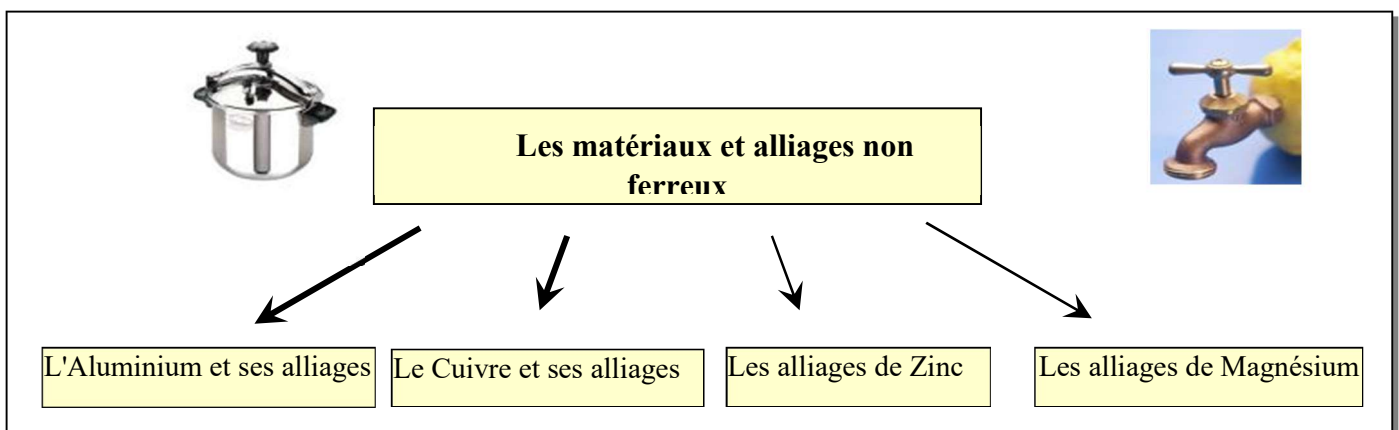


1. Les matériaux métalliques :

a. Les matériaux et alliages ferreux :

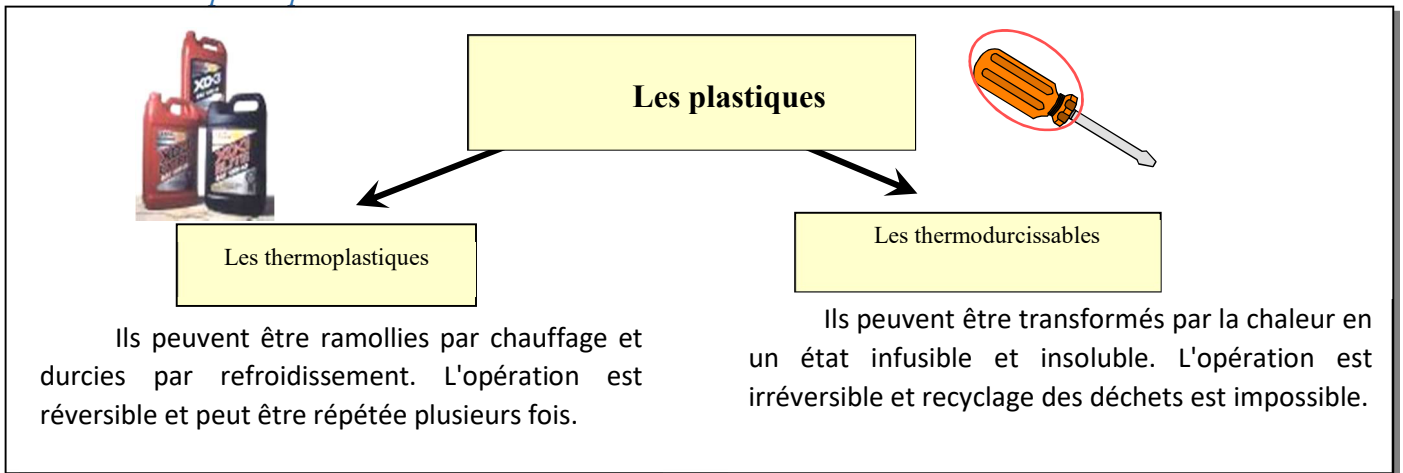


b. Les matériaux et alliages non-ferreux :



2. Les matériaux non métalliques :

a. Les plastiques :



b. Les composites :

Le diagramme illustre la définition des composites. Au centre, un rectangle jaune intitulé "Les composites" est relié par des flèches à deux autres rectangles jaunes : "Les thermoplastiques" à gauche et "Les thermodurcissables" à droite. À gauche du rectangle "Les thermoplastiques", il y a une image de deux bouteilles de peinture. À droite du rectangle "Les thermodurcissables", il y a une image d'une vis à bois. En dessous de chaque rectangle, un texte explique les propriétés de ces matériaux.

Les composites

Un composite est un **assemblage** de deux constituants de structure différente. Les qualités de chacun se complètent pour former un matériau hétérogène dont les performances sont supérieures à celles de ses composants seuls. Exemples : béton armé (béton + armature acier) équipements sportifs (raquettes, ski, etc.)

1 : béton
2 : armatures aciers

III. Propriétés des matériaux et quelques domaines d'utilisation :

1. Définition des Propriétés :

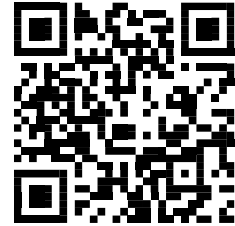
Dans tous les objets qui nous entourent, il y a souvent plusieurs matériaux différents. Pourquoi ne pas utiliser le même ? : Tout simplement parce que les matériaux ne se comportent pas tous de la même façon. On choisira le matériau le mieux adapté en fonction de ce que l'on attend de chaque partie de l'objet.

On choisit un matériau en fonction de ses qualités, en fonction de ce qu'on veut lui faire faire. **On appelle cela des propriétés.** Autres critères qui entrent en compte lors du choix des matériaux : Leur prix, leur aspect,...

Propriétés physiques	Définitions
Masse volumique	Quantité de matière par unité de volume (kg/m^3). Fer = $7,8 \text{ Kg/dm}^3$; Aluminium = $2,7 \text{ Kg/dm}^3$; cuivre = $8,9 \text{ Kg/dm}^3$; plomb = $11,3 \text{ Kg/dm}^3$
Conductibilité thermique	Capacité à conduire la chaleur ou le froid.
Conductibilité électrique	Capacité à conduire le courant électrique (conducteur ou isolant). L'or, l'argent et le cuivre sont les meilleurs conducteurs.
Oxydabilité	Résiste ou non à la corrosion (à l'eau, à l'air, aux produits chimiques).
Point de fusion	Température à laquelle le matériau passe de l'état solide à l'état liquide. Fer = 1530°C , Aluminium = 660°C , Cuivre = 1080°C , Plomb = 330°C
Propriétés mécaniques	Définitions
Dureté	Résistance au marquage (empreintes, rayures...) ne se laisse pas facilement entamer, plier, tordre, couper, qui n'est pas tendre.
La malléabilité	Propriétés des matériaux à être facilement mis en forme (mou, que l'on peut écraser).
La ductilité	Propriétés des métaux à être facilement mis sous forme de fils (cuivre, ...).
L'usinabilité	Propriétés des matériaux à être facilement travaillés (usiné). Le Molybdène, le Phosphore et le Silicium en éléments d'addition favorisent l'usinabilité.
La soudabilité	Propriétés des matériaux à être facilement soudés. Le Manganèse, le Vanadium et le Molybdène en éléments d'addition favorisent la soudabilité.
La ténacité	Propriétés des métaux à résister dans le temps aux différentes sollicitations mécaniques (fatigue) (traction, compression, flexion, torsion, cisaillement).
La résilience	Caractérise la résistance aux chocs. Propriétés des métaux à résister aux chocs.
	Un matériau résilient est un matériau non cassant.
La dilatabilité	Propriétés des matériaux à s'allonger sous l'effet de la chaleur ou à rétrécir sous l'effet du froid.

2. Influence des éléments d'addition sur les aciers alliés :

Propriétés	Eléments d'addition											
	Carbone	Si	Mn	Ni	Cr	W	Va	Mo	Co	Ti	Pb	S
Résistance à la traction	++	+	++	+	++	+	+	++	+	+	+	
Dureté	++	+	++	+	++	+	+	++			+	
Malléabilité	-		+	++	+	+	+	+		+	-	-
Résilience	-		+	+	+	+	+	+	+	+	+	
Magnétisme		-		-	+	++			++			
Résistance au feu	-	-	-	+	++	+		+		+		
Elasticité	+	++	+		+		+	+				
Forgeabilité			+	+			+	+		+		-
Soudabilité	-	-	+				+	+				-
Usinabilité	-	-	-		-			+			+	+
Qualité de coupe	+	-			+	++	++	+	++	+	-	-
Commentaires : + Augmentation ++ Augmentation importante - Diminution												



<https://youtu.be/WMbxNQhHSPQ>

3. Domaines d'utilisation :

a. Domaines d'utilisation du Cuivre et ses alliages :

Cu Zn28 - Laiton 28% / CW504L

Cu Zn33 - Laiton 33% / CW507L

Cu Zn37 Pb2 - Laiton au Pb / CW606N

CuSn8 - Bronze 8% / CW453K

Cu Sn7 Zn4 Pb7 - CW493K

Cu Sn8 Pb P – CW460K

Cu Al10 Fe5 Ni5 – cupro-aluminium – CC333G

Cu Ni10 Zn27 - Maillechort au Pb / CW401J

CuNi30Mn1Fe - Cupro-nickel / CW354H

CuNi44Mn1 - Constantan / 2.0842

Bonne usinabilité (robinetterie, pompe)

Construction générale et pièces découpées dans la tôle.

Très bonne usinabilité. Matériels de microtechniques.

Résistance à la corrosion.

Matériau de frottement (Bague, douille, segments)

Robinetteries

Pièces d'usure : pignons et roues d'engrenages, écrous

Pièces devant résister à la corrosion (agents chimiques).

Inoxydables à chaud. Pièces mécaniques diverses (compresseurs, pompes, ..).

Très bonne usinabilité. Matériels de microtechniques.

Résistance à la corrosion.

b. Les élastomères :

ELASTOMERES		
NBR	Butadiène-Acrylonitrile (PERBUNAN)	Joints, membranes, Essuie-glaces, amortisseurs Soufflets, pneus ...
EPM	Ethylène-Propylène	
FPM	Fluorocarbène	
FKM	Elastomère fluoré (VITON)	

c. Thermodurcissables :

NOM	PROPRIÉTÉS	UTILISATIONS
THERMODURCISSEBLES		
Phénoplaste PF21 (BAKELITE)	Plus vieux des thermodurcissables (1907). Isolant électrique et thermique. Vernis de bobinage	
Époxyde EP (ARALDITE)	Enrobage, colle puissante	
Polyuréthane PUR	Pare-chocs, volants.	
Résine uréeformaldéhyde	Facile à mettre en forme	Verres organiques, vaisselle
Polyesters UP	Transparents, propriétés mécaniques à haute température et électriques, résistants aux chocs, faciles à mettre en oeuvre	Textiles, emballages, bouteilles, interrupteurs, prises et fusibles pour circuits à haute tension, prothèses. Carrosserie, cuves. Bonne tenue mécanique
Phénoplastes	Grande dureté	Utilisation en couches : Bakélite, vernis durcissables

d. Thermoplastiques :

THERMOPLASTIQUES		
Polyéthylène (PE) haute densité (PE hd) basse densité (PE bd)	Translucide en film, souple, perméable aux hydrocarbures, aux alcools et aux gaz, résistant aux rayons X, aux agents chimiques	(PE hd) Films, sacs, tuyaux et tubes, gaines isolantes, bouchons, couvercles, emballages, jouets. (PE bd) Flacons, bidons.
Polypropylène (PP)	Faible densité, rigidité élevée, résistant aux rayons X, très peu perméable à l'eau, résistant aux températures élevées (<135 °C) et aux chocs	Articles ménagers, emballages, carrosseries moulées, batteries, pare-chocs, mobilier de jardin, seringues, flacons, prothèses, tuyaux, bouteilles
Polystyrène (PS)	Transparent en film, non toxique par ingestion, propriétés optiques et électriques, facile à colorer, résistant aux rayons X, aux huiles et aux graisses	Emballages, ustensiles de cuisine, diffuseurs optiques, revêtements de meubles, isolation thermique, jouets, articles de bureau, rasoirs jetables. PSB : polystyrène résistant aux chocs (Carters électroménagers).
Chlorure de polyvinyle (PVC) PVC U (rigide) PVC P (souple)	Souple ou rigide, opaque ou transparent, auto extinguable, résistant aux rayons X, acides, bases, huiles, graisses et alcools	Articles ménagers, emballages, isolation des fils électriques, canalisations d'eau, gaines, revêtements de sols, volets et portes pliantes, bagagerie, maroquinerie, similicuir, articles de sport et de camping, industries chimique et automobile
Polyméthacrylate de méthyle (PMMA) ou Plexiglas	Transparent, excellentes propriétés optiques, bonne tenue au vieillissement et aux intempéries	Matériau remplaçant le verre, enseignes lumineuses, verrières, hublots, vitrines, fibres optiques, dentisterie, prothèses, lentilles de contact
Polyamides (PA) PA6.6 (NYLON) PA11 (RISLAN)	Excellentes propriétés mécaniques, tenue en température (<100 °C), résistants aux rayons X, aux carburants, imperméables aux odeurs et aux gaz	Emballages de produits alimentaires, mécanismes des compteurs d'alimentation en eau, gaz, électricité, canalisation carburants, chaussures et fixations de ski, selles de vélo PA6/6 : Engrenages, coussinets PA11 : Canalisations
Acétate de cellulose CA	Plus vieux plastique (1905). Peigne, jouets	
Acrylonitrile-butadiène-styrène ABS	Carrosserie Auto. Articles ménagers	
Polycarbonate PC	Transparent. Visières de casque.	
Polytétrafluoréthylène PTFE (TEFLON)	Chimiquement inerte, antiadhésif, imperméable à l'eau et aux graisses, excellente tenue à la chaleur et à la corrosion	Prothèses orthopédiques et auditives, joints, garnitures, pièces mécaniques en milieux corrosifs, isolation électrique, revêtements de poêles à frire. Joints, patins de glissement
Polyoxyméthylène POM (DELIN)	DELIN D628 : résistance à la traction à 23°C = 69N/mm ² et 36N/mm ² à 100°C.	Robinetts, engrenages

e. Aciers d'usage général :

Nuance	Pourcentage de carbone (C)	Charge de rupture en hbar (P) état recuit	Emplois
extra-doux	C < 0,15	33 < P < 42	tôles pour carrosserie, feuillards, quincaillerie, pièces de forge
doux	0,15 < C < 0,20	37 < P < 46	charpente métallique, profilés, construction mécanique courante, boulons, fils ordinaires
demi-doux	0,20 < C < 0,30	48 < P < 55	pièces de machines pour applications mécaniques, pièces ou bâtis moulés, pièces forgées
demi-dur	0,30 < C < 0,40	55 < P < 65	petit outillage, éléments de machines agricoles, organes de transmission
dur	0,40 < C < 0,60	65 < P < 75	pièces d'outillage, d'armement, glissières, rails et bandages, ressorts, coutellerie, pièces moulées et traitées
extra-dur	0,60 < C	75 < P	outils d'usinage et découpe, câbles, ressorts.

f. Aciers de traitements thermiques :

Destinés aux traitements thermiques (trempe, cémentation) des pièces petites ou moyennes, ils sont caractérisés par une grande pureté et des éléments d'addition en très faible quantité.

Domaines d'utilisation : pièces moulées, forgées, engrenages, ressorts, lames, forets...

Caractéristiques des aciers inoxydables			
Désignation	Type	Description	Applications
X 4 Cr Ni 18 10	304	18% de chrome et 9% de nickel Code de couleur : jaune	Eviers, architecture, échappement automobile, coutellerie, vaissellerie, tuyauterie. Hôpitaux, blanchisseries, toutes applications mécaniques en général.
X 1 Cr Ni 18 12 X 1 Cr Ni 18 09	304 L	Moins de carbone que l'acier 304	Brasserie, laiterie, industries alimentaires et pharmaceutiques, vaisselleries, éviers
X 8 Cr Ni 18 12	305	18% de chrome et 12 % de nickel Formage : bon	Identique à l'inox 310
X 1 Cr Ni 23 14	309	23% de chrome et 14 % de nickel Résistance élevée à l'oxydation	
X 1 Cr Ni 25 20	310	25% de chrome et 20 % de nickel Résistance très élevée à l'oxydation	Fours, usines métallurgiques, échanges calorifiques
X 3 Cr Ni Mo 17 11 2	316	17% de chrome, 11% de nickel, 2% de molybdène Résistance élevée à la corrosion	Usines chimiques et pétrochimiques, architecture, brasseries.
X 2 Cr Ni Mo 17 12	316 L	Moins de carbone que le 316 Code de couleur : rouge	pétrochimie, marine, hôpitaux, équipements pour la restauration.
X 2 Cr Ni Mo 18 12 2	317	18% de chrome, 12% de nickel, 2% de molybdène Résistance très élevée à la corrosion	Usines chimiques et pétrochimiques, distillations d'acide acétique.
X 2 Cr Ni Mo 19 15 4	317 L	Moins de carbone que l'inox 317	
X 6 Cr Ni Ti 18 10	321	18% de chrome, 10% de nickel et du titane Code de couleur : bleu	Pièces pour aviation, industries chimiques et pétrochimiques, éléments de chauffage.
X 6 Cr Ni Ti S 18 10	325	Contient du soufre (usinage facilité)	Toutes applications mécaniques en général...
X 6 Cr Ni Nb 18 10	347	18% de chrome, 10% de nickel et du niobium Résistance à la sensibilisation et à l'acide nitrique concentré.	Usines de transformation, pièces pour l'aviation.
Aciers martensitiques : magnétiques, trempe possible, résistance modérée à la corrosion			
X 10 Cr 13	410	13% de chrome	Pièces pour pompes et turbines, mécanique générale, lame de couteaux, valves
X 11 Cr S 13	416	13% de chrome, contient du soufre (usinage facilité par rapport à l'inox 410)	Construction, wagons de chemin de fer, transports miniers.
X 20 Cr 13	420	Résistant à la chaleur	
X 15 Cr Ni 16 2	431	16% de chrome, 2% de nickel	
Aciers ferritiques : magnétiques, aciers au chrome, résistants à la corrosion due aux chlorures			
X 18 Cr 17	430	17% de chrome	Eviers, décoration, garnitures automobiles
X 18 Cr Mo 17 1	434	17% de chrome, 1% de molybdène Résistant à la corrosion atmosphérique et au piquage	Système d'échappement des automobiles
X 3 Cr Ti 12	409	12% de chrome et du titane Soudable jusqu'à 2,5 mm d'épaisseur	Construction, wagons de chemin de fer, transports miniers.
X 3 Cr 12	403	Inox 409 modifié Soudable en section renforcée. Formage possible	
Aciers austénitiques : amagnétiques, aciers au chrome et nickel, bonne soudabilité, bonne résistance générale à la corrosion			
X 11 Cr Ni 17 8	301	17% de chrome, 8% de nickel Formage possible	Constructions, ressorts, plaques de friction et de protection
X 10 Cr Ni 18 9	302	18% d chrome, 9% de nickel Formage : bon	Ressorts et produits exigeant une bonne résistance à la fatigue. Lames d'interrupteur, pièces pour l'horlogerie, dômes, etc.
X 8 Cr Ni S 18 9	303	Usinage plus facile que l'inox 302 Code de couleur : blanc	Poulies, engrenages, crémaillère. Usinage en série, automates.



Une roue dentée en acier,



une jante en aluminium,



des raccords de plomberie, des câbles électriques en cuivre , ...

IV. Elaboration des matériaux :

Généralement tous les métaux ne se trouvent pas à l'état natif (état pur) dans la nature, mais sous forme de roche, terre appelée minerai, seuls quelques métaux (Au, Ag, Hg) peuvent se trouver à l'état pur.

1. Définition du minerai

Le minerai est une combinaison d'un métal ou de plusieurs métaux avec d'autres éléments tels que O_2 , C, N_2 , P, S etc... En plus il contient de l'eau d'hydratation.

Le minerai est une substance minérale qui baigne dans une substance stérile appelée gangue. Les minerais qu'on rencontre dans la nature sont sous forme d'oxydes (Fe_2O_3), carbonates ($CaCO_3$), sulfures (PbS) ou silicates ($Al_2(SiO_4)$). La possibilité d'exploitation économique d'un minerai dépend de la teneur du métal de base, de l'abondance ou de la rareté du métal.

Industriellement on qualifie de minerai tout produit minéral dont on peut extraire un métal ou un alliage à un prix de revient convenable.

Le mot minerai est donc un terme économique et non minéralogique, la teneur minimale des minerais exploitables dépend essentiellement de la valeur du métal. Ainsi un quartz aurifère contenant 20g d'or à la tonne est considéré comme un minerai riche alors qu'une roche à 20% de fer (teneur 10.000 fois plus grande) n'est pas exploitée en général.

Avant l'extraction du métal de son minerai, ce dernier subit une préparation au préalable qui consiste au :

- **Concassage** des gros morceaux à l'aide de concasseur rotatif, à mâchoires ou à marteaux.
- **Broyage** pour obtenir du minerai encore plus fin.
- **Triage**, lavage du minerai par flottation (enrichissement).

2. Elaboration des métaux ferreux (Les fontes et les aciers) :

a. La sidérurgie :

La sidérurgie est le secteur industriel concerne par la métallurgie des alliages ferreux et par leur mise en forme visant à fournir des produits semi-finis aux industries utilisatrices.

b. Elaboration de la fonte :

L'agrégat principal utilisé pour l'élaboration de la fonte est le haut fourneau, dans lequel se déroule le processus métallurgique de réduction, fusion, ainsi que la carburation du fer. Le but principal du haut fourneau est d'extraire le métal (fer) de son minerai et sa séparation de la gangue.

Les matières premières utilisées pour l'élaboration de la fonte sont :

- **Le minerai de fer** : (Ce sont des roches contenant le fer en quantité importante et économiquement peuvent être traités en procédé métallurgique).
- **Le coke** : Le coke est fabriqué dans une usine appelée cokerie, c'est un combustible obtenu par pyrolyse de la houille dans un four à l'abri de l'air
- **Les fondants** : (on utilise le plus souvent le calcaire $CaCO_3$ et très rarement la dolomite $MgCO_3 \cdot CaCO_3$).

Le produit principal du haut fourneau est la fonte appelée aussi fonte de première fusion. Elle est obtenue à l'état liquide à une température près de $1400^\circ C$ et avec une teneur en carbone de 3,5% à 4,5% et de teneur variable en Si, Mn, P, S. Elle peut aussi renfermer d'autres éléments tels que Ti, Cr, etc...

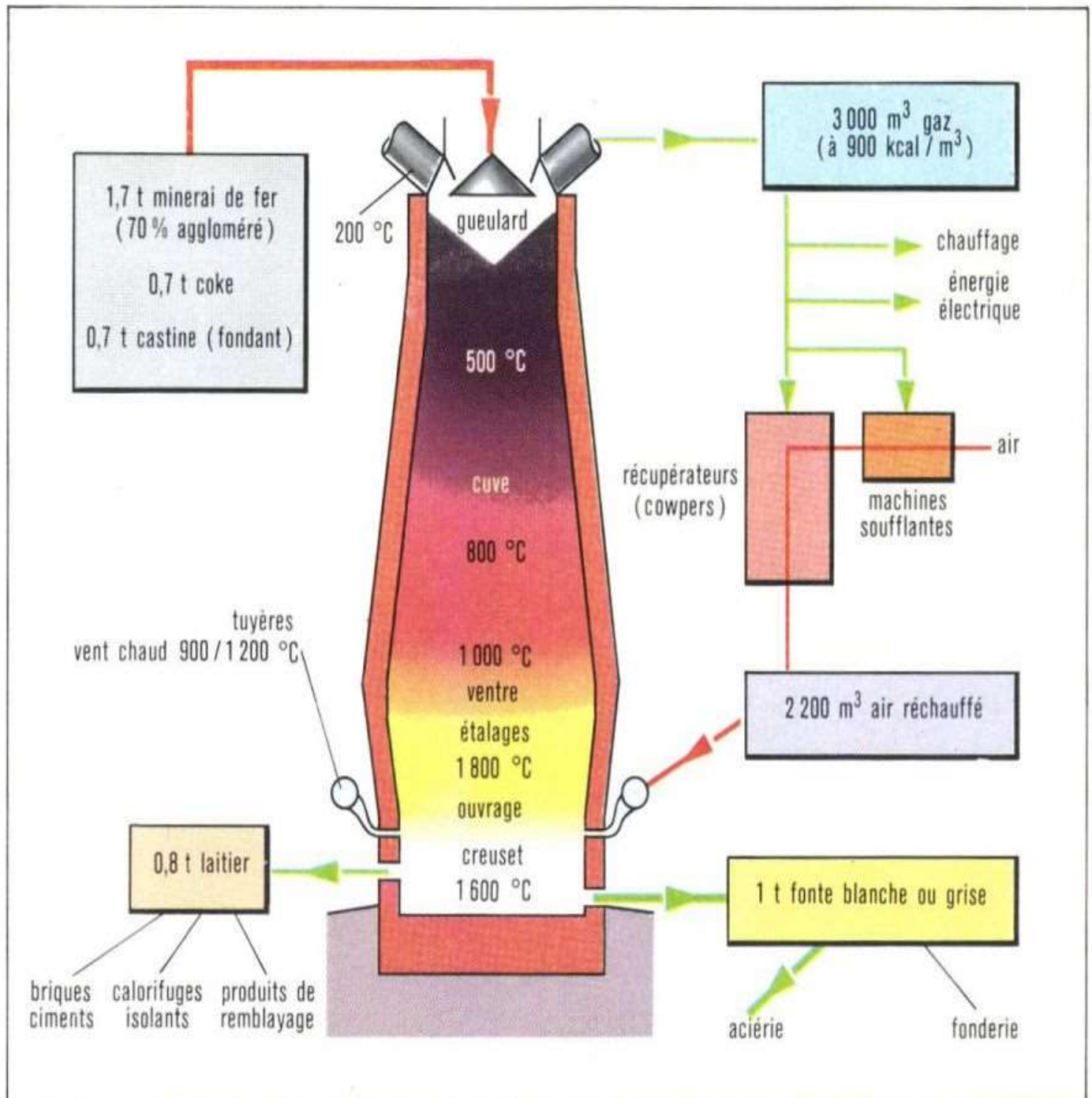
La fonte est définie comme un alliage de fer et de carbone ; dont la teneur en carbone est supérieure à 2 % et inférieure à 6% (voir diagramme Fer-Carbone). Le produit secondaire obtenu lors de l'élaboration de la fonte est le laitier (scorie) dont les principaux composants sont CaO , SiO_2 , Al_2O_3 et MgO ...

c. Le haut-fourneau :

Un haut fourneau est un four à combustion interne, destiné à la fabrication de la fonte à partir du minerai de fer. Cette fonte est par la suite affinée par chauffage (décarburation) ce qui permet de produire de l'acier et des dérivés ferreux.



https://youtu.be/Ar3hzrgzl_M



Obtention de la fonte au haut fourneau.

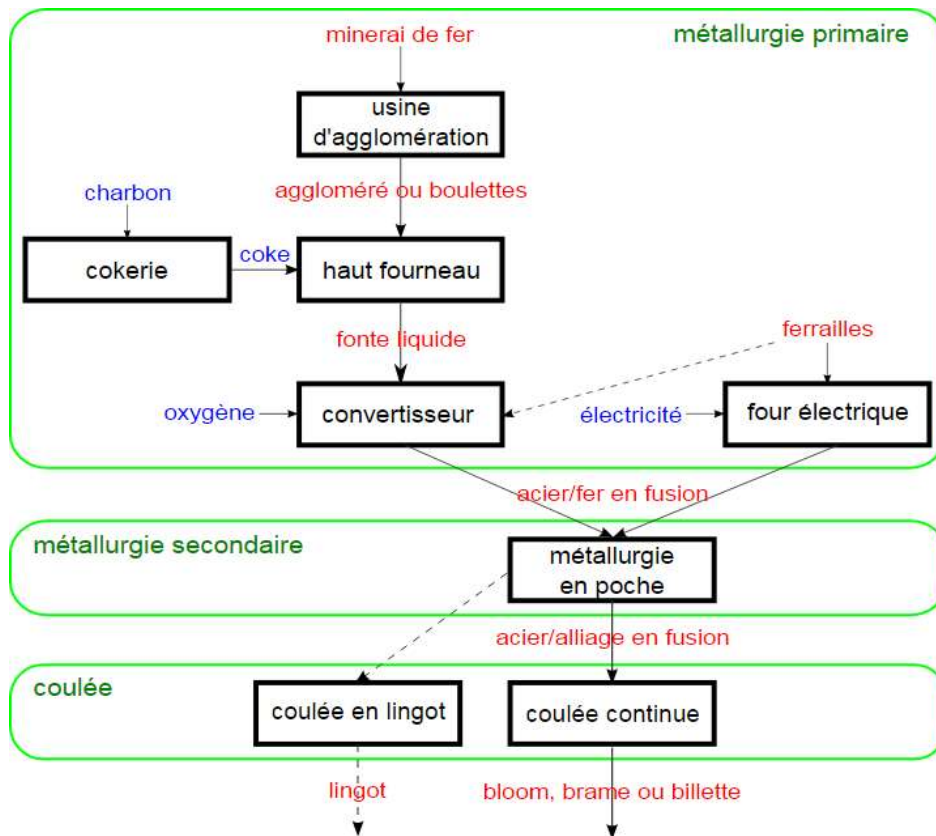
d. *Elaboration de l'acier :*

L'acier est défini comme un alliage de fer et de carbone dont la teneur en carbone est inférieure à 2% (voir diagramme Fer-Carbone). Dans l'industrie l'acier est plus utilisé que la fonte, car il possède des propriétés mécaniques relativement bonnes par rapport à ceux de la fonte. Les procédés de fabrication modernes de l'acier sont assez nombreux. Ils donnent des produits de qualités différentes. La majorité d'entre eux consiste pour affiner la fonte de première fusion à la décarburer dans un premier temps, puis de rétablir par des additions convenables les teneurs de ces éléments au niveau désiré.

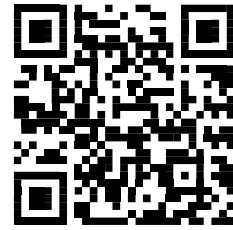
L'acier est obtenu dans des fours ou convertisseurs par différentes opérations métallurgiques tels que l'oxydation des différents éléments d'impuretés, décarburation de la fonte et addition d'éléments alliés nécessaire pour améliorer les différentes propriétés.

L'acier s'élabore actuellement de deux manières :

- Soit **en convertisseur**, à partir de la fonte liquide dans les aciéries à l'oxygène avec décarburation (réduction du carbone).
- Soit **au four électrique**, à partir de ferrailles dans les aciéries électriques (acier de recyclage).



Pour plus d'informations scanner le code suivant ou accéder au lien ci-dessous :



https://youtu.be/xOO6_KGEUA

Les matières premières nécessaires pour l'élaboration de l'acier :

- Fonte liquide ou solide (selon le procédé).
- Ferraille.
- Additions.
- Ferro-alliages (alliages de métaux).

La masse principale de la charge (90% à 95%) se compose de la fonte et de la ferraille, la composition de la fonte doit correspondre aux exigences du procédé utilisé.

3. Elaboration des métaux non-ferreux (Le cuivre et l'aluminium) :

a. Elaboration du cuivre :

Le cuivre est le premier métal que l'humanité ait connu et su travailler. On retrouve des objets et des armes remontant à 5000 av JC, mais d'une manière générale, les civilisations de l'antiquité ont développé son utilisation vers 3500 av JC, le fer n'apparaissant que plus tard vers 1800 av JC.

Actuellement, le cuivre est, avec l'aluminium, au second rang après les métaux ferreux en importance économique et industrielle.

✓ Extraction et préparation :

Après extraction, la première étape du traitement des minerais sulfures consiste des opérations successives de broyage, concassage, tamisage et triage pour obtenir une poudre de minerai.

✓ Traitement de flottation :

Cette poudre est mise en cuve pour un traitement de flottation dans l'eau puis décantation. Cela consiste à faire remonter à la surface la partie la plus riche du minerai pour le séparer des boues qui restent au fond du bain. On obtient un concentré contenant **25 à 40% de cuivre**.

✓ Haut fourneau :

On porte ce concentré à haute température, à l'état liquide en présence de fondants, on sépare par gravité et par grillage les stériles plus légers des sels de cuivre plus lourds, pour obtenir la matte fortement chargée en soufre, contenant **40 à 60 % de cuivre**.

✓ convertisseur :

Dans un deuxième temps, un convertissage à environ 1300° dans un four rotatif permet de séparer le cuivre des autres constituants contenus dans la matte par injection de l'air chaud à 50% d'oxygène. Cette opération aboutit à la production de blisters contenant **98 à 99.5 % de cuivre**, qui se présentent sous forme de plaques, qui

sont encore impropres à une utilisation dans l'industrie, parce que leur pureté est insuffisante, et doivent subir par conséquent une nouvelle opération d'affinage.

Ils peuvent être achetés tels quels par les pays consommateurs équipés d'une industrie de raffinage. Le Japon et l'Allemagne fédérale sont les principaux acheteurs.

✓ L'affinage :

Le blister doit être affiné pour obtenir la pureté nominale de 99,90% utilisable dans la plupart des applications. Il existe deux procédés d'affinage :

L'affinage thermique : qui consiste à refondre le blister en l'oxydant pour éliminer les impuretés sous forme d'oxyde qui se volatilisent.

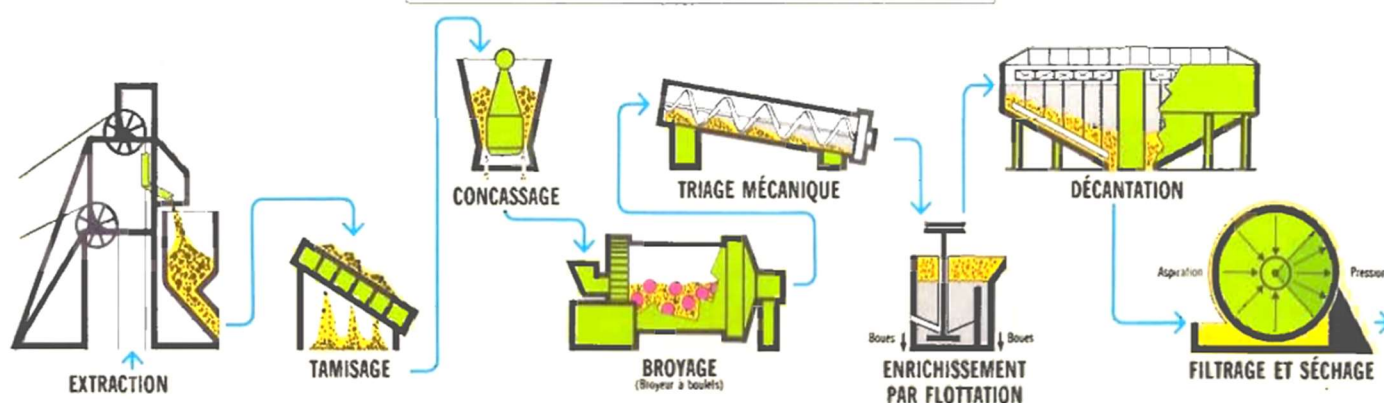
Au cours de ce traitement, le cuivre se charge de 0,6 à 0,9% d'oxygène dont il faut éliminé l'essentiel par une opération de perchage, qui consiste à introduire des troncs de bois vert dans le bain de cuivre. On obtient alors un cuivre de qualité thermique, qui contient encore de 0,02% à 0,04% d'oxygène et un peu d'hydrogène, et qui, de ce faite, n'a que peu d'applications dans l'industrie.

L'affinage électrolytique : qui transforme le blister préalablement coulé sous forme d'anode, en cathode par le procédé de l'anode soluble. Le cuivre obtenu est pur mais il n'est pas encore utilisable en l'état à cause de sa porosité et de la présence possible d'inclusions d'électrolyte.

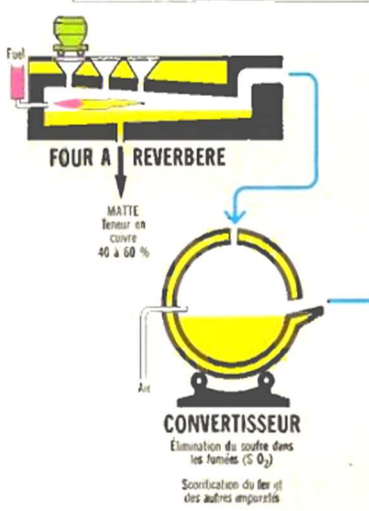
METALLURGIE DU CUIVRE

Elaboration à partir de minerais sulfurés

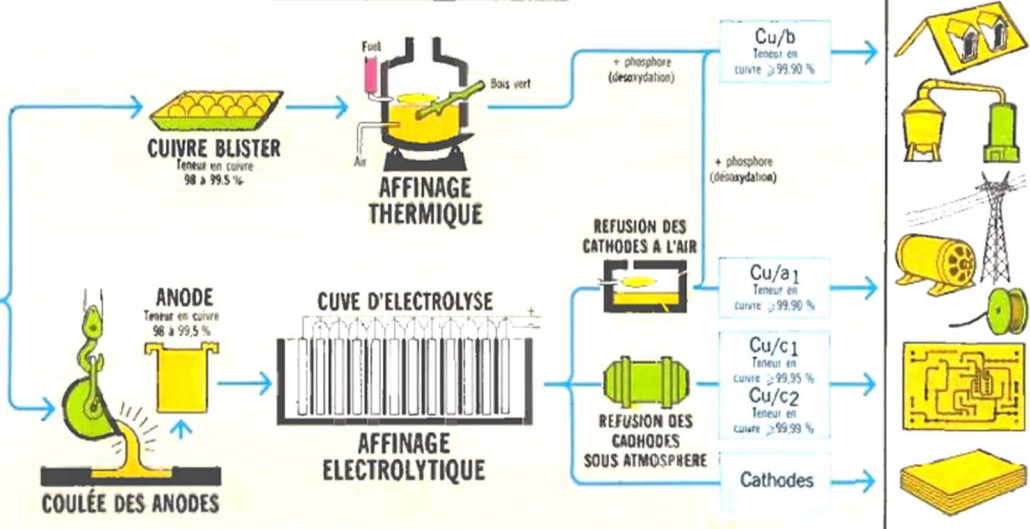
TRAITEMENT DU MINERAL



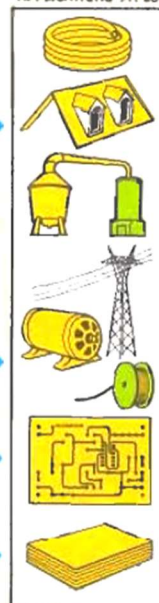
ELABORATION



AFFINAGE



APPLICATIONS TYPES



b. Elaboration d'Aluminium :

✓ Le minerai :

L'aluminium est le troisième élément le plus abondant dans la croûte terrestre (8 % de la masse) après l'oxygène et le silicium. L'aluminium est très difficile à extraire des roches qui le contiennent et a donc été longtemps très rare et précieux.

Le principal minerai d'aluminium **est la bauxite**.

✓ Procédé de fabrication de l'aluminium :

La bauxite sert principalement à fabriquer de l'aluminium, après avoir subi **une première transformation en alumine**. La production d'aluminium représente 92% des cas de transformation de la bauxite. On utilise le plus souvent les bauxites rouges. Les bauxites blanches, plus riches en silice, sont employées en verrerie, pour la production de céramiques, de matériaux réfractaires et de ciment. Les bauxites grises sont plutôt utilisées dans la production d'abrasifs.

Obtention de l'alumine : On utilise essentiellement le procédé "Bayer", inventé en 1887 par le chimiste autrichien Karl Joseph Bayer :

On ajoute de la soude à la bauxite broyée. Sous pression et en température, on dissout l'alumine contenue dans le minerai pour former de l'aluminate de sodium.

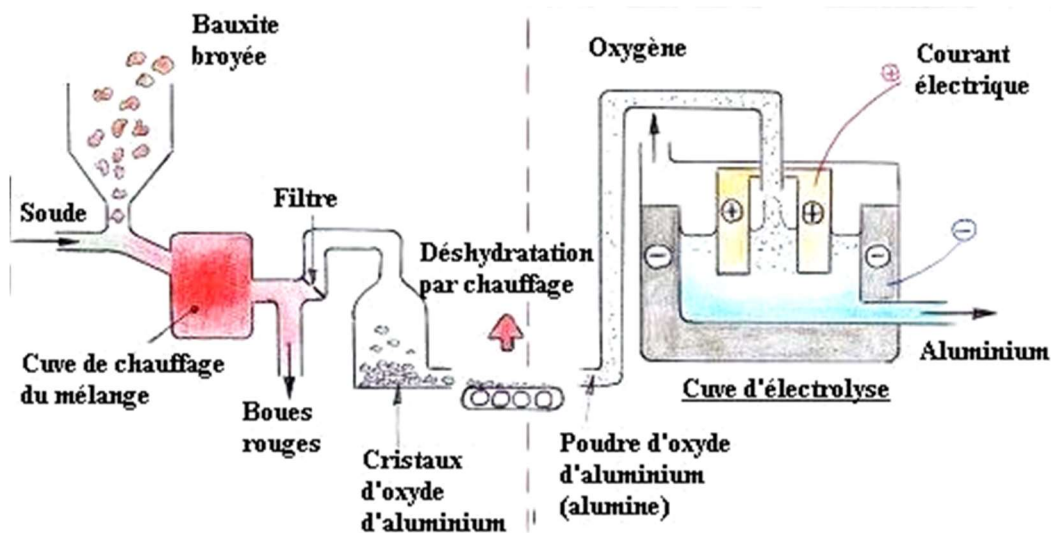
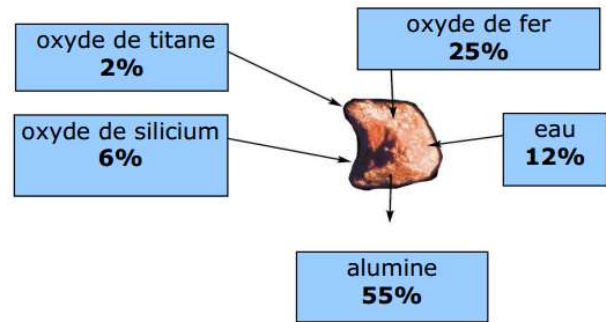
On sépare les déchets insolubles ("boues rouges")

Lors du refroidissement, formation de cristaux d'oxyde d'aluminium qui se séparent de la soude.

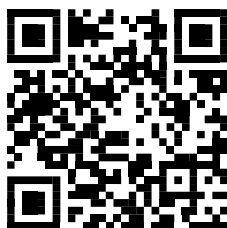
Déshydratation des cristaux par chauffage (calcination) et obtention de l'alumine pure à 99%.

Obtention de l'aluminium : Le procédé le plus utilisé est le procédé "Hall-Héroult", du nom de leurs inventeurs, l'américain Charles Martin Hall et le français Paul Héroult.

Il consiste à dissoudre l'alumine dans de la cryolite (alumine fluorure de sodium) puis le séparer par électrolyse de l'aluminium. L'aluminium obtenu est pur à 99% et doit être raffiné avant sa transformation au laminage en produit.



Pour plus d'informations scanner les codes suivants ou accéder aux liens ci-dessous :



<https://youtu.be/IuTZnp3spBs>



<https://youtu.be/xY9yrbQyuW4>

ALLIAGES FERREUX

ALLIAGES FERREUX	
FONTES	
A) LES FONTES A GRAPHITE LAMELLAIRE : Exemple de désignation symbolique : Préfixe Symbole du type de fonte EN-GJL-200 Rr en Mpa <i>* Rr = Limite à la rupture en Mpa (N/mm²)</i>	
B) LES FONTES MALLEABLES : Exemple de désignation symbolique : Préfixe Symbole du type de fonte EN-GJMB-450-6 A% Rr en Mpa <i>* A% = Pourcentage d'allongement après rupture</i>	
C) LES FONTES GRAPHITE SPHEROIDAL : Exemple de désignation symbolique : Préfixe Symbole du type de fonte EN-GJS-400-18 A% Rr en Mpa	
ACIERS	
A) LES ACIERS D'USAGE GENERAL : S B) LES ACIERS DE CONSTRUCTION MECANIQUE : E Exemple de désignation : Symbole S 235 E 335 Re en Mpa <i>* Re = Limite minimal d'élasticité en Mpa (N/mm²)</i>	A) LES ACIERS FAIBLEMENT ALLIES : (Aucun élément d'alliage n'atteint 5%) Exemple de désignation : % de carbone x 100 Symbole des éléments d'alliage par teneur décroissanté 30 Ni Cr Mo 8-6 % des éléments d'alliage x4 pour Cr, Co, Mn, Ni, Si x10 pour Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr x100 pour Ce x1000 pour B <i>16 Ni Cr Mo 8-6 :</i>
D) LES ACIERS NON ALLIES MOULES : Si un acier est moulé, sa désignation est précédée de la lettre G Exemples : GS 235 GS 335 GC40	B) LES ACIERS FORTEMENT ALLIES : (Au moins un élément d'alliage atteint 5%) Exemple de désignation : Symbole X 5 Cr Ni 18-10 % réel des éléments d'alliage % de carbone x 100 Symbole des éléments d'alliage par teneur décroissante <i>X 5 Cr Ni 18-10 :</i>
SYMBOLES CHIMIQUES DES ELEMENTS D'ALLIAGE	
Symbole	Elément d'alliage (Ancien symbole)
Al	Aluminium (A)
Sb	Antimoine (R)
Ag	Argent (Ag)
Be	Béryllium (Be)
Bi	Bismuth (Bi)
B	Bore (B)
Cd	Cadmium (Cd)
Ce	Cérium (Ce)
Cr	Chrome (C)
Co	Cobalt (K)
Cu	Cuivre (U)
Sn	Etain (E)
Fe	Fer (Fe)
Ga	Gallium (Ga)
Li	Lithium (Li)
Mg	Magnésium (G)
Mn	Manganèse (M)
Mo	Molybdène (D)
Ni	Nickel (N)
Nb	Niobium (Nb)
Pb	Plomb (Pb)
Si	Silicium (S)
Sr	Strontium (Sr)
Ti	Titane (T)
V	Vanadium (V)
Zn	Zinc (Z)
Zr	Zirconium (Zr)

V. Désignation normalisée des matériaux :

1. Matériaux métalliques ferreux :

2. Matériaux métalliques non ferreux :

ALLIAGES NON FERREUX		
ALLIAGES D'ALUMINIUM	ALLIAGES DE ZINC MOULES	ALLIAGES DE CUIVRE
Exemple de désignation : Code numérique Désignation symbolique éventuellement EN AB-21 000 [Al Cu4 Mg] Symbole du métal de base : ALUMINIUM 1^{er} élément d'addition suivi de son pourcentage réel 2^e élément d'addition suivi de son pourcentage réel ✂ EN AB-21 000 [Al Cu 4 Mg] : <u>Exemples d'alliage d'Aluminium :</u> - ALPAX : Aluminium (Al) + Silicium (Si) EN AB-44 200 [Al Si 12] Bonne moulabilité - DURALUMINIUM : Aluminium (Al) + Cuivre (Cu) EN AW-2017 [Al Cu 4 Mg Si] Bonne usinabilité - DURALINOX : Aluminium (Al) + Magnésium (Mg) EN AW-5086 [Al Mg 4] Bonne soudabilité (Pièces chaudronnées : Citermes, tuyauterie)	La mise en œuvre des alliages de zinc est facile en fonderie. Il est possible de réaliser des pièces robustes à parois minces très complexes avec des tolérances serrées. Principales nuances d'alliage de Zinc : - ZAMAK (2, 3 et 5) : Alliage de fonderie sous pression (Carburateurs, boîtiers, ...). - KAYEM (1 et 2) : Alliage pour la fabrication par fonderie d'outillages de presse et de moules pour plastiques. - ZA (8 et 27) : Alliage pour moulage coquille ou sous pression. Bonnes caractéristiques mécaniques et bonne résistance au frottement.	Exemple de désignation : Cu Zn 39 Pb2 Symbole du métal de base : CUIVRE 1^{er} élément d'addition suivi de son pourcentage réel 2^e élément d'addition suivi de son pourcentage réel ✂ Cu Zn 39 Pb2 : <u>Exemples d'alliage de Cuivre :</u> - BRONZE : Cuivre (Cu) + Etain (Sn) Cu Sn 8 Matériau de frottement (Bague, douille, segments) - LAITON : Cuivre (Cu) + Zinc (Zn) Cu Zn 15 Bonne usinabilité (robinetterie, pompe) - CUIVRE AU BERYLLIUM : Cuivre (Cu) + Béryllium (Be) Cu Be 2 Ressorts, rondelles onduflex, connecteurs

3. Désignation des matériaux plastiques :

THERMOPLASTIQUES			
Symbole	Désignation	Utilisation	
CA	Acétate de cellulose	Plus vieux plastique (1905). Peigne,	
ABS	Acétate de cellulose	Carrosserie Auto. Articles ménagers	
PMMA	Poly méthacrylate de méthyle(PLEXIGLASS)	Transparent. Vitres, optiques d'éclairage	
PA6/6	Polyamide type 6-6 (NYLON)	Engrenages, coussinets	
PA 11	Polyamide type 11 (NYLON)	Canalisations	
PC	Polycarbonate	Transparent. Visières de casque.	
PE hd	Polyéthylène haute densité	Poches plastiques, récipients	
PE bd	Polyéthylène basse densité	Flacons, bidons	
PTFE	Polytétrafluoréthylène (TEFLON)	Joints, patins de glissement	
POM	Polyoxyméthylène (DELRIN)	Robinets, engrenages	
PP	Polypropylène	Tuyaux, bouteilles	
PS	Polystyrène	Emballages électroménagers	
PSB	Polystyrène résistant aux chocs	Carters électroménagers	
PVC U	Polychlorure de vinyle (rigide)	Canalisations	
PVC P	Polychlorure de vinyle (souple)	Tuyaux, gaines isolantes	
THERMODURCISSABLES		ELASTOMERES	
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
PF 21	Phénoplaste (BAKELITE)	NBR	Butadiène-Acrylonitrile (PERBUNAN)
EP	Epoxyde (ARALDITE)	EPM	Ethylène-Propylène
UP	Polyester	FPM	Fluorocarbène
PUR	Polyuréthane	FKM	Elastomère fluoré (VITON)

VI. Auto évaluation : science des matériaux (de I à V) Tableau KWLS

Veillez remplir ce tableau en suivant la démarche suivante :

- Les colonnes **K** (ce que je sais) et **W** (ce que je veux apprendre ou savoir) doivent être remplies avant la séance du cours
- Les colonnes **L** (ce que j'ai appris) et **S** (ce que je veux approfondir) doivent être remplies à la fin du cours

K	W	L	S

VII. Les essais mécaniques des matériaux :

1. Introduction :

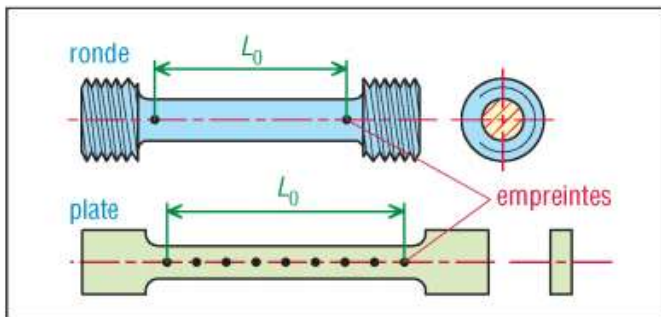
On distingue essentiellement deux types d'essais mécaniques :

Les essais destructifs sur éprouvette : la pièce est détruite pendant l'essai ;

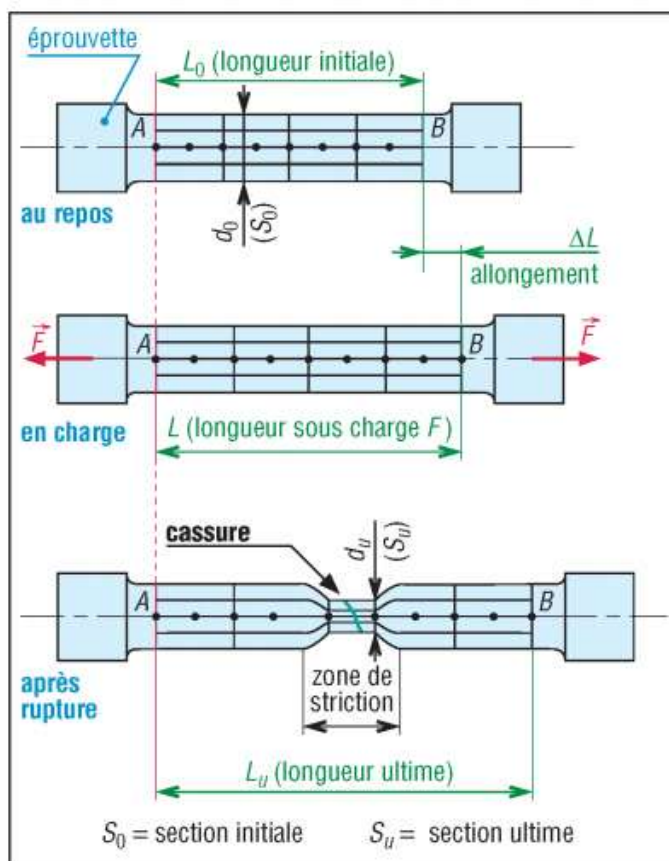
Les essais non-destructifs : la pièce n'est pas détruite. Ces essais sont utilisés sur les pièces complexes, chères et difficiles à réaliser, mais également pour valider une hypothèse de travail ou un modèle d'étude.

2. Essai de traction :

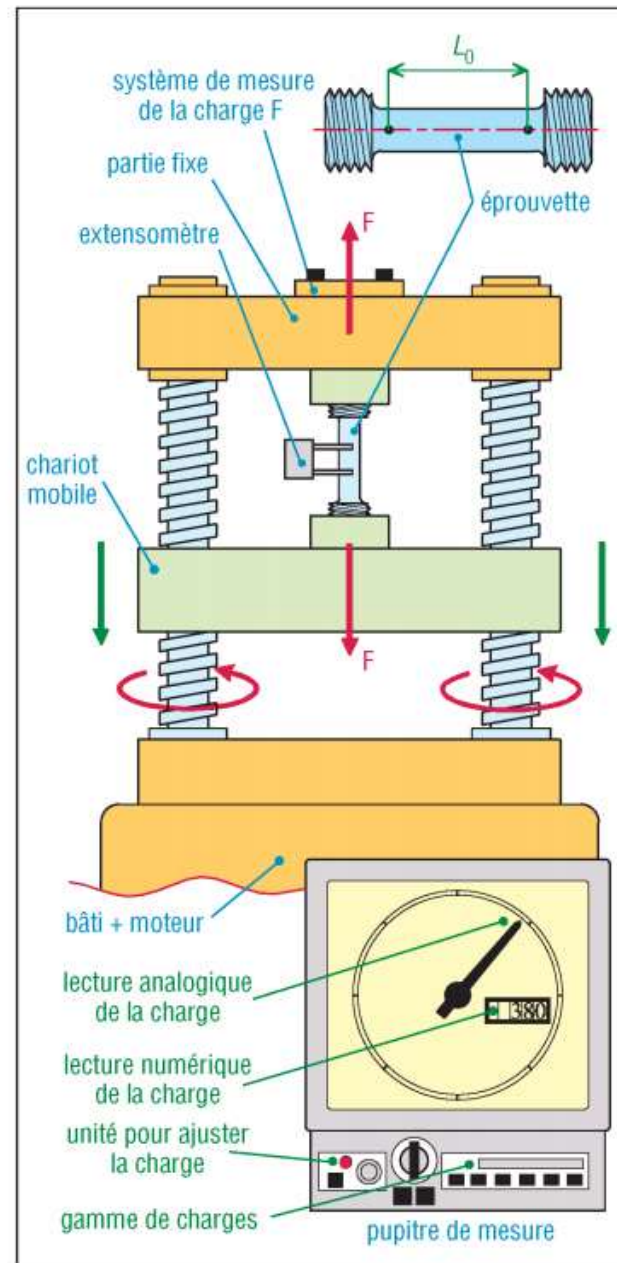
Essai le plus classique, il consiste à exercer sur une éprouvette normalisée (pièce de dimensions normalisées fabriquée dans le matériau à tester), cylindrique ou parallélépipédique (plate), deux forces égales et opposées qui vont la déformer progressivement puis la rompre.



1. Exemples d'éprouvettes de traction usuelles.



2. Éprouvette en cours d'essai.

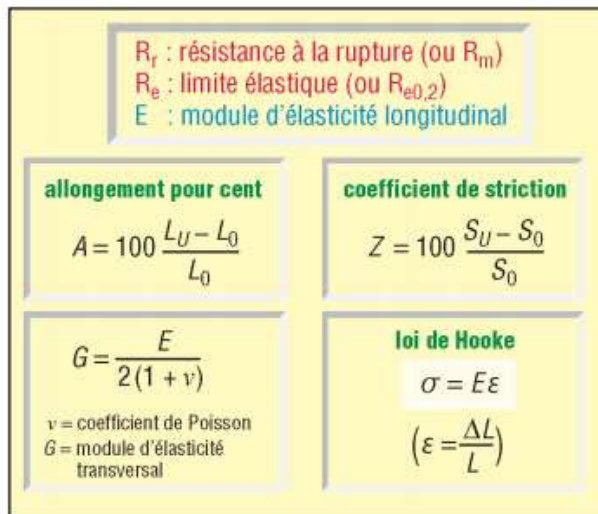


3. Principe des machines d'essai de traction.

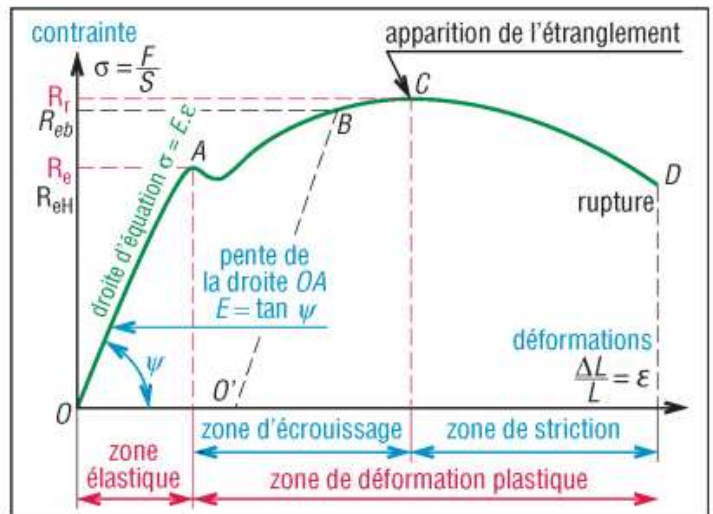


<https://youtu.be/zJ-uzeAK9To>

Pour un grand nombre de matériaux, comme les métaux et les alliages, les courbes obtenues présentent une zone, appelée domaine élastique, où le graphe est une droite (segment OA). Pour tous les points de cette droite, la déformation, ou l'allongement, est proportionnelle à la contrainte, ou à l'effort exercé, et le matériau (l'éprouvette) est parfaitement élastique (se comporte comme un ressort parfait).



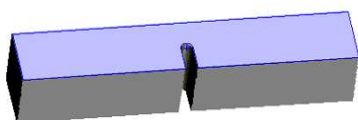
4. Grandeurs fondamentales définies par l'essai de traction.



5. Courbe de traction (matériau ductile).

3. Essai de résilience :

Les paramètres de ténacité déterminés par l'essai de traction n'ont plus de sens lorsque la charge s'applique très rapidement. On parle de choc lorsque la durée d'application de la charge est de l'ordre du 1/100 de seconde. La résistance au choc ou résilience est caractérisée par le quotient de l'énergie nécessaire pour rompre l'éprouvette en un seul coup par la surface de la section rompue. Les photos ci-contre et ci-dessous représentent respectivement la machine d'essai (Mouton de Charpy) et une éprouvette entaillée en U ou en V.

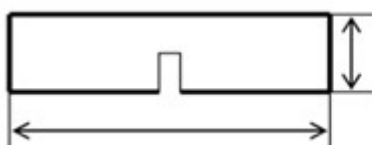


L'essai consiste à rompre d'un seul coup de mouton pendule l'éprouvette entaillée en son milieu et reposant sur 2 appuis. On détermine l'énergie absorbée W dont on déduit la résilience.

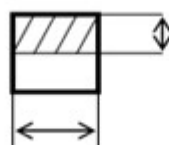


Forme de l'éprouvette :

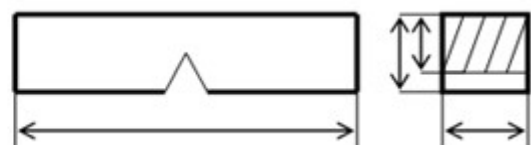
K
(Kerbschlagzähigkeit)



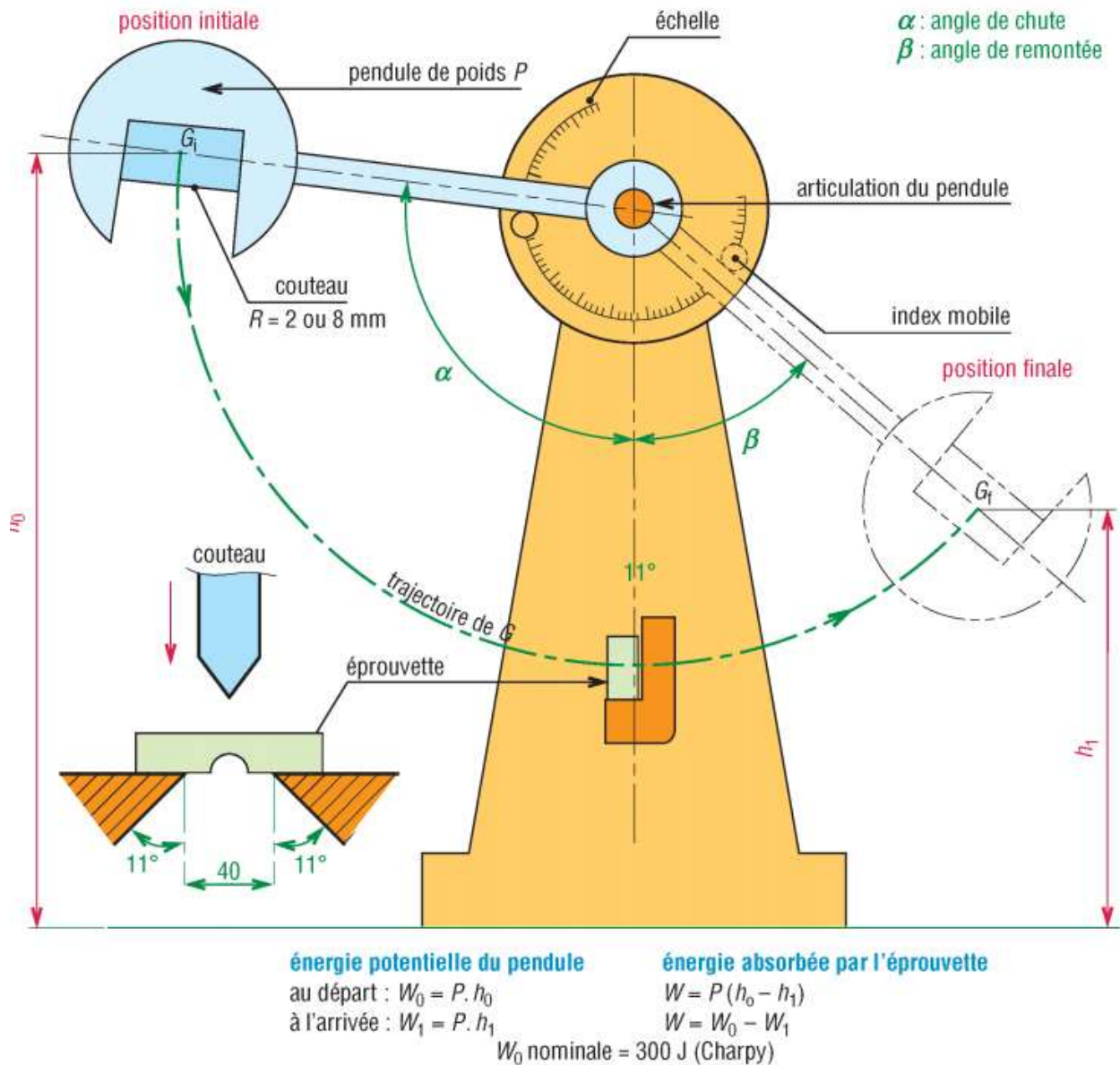
C
mouton de CHARPY



U
Entaillée en U ou en V



Mouton Charpy :



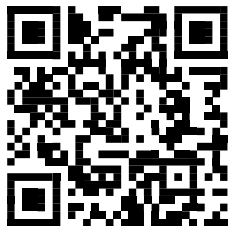
Détermination de la résilience :

KCU ou KCV = $\frac{\text{énergie } W \text{ absorbée par la rupture}}{\text{Section } S_0 \text{ initiales}} \quad (\text{joules}) \quad (\text{cm}^2)$

$W = W_0 - W_1$; $W_0 = P \cdot h_0$; $W_1 = P \cdot h_1$; $W = P \cdot h_0 - P \cdot h_1$; $W = P \cdot (h_0 - h_1)$

P : poids du pendule (N)
 h_0 hauteur avant rupture. (m)
 h_1 hauteur après rupture. (m)

$$KCU = \frac{P \cdot (h_0 - h_1)}{S_0}$$



<https://youtu.be/DEwJWoiIrCk>

Essai de résilience

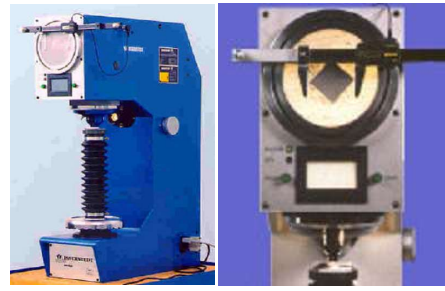


<https://youtu.be/VaLoixRPvEA>

Essai de dureté

4. Essai de dureté :

Cet essai est destiné à vérifier la dureté superficielle d'une pièce. Il consiste à indenter la surface de la pièce à tester à l'aide d'un pénétrateur **sphérique (dureté Brinell)**, **conique (dureté Rockwell)** ou pyramidal à base carrée (**dureté Vickers**) sur lequel on applique une charge connue. La mesure de l'aire de l'empreinte, rapportée à la charge appliquée permet de déduire la dureté.



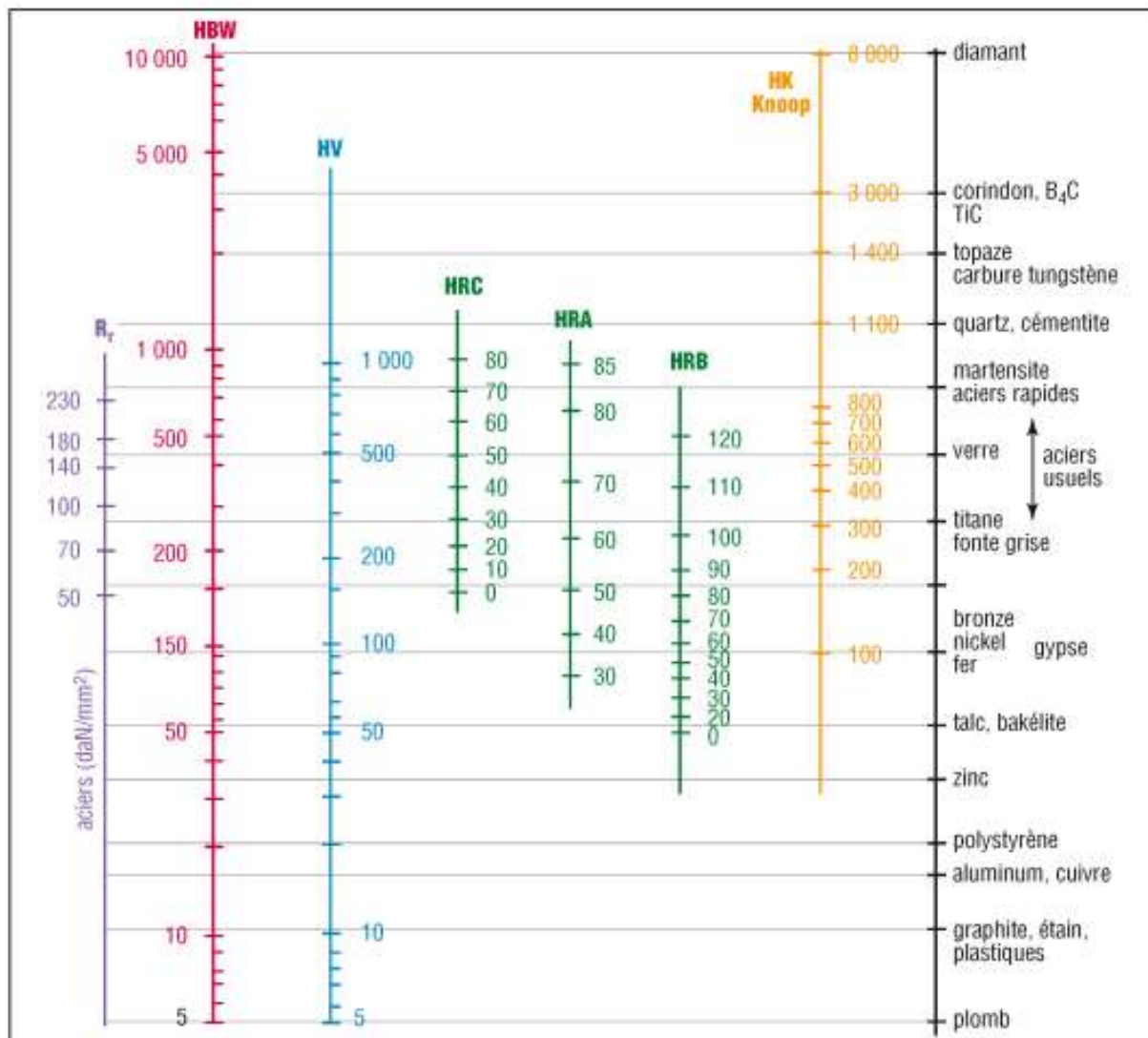
La dureté de symbole général H (Hardness), caractérise la capacité d'un matériau à résister :

- Au marquage (empreintes, rayures,...)
- A l'usure et à l'érosion

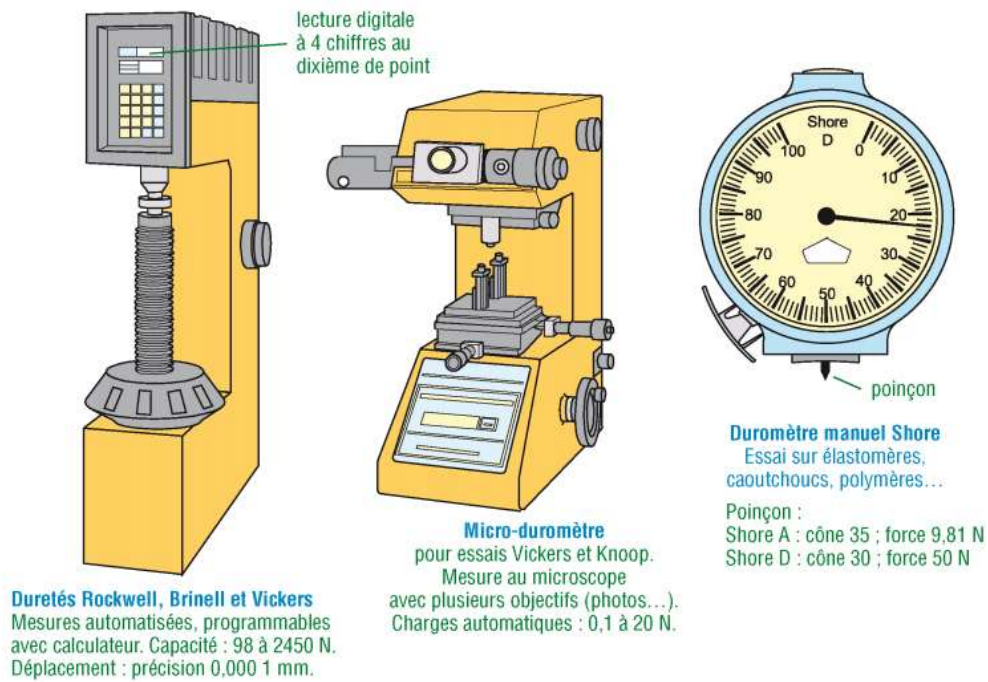
Elle peut être mesurée en évaluant une empreinte laissée en surface par un poinçon agissant sous l'action d'une force connue.

Principaux essais de dureté											
essai	symboles	principe et conduite de l'essai									
Brinell HB ISO 6506	HBW	bille $\varnothing d$ en carbure surface $a = \varnothing \text{ moyen} = (a_1 + a_2)/2$	$HBW = \frac{0,102 \times F}{S} \text{ avec}$ $S = \frac{\pi d}{2} (d - \sqrt{d^2 - a^2})$ (F en N, a et d en mm) $0,981 \leq F \leq 2\,942 \text{ daN}$ $0,102 \approx 1/9,807$								
Vickers HV ISO 6507 KNOOP ISO 4545	HV 100 HV 50 HV 30 HV 20 HV 10 HV 5 ... HV 0,01	pyramide à base carrée 136 <table><tr><td>HV</td><td>HV 100</td><td>HV 50</td><td>etc.</td></tr><tr><td>F (N)</td><td>980,7</td><td>490,3</td><td>...</td></tr></table> pour HV 100, F = 100 kg	HV	HV 100	HV 50	etc.	F (N)	980,7	490,3	...	$HV = 0,1891 \frac{F}{d^2} \text{ avec}$ $d = \frac{d_1 + d_2}{2}$ (F en N, d_1 et d_2 en mm) Variante : essai Knoop $d_1 = 7,1 d_2$; $HK = 1,451 F/d_1^2$; F en N ; d en mm.
	HV	HV 100	HV 50	etc.							
F (N)	980,7	490,3	...								
Rockwell HR ISO 6508	HRA HRC HRD HRBW HREW HRFW HRGW HRHW HRKW HRN HRTW	cône ou bille 120 précharge (marquage) $F_0 (100 \text{ N})$ mise en charge $F + F_0$ relâchement F_0 0,2 mm (ou 0,1) $h = \text{enfoncement rémanent}$ dureté HR = $100 - \frac{h}{0,002}$ échelle de dureté (C, B, A...) billes : $d = 1,5875 \text{ ou } 3,175 \text{ mm}$	<table><tr><td>A-C-D</td><td>100 et 0,002</td></tr><tr><td>B-E-F-G-H-K</td><td>130 et 0,002</td></tr></table>	A-C-D	100 et 0,002	B-E-F-G-H-K	130 et 0,002				
	A-C-D	100 et 0,002									
B-E-F-G-H-K	130 et 0,002										

Duretés	Principe d'obtention	Désignation (exemple)
Brinell HBW NF EN ISO 6506	Elle est obtenue par calcul. Après essai on mesure l'empreinte laissée par une bille en carbure de tungstène (diamètre : 1-2,5-5-10 mm) et la valeur de la charge F appliquée pour obtenir cette empreinte. Temps d'application 2 à 8 s, temps de maintien usuel 10 à 15 s. Utilisation : tous métaux.	600 HBW 1/30/20 : dureté mesurée de 600 HBW ; avec une bille de 1 mm ; charge F de 30 kg (294,2 N) ; maintien 20 s. (temps omis si $10 \text{ s} < t < 15 \text{ s}$).
Vickers HV NF EN ISO 6507	Elle est obtenue par calcul après essai. On mesure l'empreinte laissée par une pyramide droite en diamant à base carrée d'angle au sommet 136° et la valeur de la charge F appliquée pour obtenir l'empreinte. Temps d'application 2 à 8 s, maintien 10 à 15 s. Utilisation : tous métaux. Variante : essai Knoop, symbole HK, microduretés, empreinte en forme de losange, matériaux durs pour petites pièces et fines sections. NF EN ISO 4545.	640 HV 30/20 : dureté mesurée de 640 HV ; sous charge F de 30 kg (249,2 N) ; maintien de 20 s. (temps omis si $10 \text{ s} < t < 15 \text{ s}$).
Rockwell HR NF EN ISO 6508	La dureté, contrairement aux précédentes, est obtenue par lecture directe d'une longueur d'enfoncement d'un pénétrateur : billes acier (S) ou carbure (W), 1,59 et 3,18 mm ou cône diamant (échelles A-C-D-N). La précharge (F_0) permet de faire une empreinte initiale et par là d'éliminer les incertitudes propres aux défauts de surface. Utilisation : HRC (métaux ferreux) ; HRA et HRD (matériaux très durs : carbures, aciers trempés...) ; HRBW (non ferreux et métaux en feuilles) ; HREW, HRFW, HRGW (métaux doux) ; HR15N-30N-45N-15TW-30TW-45TW (plastiques).	70 HR30T W : dureté mesurée de 70 dans l'échelle HR30T ; bille en métal dur W (S = acier, W = carbure dur). 60 HRBW : dureté mesurée de 60 dans l'échelle HRB ; bille en carbure W. 62 HRC : dureté mesurée de 62 dans l'échelle HRC ; cône diamant.



Comparaison des échelles de dureté usuelles



5. Auto évaluation les essais mécaniques : tableau KWLS

K	W	L	S

Chapitre 2 : typologie de systèmes de production

Les systèmes de production sont constitués principalement par des machines qui assurent la transformation de la matière d'œuvre. Ces machines à besoins d'une énergie pour alimenter ses actionneurs. Ses derniers convertissent l'énergie d'entrée disponible sous une certaine forme (électrique, pneumatique, hydraulique) en une énergie utilisable sous une autre forme.

Exemples :

- Energie mécanique destinée à provoquer une rotation de broche (l'actionneur pouvant être alors un moteur électrique).
 - Energie mécanique destinée à provoquer une translation de chariot (l'actionneur pouvant être un vérin hydraulique ou pneumatique).
 - Energie thermique destinée à chauffer un four (l'actionneur étant alors une résistance électrique)
- On classe les systèmes de production en deux catégories selon l'énergie utilisée :

I. Les systèmes de production utilisant l'énergie électrique

Ce sont généralement des machines ayant comme actionneur « **un moteur électrique** » qui permet d'obtenir un mouvement de rotation directe ou mouvement de translation par l'intermédiaire d'un organe de transformation de mouvement (pignon crémaillère, bille manivelle, ...).

- Actigramme d'un moteur électrique :



Exemples

- Les machines-outils d'usinages : Tour, Fraiseuse, Perceuse, rectifieuse, Centre d'usinage, ... etc
- Les systèmes de manutention : palan, convoyeur, ... etc

	
Convoyeur à rouleaux	Tour

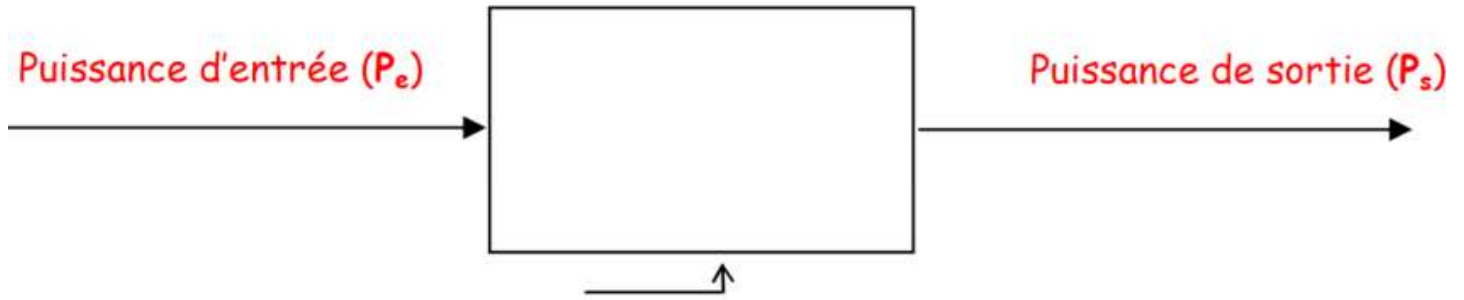
Il existe d'autres systèmes de production utilisant l'énergie électrique, et ayant d'autres types d'actionneurs (exemple : résistance électrique, diode laser, ... etc.)

	
Four pour traitement thermique	Machine de découpe laser

II. Les systèmes de production utilisant l'énergie pneumatique / Hydraulique

Ce sont généralement des machines ayant comment actionneur « **un vérin pneumatique ou hydraulique** » qui permet d'obtenir un mouvement de translation.

- Actigramme d'un vérin pneumatique ou hydraulique :



- Examples

- **Machines de conditionnement des produits** : (emballage, marquage, ... etc)
- **Presses hydrauliques** (utilisées dans les procédés de déformation plastique)



Presse hydraulique



Système d'emballage

III. Auto évaluation : tableau KWLS

K	W	L	S

Chapitre 3 : typologie des outillages de production

Pour usiner une pièce sur une machine-outil on a besoin des outillages suivants :

- Un outil qui permet d'obtenir la forme souhaitée.
- Un porte-pièce pour fixer la pièce sur la machine.
- Un porte-outil pour fixer l'outil sur la machine.

I. Outillages de Tournage

- Description de la machine (Tour)

Les tours permettent de réaliser des surfaces hélicoïdales (filetage) et des surfaces de révolution : cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution).

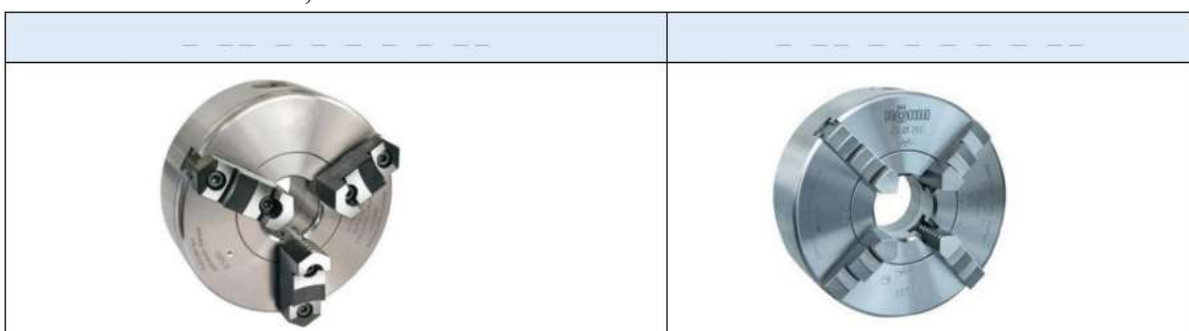
Le tour parallèle se compose essentiellement de cinq parties :

1. Le bâti, partie inférieure qui supporte le reste de la structure ainsi que le bac à copeaux et le réservoir du lubrifiant-réfrigérant.
2. La poupée fixe ou bloc support de broche et système de pignonneries (vitesses, avances de chariotage et filetage). Cet ensemble a remplacé le système de poulies étagées et de courroies ainsi que le système de harnais de tour.
3. Le banc avec les glissières longitudinales,
4. L'ensemble chariot longitudinal, le chariot transversal, tourelle porte-outils et systèmes d'avance.
5. La contre-poupée ou poupée mobile.



1. Porte pièces de tournage : « mandrin »

Le mandrin est un élément du tour sur lequel 3 mors concentriques (ou 4 mors à serrage indépendant) serrent la pièce à usiner. Le mandrin est mis en rotation à l'aide d'un moteur de broche. Le mandrin, donc la broche permet le passage de pièces longues. Lors de l'usinage de la pièce, l'axe des surfaces générées est confondu avec l'axe de la broche, donc du mandrin.



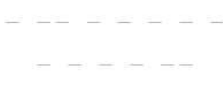
Les mors sont interchangeables et doivent correspondre au type de mandrin. Il existe 2 types de mors : les mors durs et les mors doux.

- **Mors durs** : Les mors durs ont une surface de contact striée, ce qui génère une déformation de la pièce. Les mors durs sont donc utilisés pour une prise de pièce brute sur une longueur suffisante.

- **Mors doux** : Les mors doux sont usinés aux dimensions de la pièce à maintenir, ce qui augmente la surface de contact entre la pièce et les mors. Les mors étant usinés, l'axe des mors correspond à l'axe de la broche, ce qui minimise la dispersion de reprise.

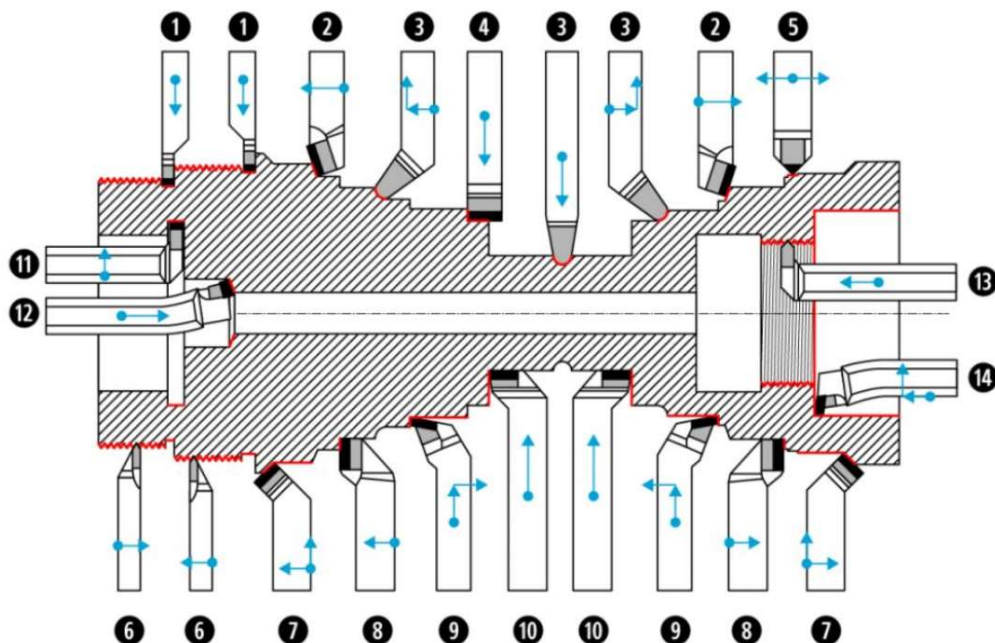
2. Les portes outils :

C'est l'organe qui assure la mise en position des surfaces de référence de l'outil par rapport à un organe de référence de machine, Il peut être standard ou modulaire

Porte-outil	Description	Image
	Les outils sont placés sur la tourelle. Cette dernière tourne afin de placer l'outil choisi en position d'usinage.	
	L'outil est placé dans un support amovible. Ce dernier se fixe sur la machine.	
	Elle sert à mettre en place les forets et les alésoirs pour le perçage ou de maintenir un pièce longue lors d'un montage entre point ou montage mixte par l'intermédiaire d'une pointe, l'axe défini par la poupée mobile est confondu avec l'axe de broche	

3. Les Outils :

Sur un tour on dispose de deux classes d'outils : Outils intérieurs ; Outils extérieurs. La figure ci-dessous représente les différentes opérations d'usinage pouvant être exécutées sur les tours



II. Outillages de Fraisage

1. - Description de la machine (Fraiseuse)

Les fraiseuses sont utilisées pour l'usinage de surfaces planes. Ces machines peuvent également servir pour des opérations de contournage. L'outil, une fraise, est fixé dans la broche et est animé d'un mouvement de rotation (mouvement de coupe). Il peut se déplacer en translation par rapport à la pièce suivant trois directions.

2. - Port-pièces

a.

L'étau est positionné sur la table de la fraiseuse et est utilisé pour les pièces prismatiques. L'étau est constitué d'un mors fixe et d'un mors mobile. Le mors fixe est lié au bâti et le mors mobile est en liaison glissière avec le bâti et permet le serrage de la pièce qui sera placée entre les mors de l'étau et éventuellement sur des cales.

b.

Elle permet de fixer les pièces minces grâce aux trous taraudés M8 situés tous les 30mm. La plaque est ensuite mise en position dans l'étau de fraiseuse

c.

On l'utilise pour les pièces de formes extérieures cylindriques. Cela permet de monter des pièces cylindriques sur une fraiseuse pour usiner des poches, ou des trous de passage pour les vis (4 trous à 120°)

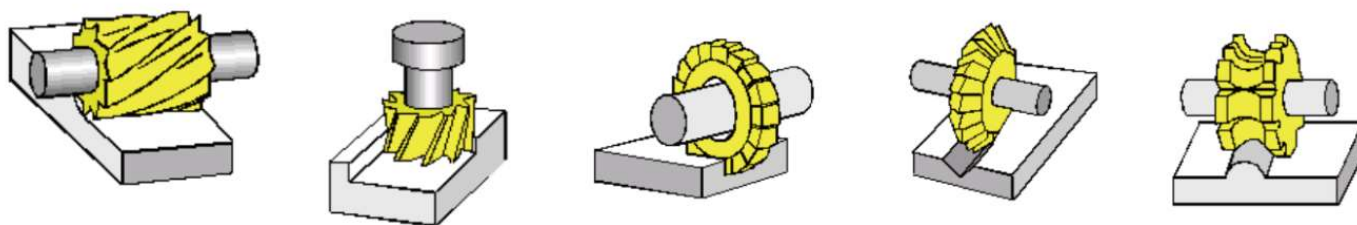
3. Porte-outils :

C'est l'organe qui assure la mise en position des surfaces de référence de l'outil (Fraise) par rapport à un organe de référence de machine (broche en fraisage)

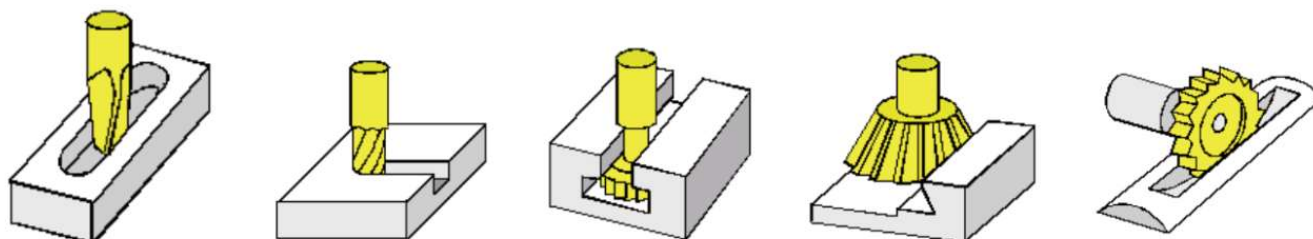


Porte-outil	Description	Image
----- ----- -----	Les fraises et les forets sont placés dans leur porte-outil respectif dans le magasin à outils. A chaque appel de l'outil, celui-ci est mis en place automatique dans la broche.	
----- ----- -----	Cela permet de monter une fraise à queues cylindriques ou un foret. La pince est choisie en fonction du diamètre de l'outil à maintenir. On utilise la clé à ergot pour serrer la bague de maintien.	
----- ----- -----	S'utilise pour des fraises à trous lisses.	
----- ----- -----	S'utilise pour des fraises (ou foret) à queue conique. Pour désolidariser le cône et le foret, on utilise un chasse-cône. Il suffit de l'enfoncer dans la lumière latérale et de frapper à l'aide d'un maillet. On utilise ces adaptateurs pour la poupée mobile, en tournage conventionnel.	

4. Exemples d'outils de fraisage :



FRAISE A QUEUE



III. Auto évaluation : tableau KWLS

K	W	L	S

Chapitre 4 : mise et maintien en position (2^{ème} norme)

I. Définition :

Isostatisme : C'est l'ensemble des composants qui concourent à la liaison de la pièce et du porte pièce en permettant l'élimination des degrés de liberté (maximum 6). L'ensemble de ces composants doit permettre une remise en position identique après un nouveau montage pour assurer une bonne précision à l'usinage.

Règles d'Isostatisme :

-
-
-
-
-

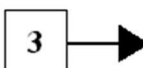
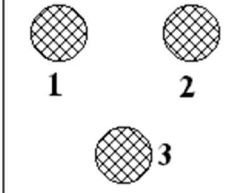
II. 1^{ère} partie de la norme (NF E 04-013)

-
-
-
-

1. Symboles de base :

Symboles de base	
	

2. Exemples :

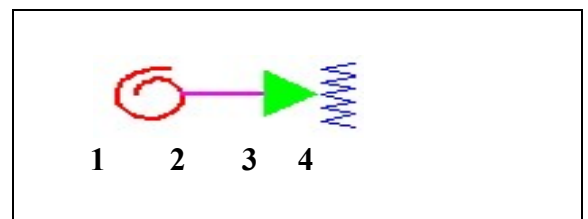
Exemples équivalents		
Symbolisations frontales équivalentes		Symbolisation projetée
Représentation normale	Représentation simplifiée	
1 - 2  3 		

III. 2^{ème} partie de la norme (NF E 04-013)

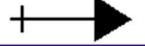
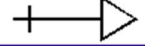
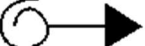
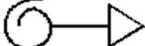
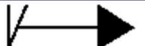
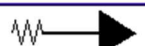
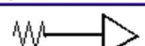
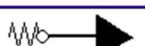
Elle concerne les symboles utilisés sur les contrats de phase pour représenter les éléments d'appui et de maintien des pièces au cours de l'usinage.

Chaque symbole se construit à l'aide de quatre éléments.

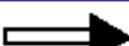
- 1 - Type de technologie
- 2 - Nature de la surface de la pièce
- 3 - Fonction de l'élément technologique
- 4 - Nature du contact avec la pièce



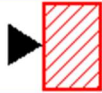
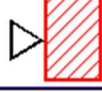
1. Type de technologie :

Appui fixe		
Centrage fixe		
Système à serrage		
Système à serrage concentrique		
Système à réglage irréversible		
Système de soutien réversible		
Centrage réversible		

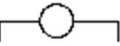
2. Nature de la surface de la pièce :

Surface usinée (1 trait)	
Surface brute (2 traits)	

3. Fonction de l'élément technologique :

Fonction			Symbolisation frontale	Symbolisation projetée
MIP	Mise en position rigoureuse	Appui		
	Centrage	Centreur complet		
		Centreur dégagé (locating)		
MAP	Immobilisation de la pièce	Serrage		

4. Nature du contact avec la pièce :

				
Contact ponctuel	Touche plate	Contact strié	Pointe fixe	Pointe tournante
				
Touche dégagée	Cuvette	Vé	Palonnier	Orienteur

IV. Auto évaluation : tableau KWLS

K	W	L	S

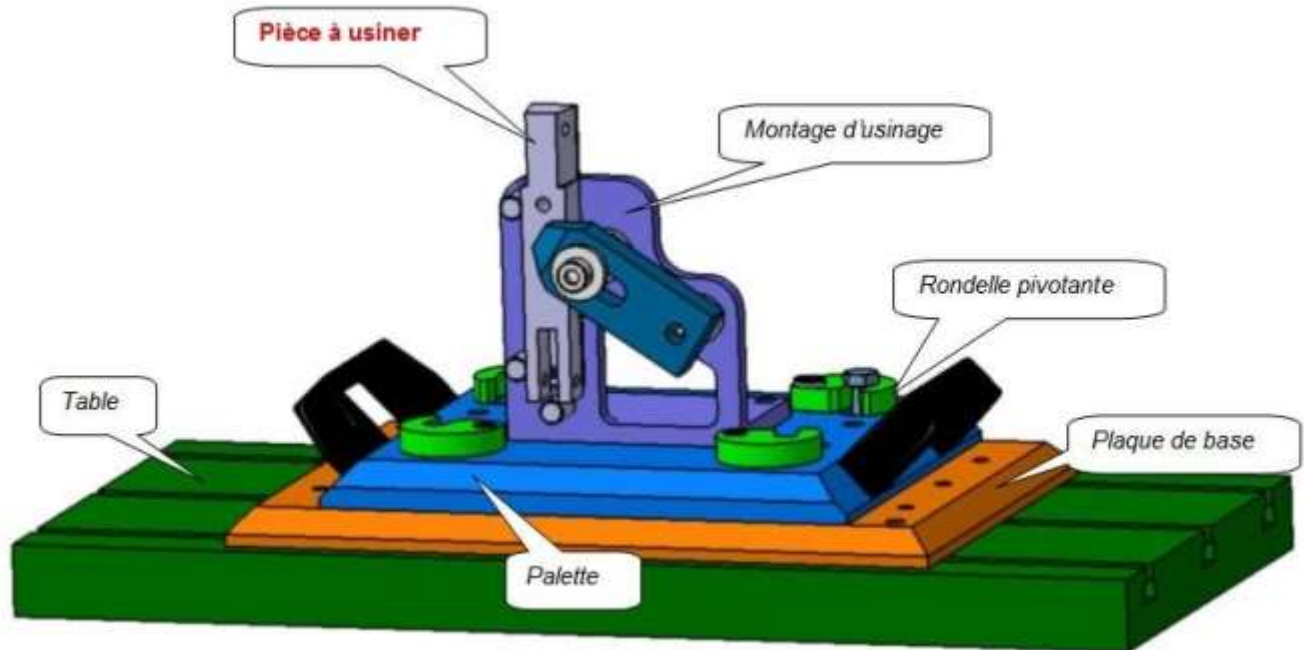
Chapitre 5 : montage d'usinage

I. Généralités :

1. Définition :

Un montage d'usinage est un outillage utilisé pour positionner et maintenir une pièce solidement dans l'espace de travail de la machine-outil.

La conception du montage d'usinage joue un rôle important pour obtenir une pièce usinée correspondant aux exigences du dessin de définition.



2. Rôles :

Un montage d'usinage doit permettre :

- La stabilité de la pièce sous les sollicitations dues aux efforts de coupe.
- Un montage et un démontage facile et rapide de la pièce.
- L'accès des outils de coupe aux surfaces à usiner.
- L'évacuation des copeaux et du lubrifiant.
- La sécurité de l'opérateur pour la mise en œuvre du montage.
- L'obtention des bonnes cotes de la pièce à usiner.

II. Etapes pour l'élaboration d'un montage :

1. Eléments nécessaires au dessinateur d'outillage :

- Dessin de définition,
- L'analyse de phase,
- Le dossier machine,
- Les normes d'établissement des dessins.

2. Le dessinateur doit pour l'élaboration du montage :

- Chercher à exploiter les outillages commerciaux,
- Utiliser des éléments normalisés (poignée, canon...),
- Stabiliser les montages avant l'usinage pour éliminer les tensions internes de coulée ou de soudure,
- Donner une masse importante aux portes pièces susceptibles de vibrer
- Simplifier les commandes et les mécanismes,
- Penser à la sécurité de l'opérateur,
- Prévoir l'évacuation des copeaux,
- Prévoir l'évacuation du lubrifiant, ou un circuit de lubrification intégré au montage,
- Prévoir des détrompeurs qui éviteront de mal monter la pièce,
- Si les cales de réglages sont nécessaires, les attacher au montage par une chaînette (pour éviter la perte),
- Penser à la manutention du montage (manilles)
- Prévoir l'outillage de serrage tel que clef spéciale

III. Types des Montages d'Usinage : (types des portes pièces)

En fonction de la morphologie des pièces et de l'importance de la série à fabriquer, il existe trois types de montage d'usinage :

- Les _____

Équipement normal des postes de travail : étau, mandrin ... etc.

- Les _____

Un montage spécifique ou dédié à une phase d'usinage, il est figé et non réutilisable.

- Les _____

Un montage qui utilise des éléments standards qui sont assemblés.

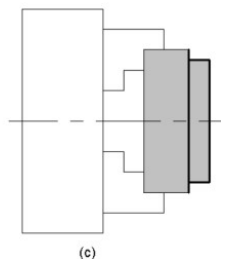
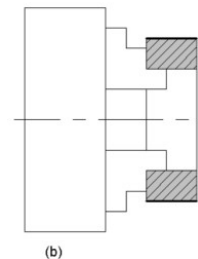
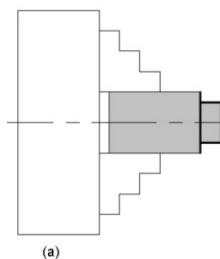
1. Portes pièces standards :

Ils font partie de l'équipement normal des postes de travail : étau, mandrin, etc. Ils sont composés d'un élément ou de plusieurs éléments associés :

a. - Cas de tournage

Montage

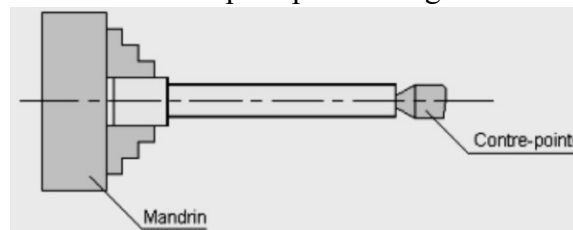
Lorsque les pièces sont de dimensions relativement petites, on les monte sur des mandrins à 3 ou 4 mors concentriques.



On peut fixer des pièces de forme cylindrique ou polygonale (nombre de côtés égal ou multiple du nombre de mors). Ce type de montage permet la réalisation de trous, alésages, taraudages, etc. en extrémité. Les mors sont montés à l'endroit (a, b) ou à l'envers (c).

Montage

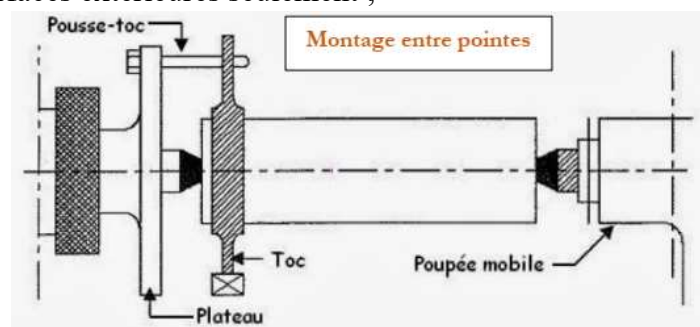
Il assure à la pièce, déjà tenue en l'air à une extrémité, un soutien à l'aide de la contre-pointe à l'autre extrémité. Il est utilisé généralement pour l'usinage de pièces relativement longues. Ce type de montage nécessite la réalisation d'un centrage avec un foret à centrer pour pouvoir loger la contrepointe.



Montage

La pièce à usiner montée entre pointes est entraînée par la broche par l'intermédiaire d'un plateau muni d'un doigt d'entraînement appelé toc. Ce montage est utilisé :

- En finition pour la reprise des pièces afin d'obtenir les tolérances géométriques imposées.
- Pour éviter la flexion des pièces de forme allongée ;
- Pour l'usinage des surfaces extérieures seulement ;



b. Cas du fraisage :

L'étau :

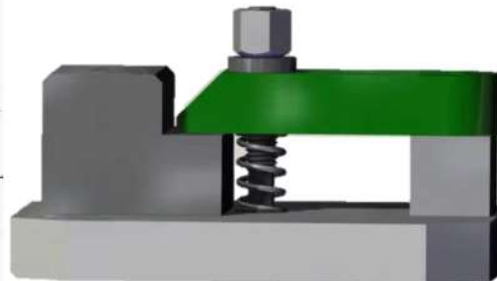
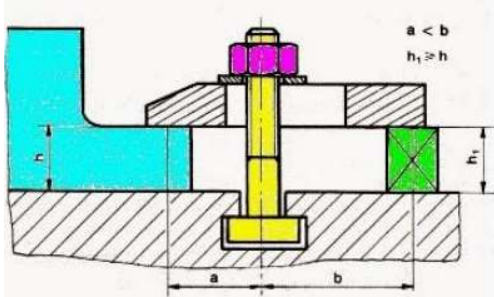
Un étau est un dispositif mécanique qui permet la « mise en position » et le « maintien en position » (serrage) d'une pièce.

En général, l'étau est composé d'une partie fixe (généralement liée à la table de machine-outil), d'une partie mobile, et d'un système de serrage.



Bridage direct sur la table :

Les brides sont des mécanismes de fixation assurent le maintien des pièces pendant l'usinage.



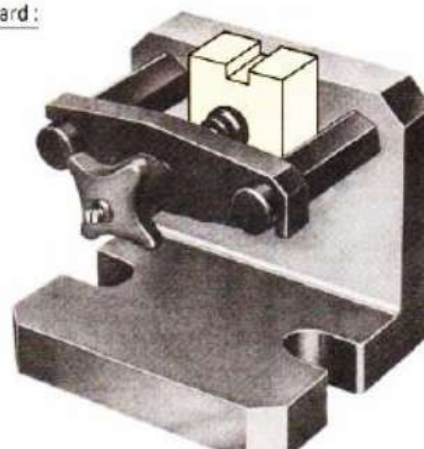
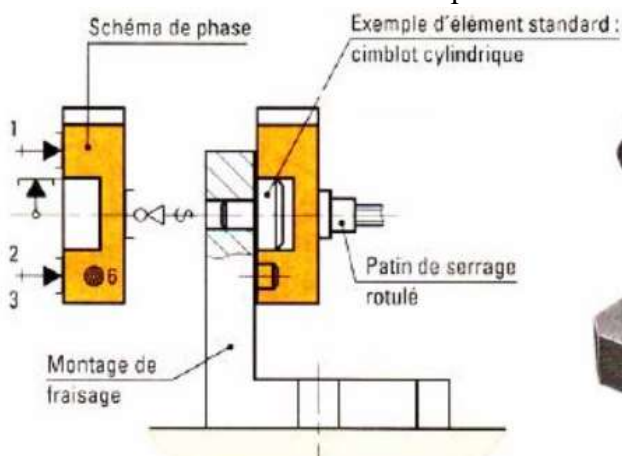
2. Montages d'usinage Dédiés (Rigides)

Dans le cas d'un petit nombre de pièces à fabriquer, les bridages avec des éléments standards sont possibles. Cette solution est inacceptable pour les travaux de série. Pour diminuer le prix de revient d'une fabrication, il faut diminuer au maximum le temps de montage et de démontage de la pièce.

Les porte-pièces spécifiques sont généralement conçus spécifiquement pour une phase. On dit qu'ils sont dédiés à une phase.

Ils sont conçus de la manière suivante :

On rapporte des éléments standards (éléments Norelem par exemple) sur un élément moulé ou soudé, ce qui permet de réduire les coûts de réalisation et d'exploitation.

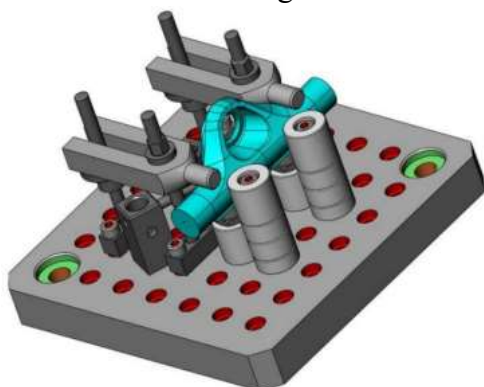


3. Montages modulaires

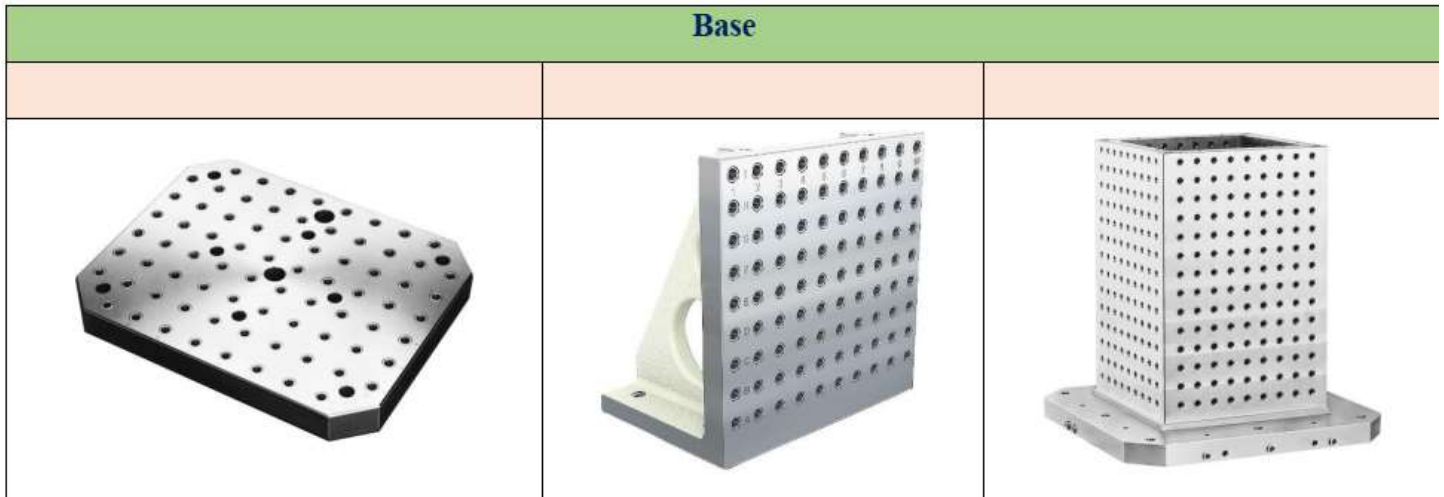
L'utilisation des commandes numériques, la fabrication par lots restreints, l'évolution constante des produits demandent plus de flexibilité dans les moyens de production. Les porte-pièces modulaires composés d'éléments standard combinés pour la durée d'une fabrication (et réutilisables) répondent à ces exigences.

- Technologies utilisées :

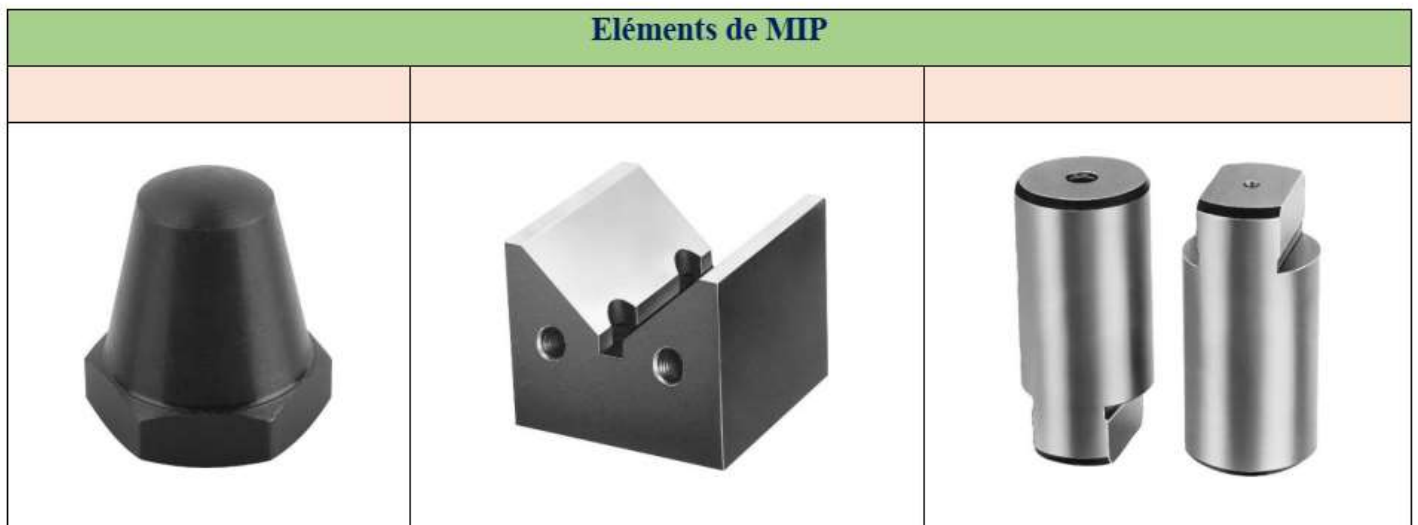
Il existe deux technologies : • Technologie _____ • Technologie _____



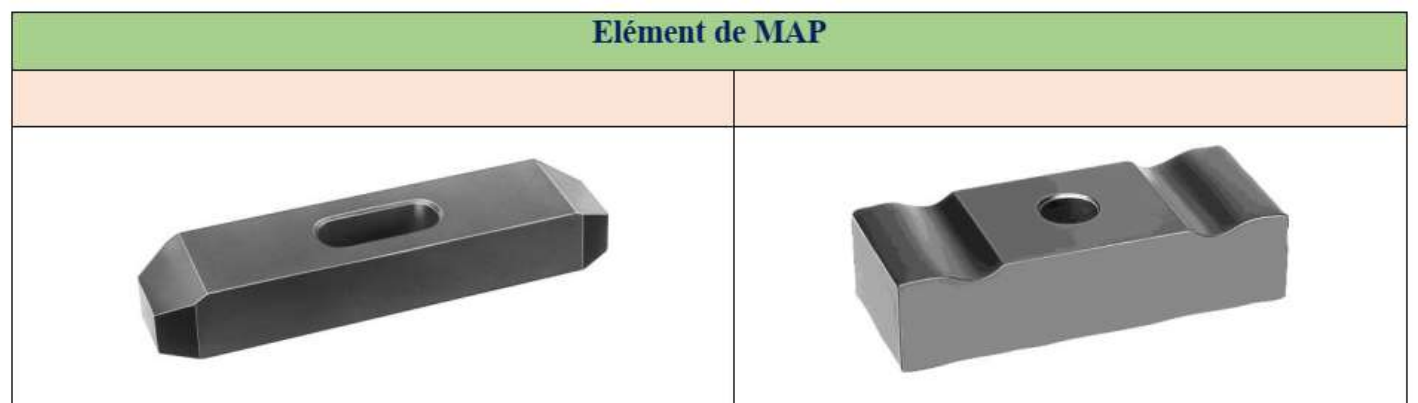
Base



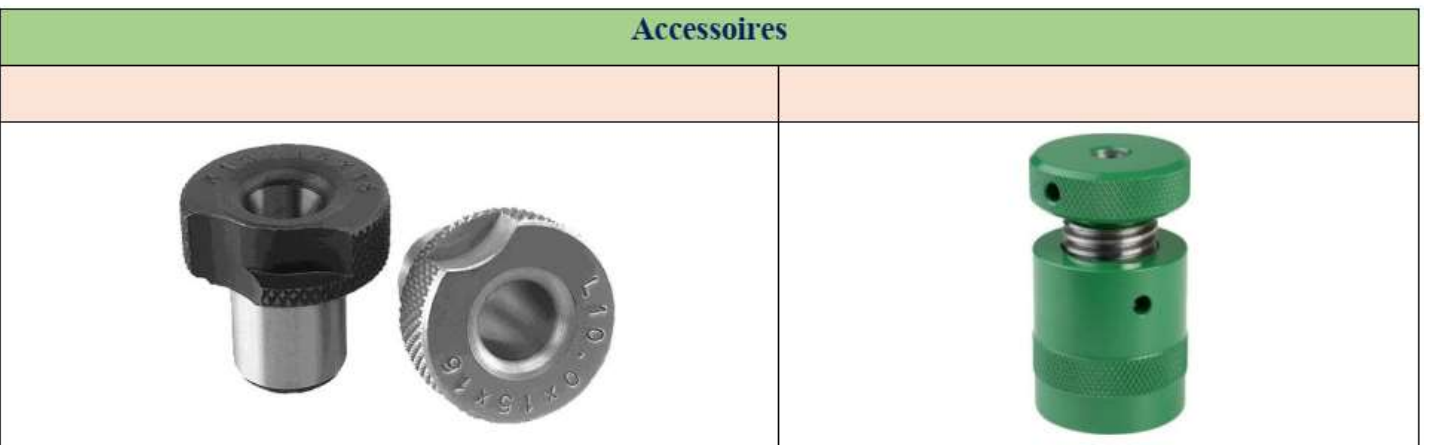
Eléments de MIP



Elément de MAP



Accessoires

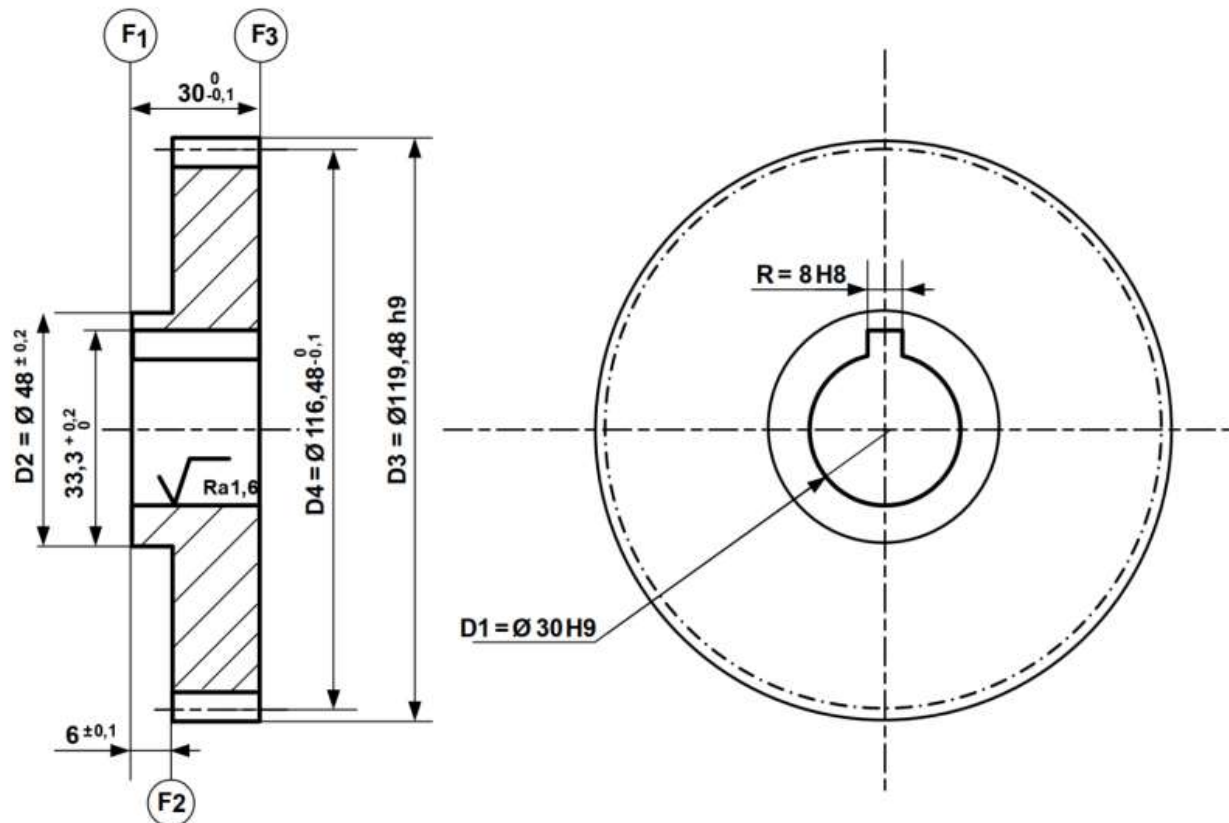


4. Comparaison :

	Montage SPECIFIQUE OU DEDIE	Montage MODULAIRE
AVANTAGES		
INCONVENIENTS		
DOMAINES D' APPLICATION		

IV. Application :

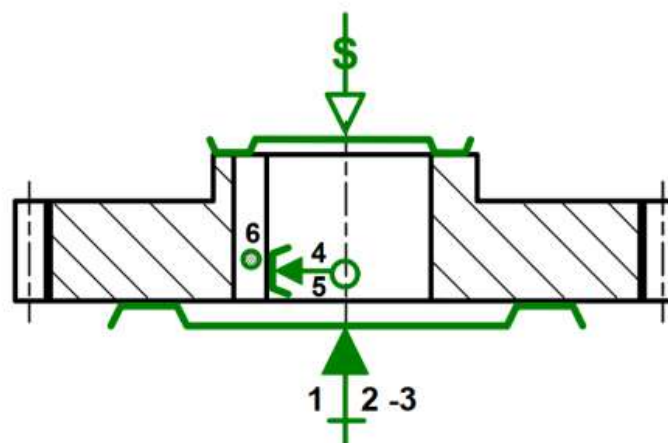
Dessin de définition



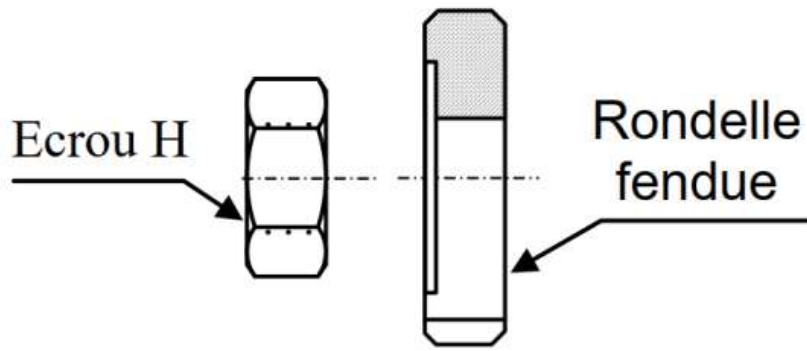
APEF

N° de phase	Désignation	Surfaces usinées
00	Contrôle du brut	Etiré Ø 120 ^{±0,4} L = 34 ^{±0,5}
10	Tournage	F1, (D2, F2), D1
20	Tournage	F3, D3
30	Electroérosion	Rainure R
40	Taillage des dentures	D4
50	Traitements thermiques	D4
60	Rectification des dentures	D4
70	Contrôle finale	

MIP & MAP (symboles technologiques)



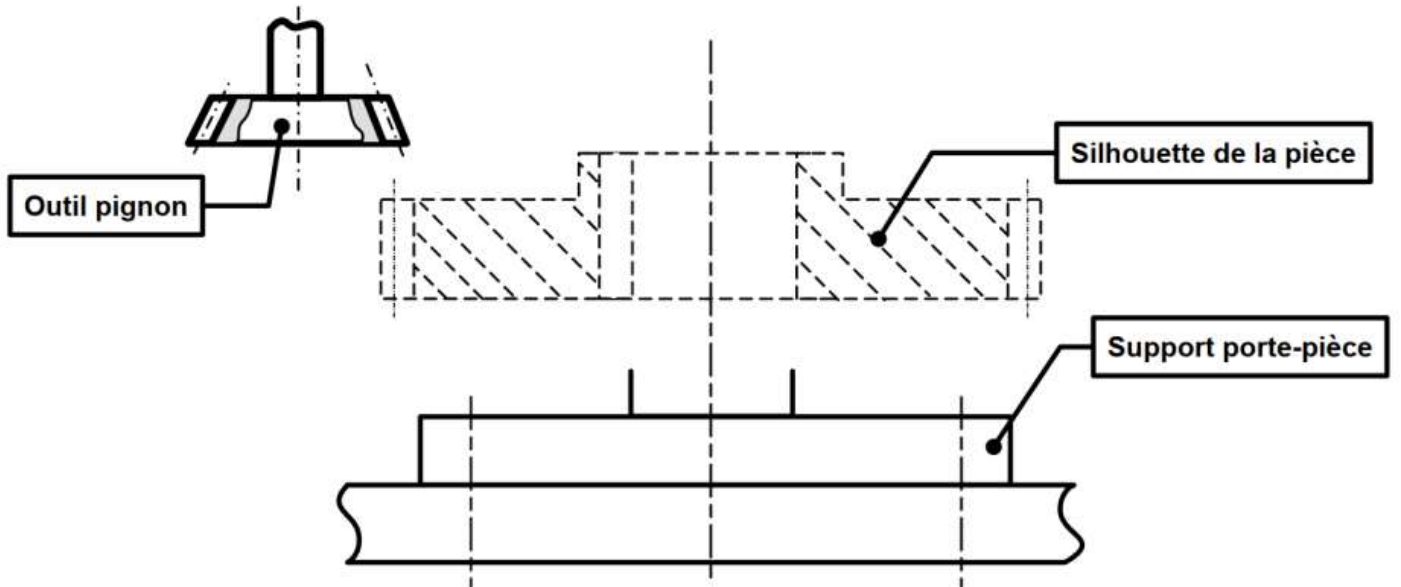
Elément standards disponible



Travail demandé :

Compléter le montage d'usinage relatif à la phase 40 de taillage de la denture D4, en matérialisant :

- l'appui plan (1-2-3) sur F3 ;
- le centrage court (4-5) sur D1 ;
- la butée (6) sur R ;
- le serrage sur F1

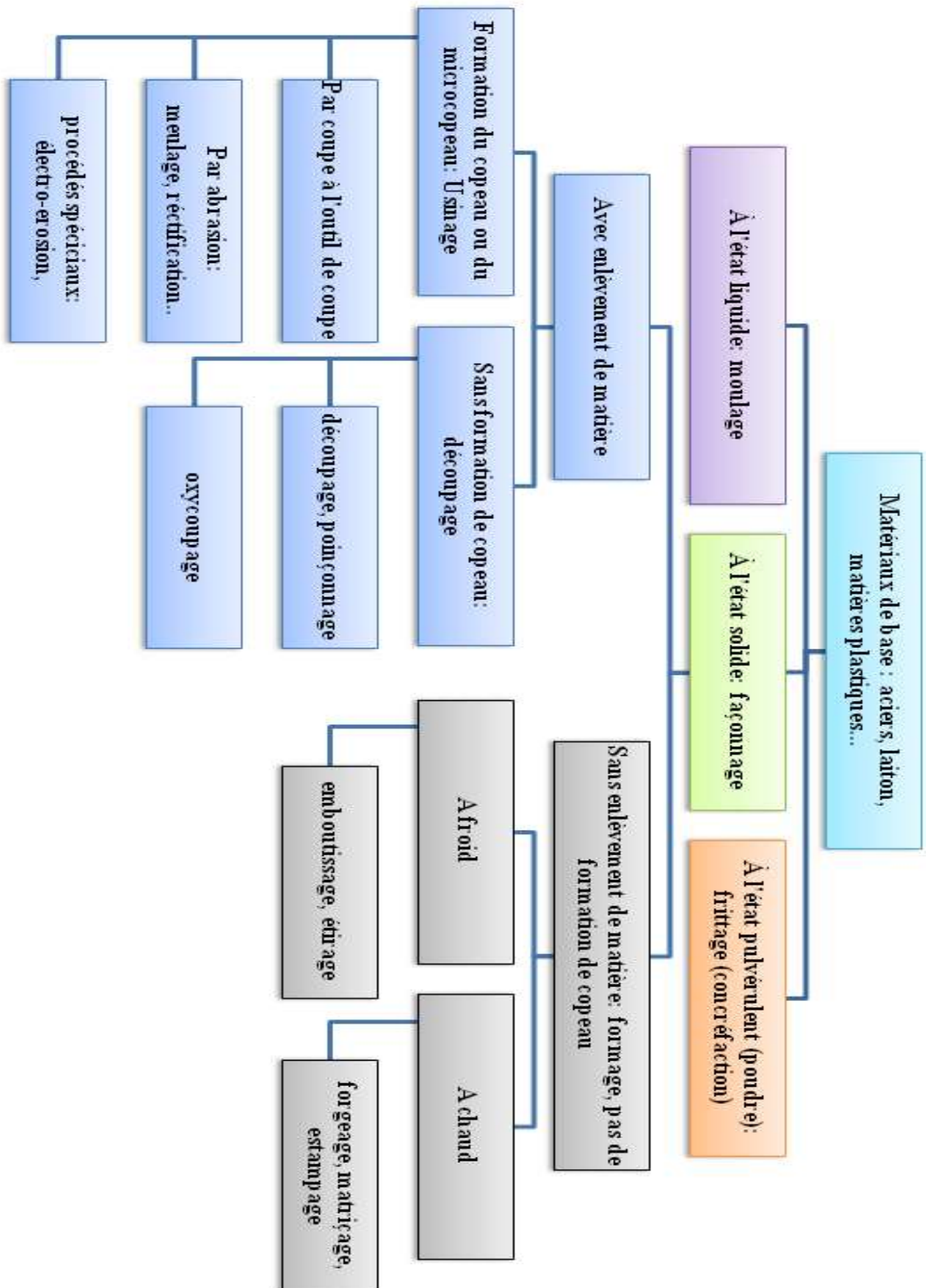


V. Auto évaluation : tableau KWLS

K	W	L	S

Chapitre 6 : procédés de fabrication des pièces

I. Généralités sur la mise en forme des pièces mécaniques :



II. Le moulage :

1. Principe et types :

Le moulage en général consiste à couler un matériau en fusion dans un moule comportant la forme de la pièce. On distingue deux grands types de moulage :

- Moulage à moule permanent : sous pression et en coquille par gravité
- Moulage à moule non permanent : en sable, à la cire perdue

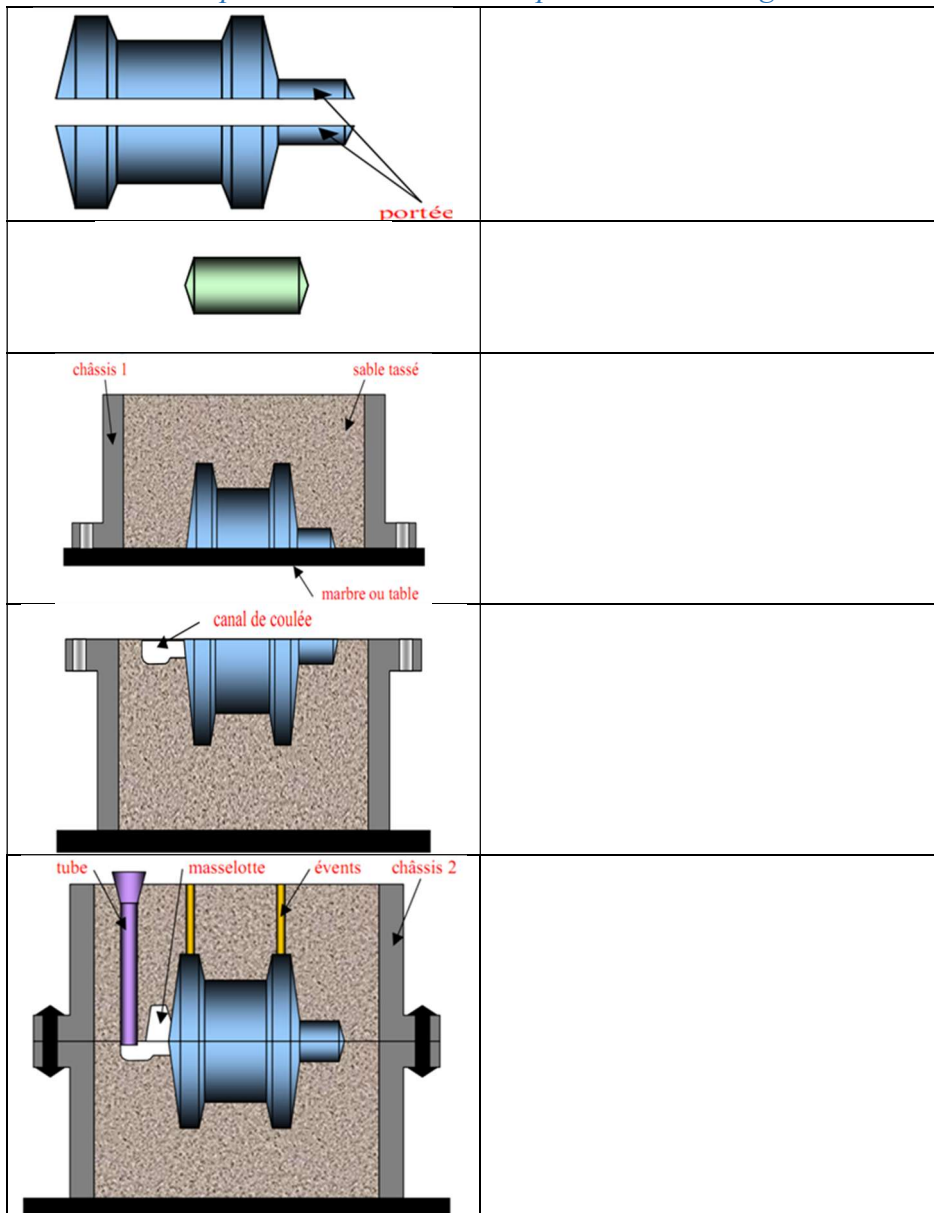
2. Eléments constitutifs d'un moule :

Élément	Rôle
Empreinte	Volume négatif qui donne la forme extérieure de la pièce.
Châssis	Cadre qui contient le matériau de moulage, notamment dans le moulage en sable.
Plan de joint	Surface de séparation entre les deux parties du moule.
Système de coulée	Canaux permettant d'acheminer le métal liquide vers l'empreinte.
Masselotte	Réservoir de métal liquide compensant le retrait pendant la solidification.
Noyau	Élément placé dans le moule pour réaliser des cavités ou des formes intérieures.
Évents	Passages permettant l'évacuation de l'air et des gaz.

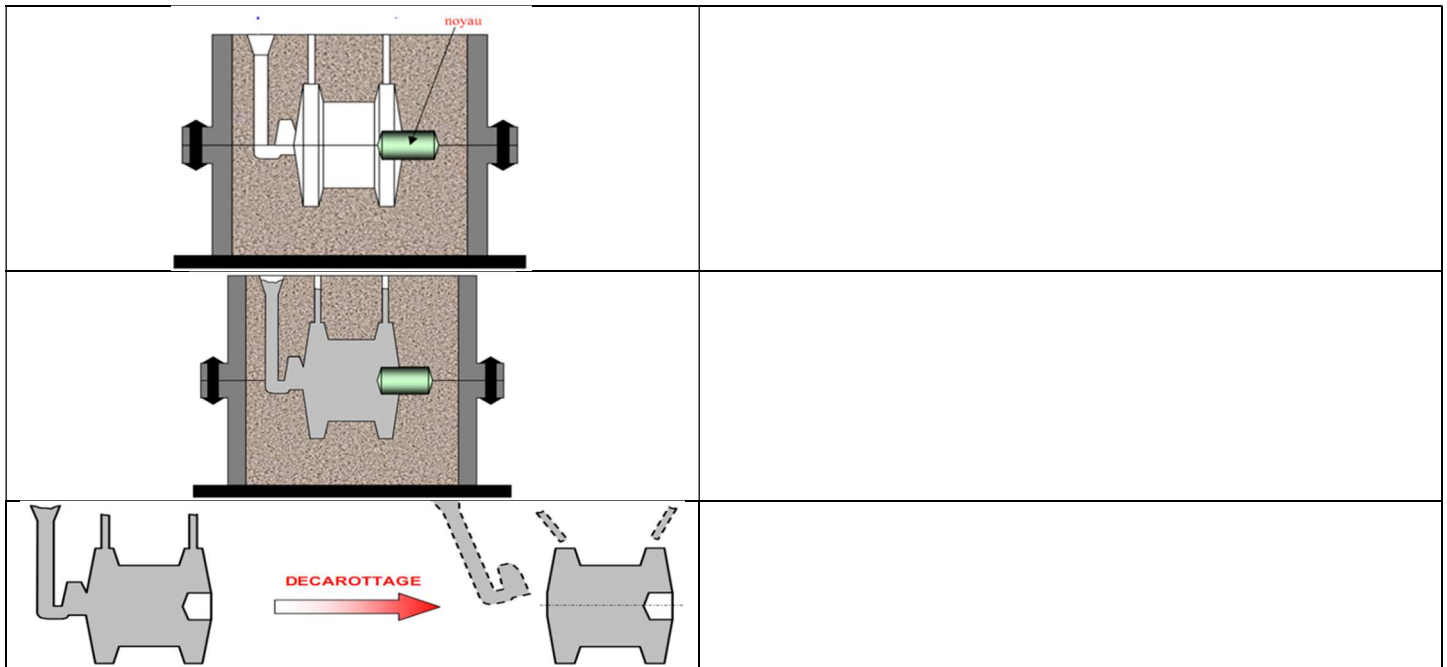
3. Moulage en sable :

Le métal liquide est coulé dans une empreinte réalisée dans un sable de moulage. Le moule est généralement constitué de deux châssis et peut contenir un ou plusieurs noyaux.

a. Etapes de réalisation d'une pièce avec moulage en sable :



<https://youtu.be/ePBotA2MTVg>



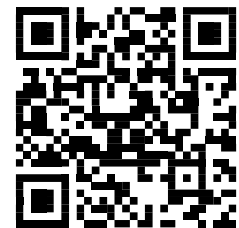
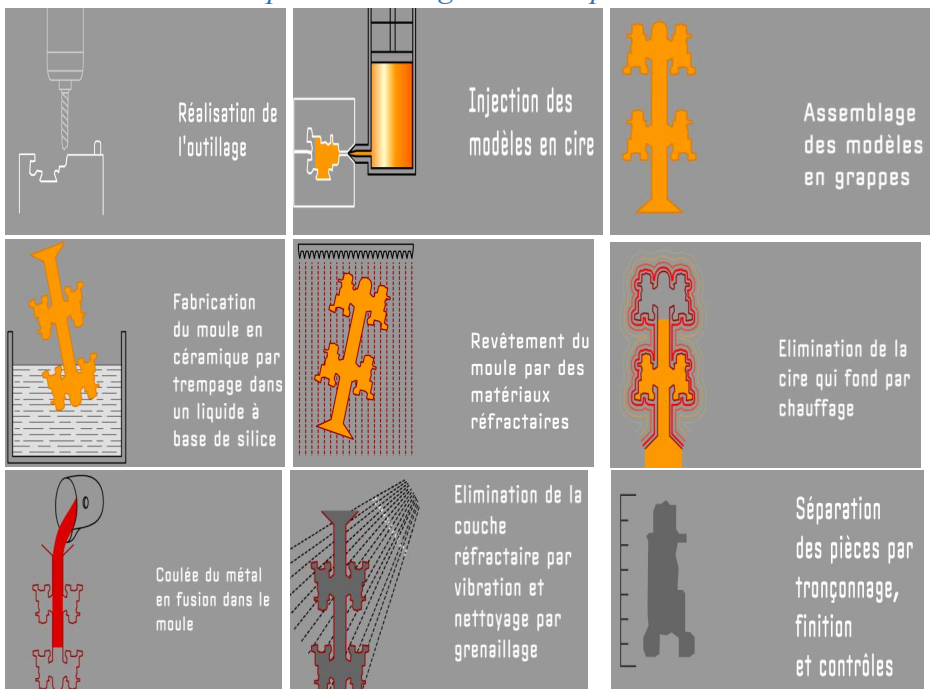
b. Avantages et inconvénients du moulage en sable :

Les avantages	Les inconvénients
• • •	• • •

4. Moulage à la cire perdue :

Un modèle en cire est fabriqué puis recouvert d'une succession de couches réfractaires. La cire est éliminée par chauffage, laissant une empreinte dans laquelle on coule le métal.

a. Les étapes du moulage à la cire perdue :



<https://youtu.be/wJJMc9NUP04>

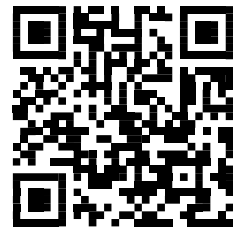
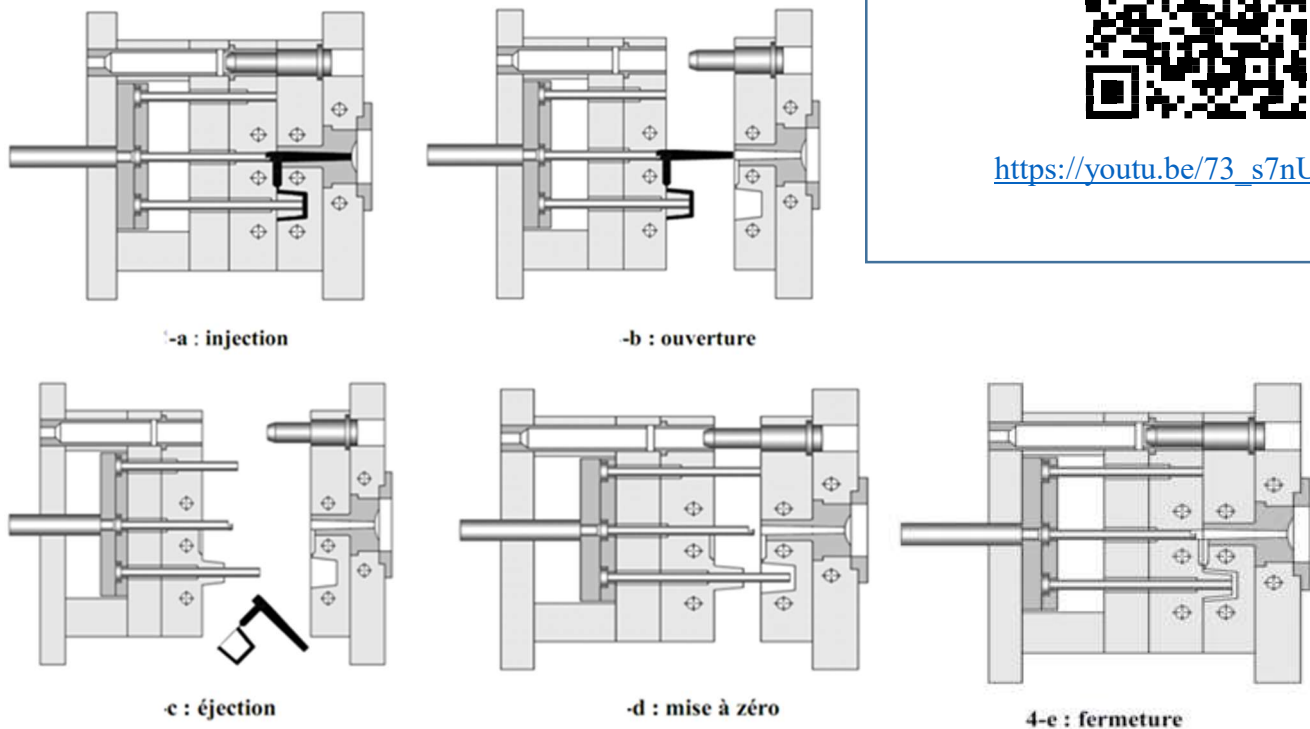
b. Les avantages et inconvénients :

Les avantages	Les inconvénients

5. Moulage sous pression :

Le métal liquide est injecté à grande vitesse et sous forte pression dans un moule métallique réutilisable. La pression est maintenue pendant une partie de la solidification.

a. Les étapes du moulage sous pression :



https://youtu.be/73_s7nUkMrY

b. Les avantages et les inconvénients :

Les avantages	Les inconvénients

6. Auto évaluation : procédé du moulage : tableau KWLS

Veillez remplir ce tableau en suivant la démarche suivante :

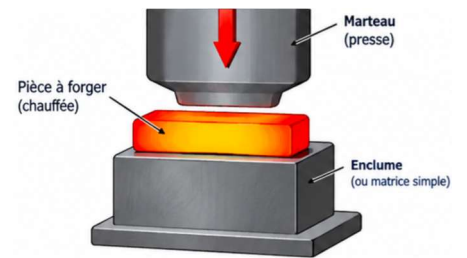
- Les colonnes **K** (ce que je sais) et **W** (ce que je veux apprendre ou savoir) doivent être remplies avant la séance du cours
- Les colonnes **L** (ce que j'ai appris) et **S** (ce que je veux approfondir) doivent être remplies à la fin du cours

K	W	L	S

III. Obtention des pièces par déformation :

1. Forgeage :

a. Principe :



b. Machines de forgeage :

Elles sont classées en deux grandes catégories selon leur mode d'action :

Les engins travaillant par chocs : Sont de 2 types :

Les.....:

Application :

Employées en forge libre, en estampage jamais en extrusion.
L'énergie fournie est limitée.

Les :

Application :

Employées en forge libre, en estampage mais jamais en extrusion.
L'énergie fournie est importante

Déformation Les engins travaillant par pression :

Les presses :

Application :

Employées en estampage, en matriçage et en extrusion.
L'énergie fournie est importante
Vitesse réglable

Les presses :

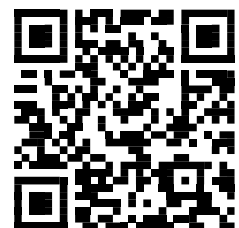
Système à excentrique, Système à vilebrequin, Système à vis

C'est un procédé d'obtention des pièces mécanique par déformation du matériau préalablement chauffé en appliquant des chocs ou des pressions, sans moule ou matrice.

- Les plus utilisées dans l'industrie.
- Employées en estampage, en matriçage et en extrusion.
- L'énergie fournie est plus importante (excentrique ou à vilebrequin)
- Vitesse plus rapide

a. Avantages et inconvénients :

Avantages	Inconvénients



<https://youtu.be/Lqf-vJKs-28>

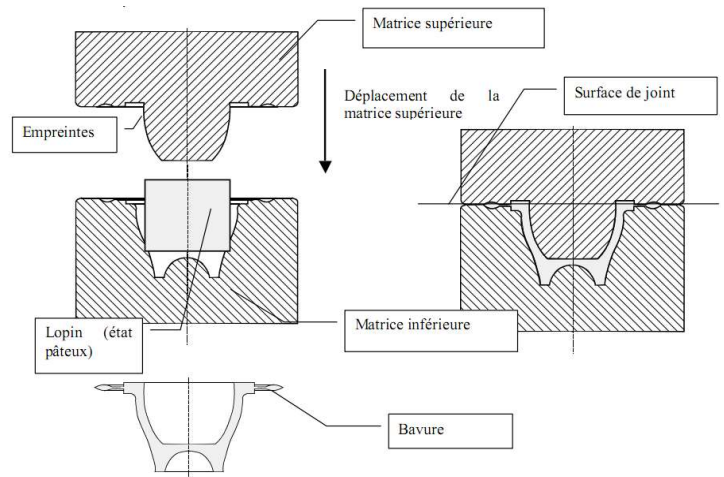
2. Estampage et matriçage :

Les termes estampage et matriçage sont deux termes synonymes, cependant :

- ✓ matriçage : forgeage
- ✓ Estampage : forgeage

a. Principe :

Le matriçage consiste à (Pièce découpée dans une barre métallique) préalablement entre deux comportant.....correspondant aux de la Ces matrices sont montées sous un (Travail au choc pour les pièces en acier) ou sous une..... (Pour les pièces en alliage non ferreux, aluminium, cuivre, titane, nickel...).



b. Avantages et inconvénients :

Avantages	Inconvénients



3. Emboutissage :

a. Outillage :

L'emboutissage se pratique à l'aide de presses à emboutir de forte puissance munies d'outillages spéciaux qui comportent, dans le principe, trois pièces :

- ✓, en creux, épouse la forme extérieure de la pièce
- ✓, en relief, épouse sa forme intérieure en réservant l'épaisseur de la tôle un serre-flan entoure le poinçon, s'applique contre le pourtour de la matrice et sert à coincer la tôle pendant l'application du poinçon.

b. Principe :

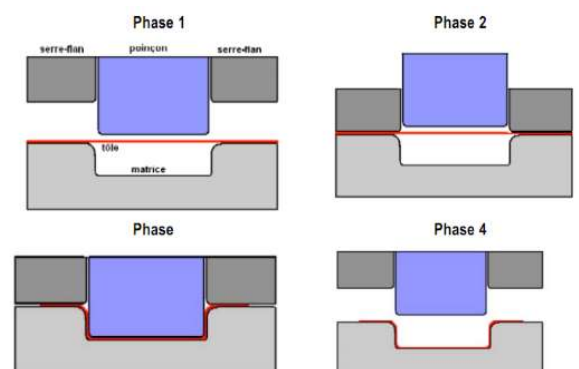
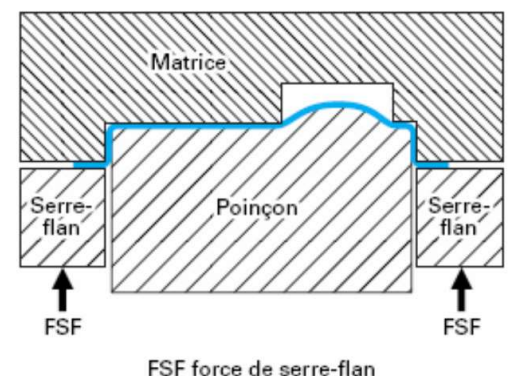
Phase 1 : poinçon et serre-flan La tôle, préalablement graissée, est posée sur la matrice.

Phase 2 : le serre-flan est..... et vient appliquer une pression bien déterminée, afin de maintenir la tôle tout en lui permettant de fluer.

Phase 3 : le poinçon la tôle de façon plastique en l'appliquant contre le fond de la matrice.

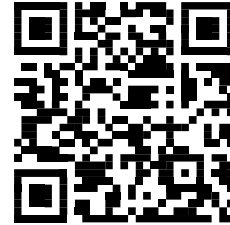
Phase 4 : le poinçon et le serre-flan : la pièce conserve la forme acquise (limite d'élasticité dépassée).

Phase 5 : on procède au « » de la pièce, c'est-à-dire à l'élimination des parties devenues inutiles (essentiellement les parties saisies par le serre-flan).



c. *Avantages et inconvénients :*

Avantages	Inconvénients



<https://youtu.be/aHvcvYXgAe4>

4. **Pliage :**

a. *Principe :*

Le pliage est un procédé
 La tôle est disposée sur une Le poinçon sur la tôle l'obligeant à prendre la forme du

b. *Les méthodes de pliages :*

Le pliage à la presse est réalisé suivant les techniques fondamentales suivantes :

-
-
-

- :

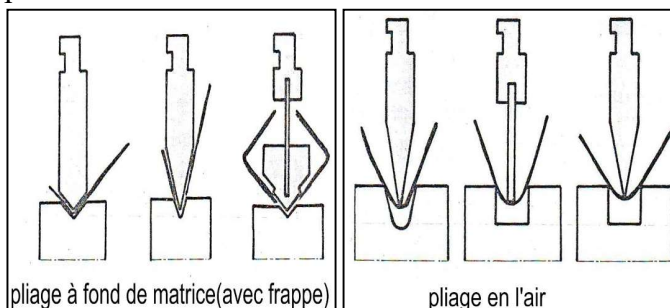
Le poinçon entraîne les deux branches libre du pli jusqu'au contact des faces intérieures de la matrice .il en résulte un écrouissage de la zone pliée et l'angle obtenu est sensiblement égal à celui de l'empreinte. Le poinçon et la matrice doivent coïncider Technique nécessite des efforts importants pour le pliage. Elle est limitée aux tôles mince 2mm.

- :

L'angle du poinçon ne correspond pas à celui de la matrice et le pliage se fait sans atteindre le fond de la matrice. Ce procédé convient aux tôles d'épaisseur diverse.

- :

Ce procédé est généralement réservé au pliage des aluminiums polis , aux aciers inoxydables, au cuivre et laiton aux matériaux recouverts de plastique . Cette technique permet le pliage sans marque ni défaut et évite le polissage des pièces pliées.



c. *Avantages et inconvénients :*

Avantages	Inconvénients



5. Etirage :

L'étirage (ou tréfilage pour les fils de faible diamètre) est un procédé de mise en forme des matériaux par déformation plastique.

a. Principe du procédé

- **Déformation plastique à froid** : Le produit brut (barre, tube ou fil) est tiré à travers l'orifice conique d'un outil fixe appelé **filière**.
- **Réduction de section** : La force de traction exercée en sortie force le matériau à se comprimer dans la filière, réduisant sa section transversale tout en augmentant sa longueur.

b. Outillage principal

- **La Filière (ou matrice)** : Élément central en carbure de tungstène ou diamant synthétique comportant quatre zones : l'entrée, le cône de réduction, la portée de guidage (calibrage) et le cône de sortie.
- **Le Mandrin (ou douille)** : Utilisé spécifiquement pour l'étirage des tubes afin de contrôler et calibrer le diamètre intérieur.
- **Le Banc d'étirage / Chariot de traction** : Équipement mécanique ou hydraulique muni de pinces qui appliquent la force de traction axiale.

c. Avantages et inconvénients :

Avantages	Inconvénients

6. Auto évaluation : obtention des pièces par déformation Tableau KWLS

K	W	L	S

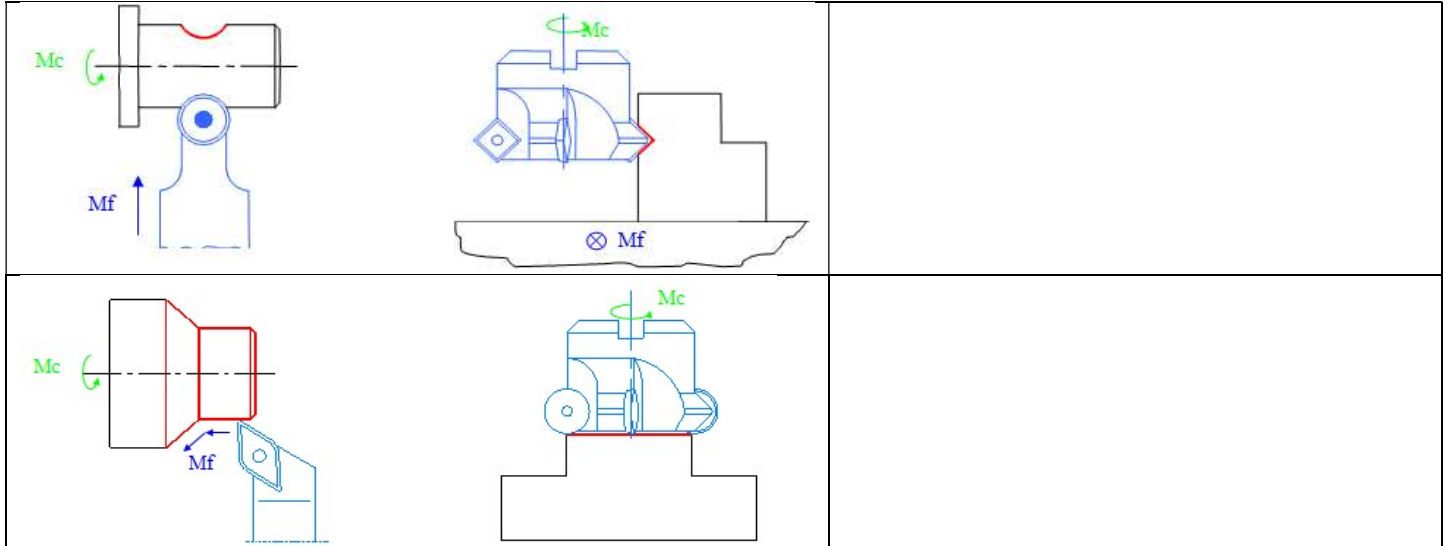
IV. Obtention des pièces par usinage :

L'usinage désigne l'ensemble des procédés de fabrication des pièces mécaniques par enlèvement de la matière en utilisant des outils tranchant. On distingue plusieurs procédés d'usinage comme : tournage, fraisage, perçage, rectification....

Lors de l'usinage on combine deux mouvements : mouvement de coupe (rotation) et mouvement d'avance (translation).

1. Mode de génération des surfaces :

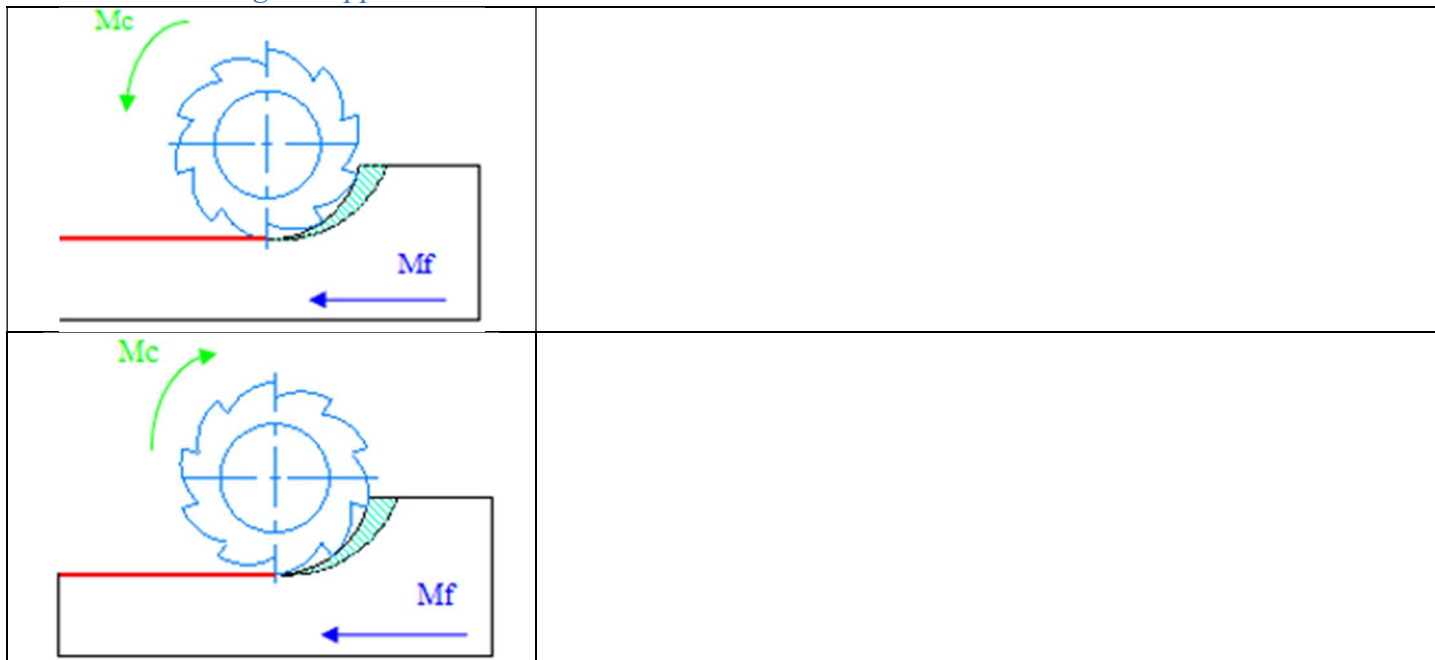
a. Travail de forme et travail d'enveloppe :



b. Fraisage en bout et fraisage en roulant :

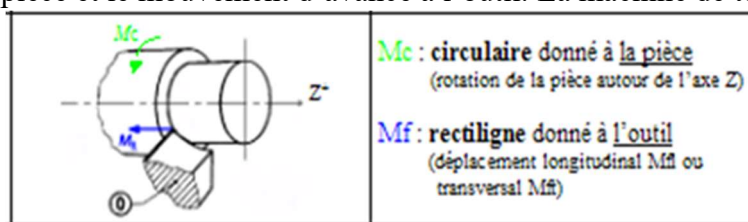
La surface usinée est par la denture du bout de la fraise. <u>Exemple</u> : surfacage $\phi_{\text{fraise}} > 1.3 L$		
La surface usinée est par la denture latérale de la fraise. <u>Exemple</u> : surfacage $L_{\text{fraise}} > \text{Longueur de la pièce}$		
La surface usinée est dont l'une est faite en fraisage de face et l'autre en fraisage de profil.		

c. Usinage en opposition et en avalant :

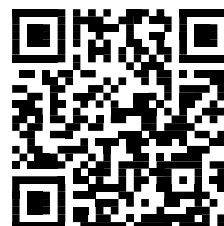
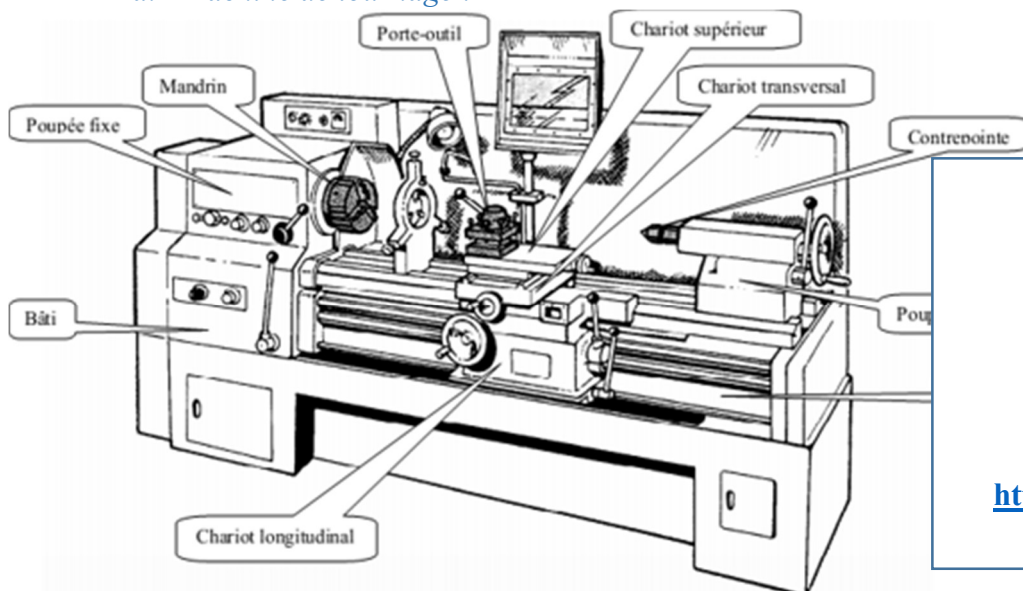


2. Tournage :

Le tournage est un procédé de fabrication des pièces finies par enlèvement de matière en donnant le mouvement de coupe à la pièce et le mouvement d'avance à l'outil. La machine de tournage se nomme tour.

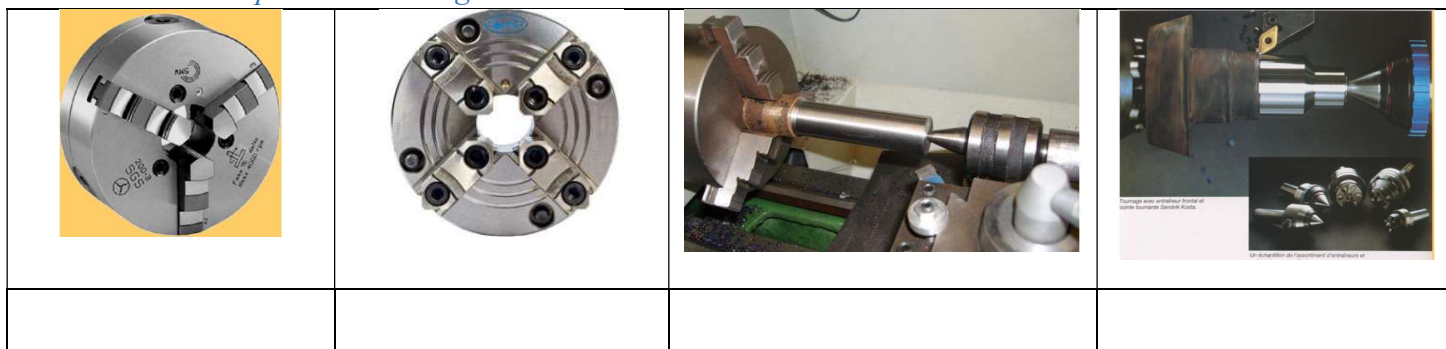


a. Machine de tournage :

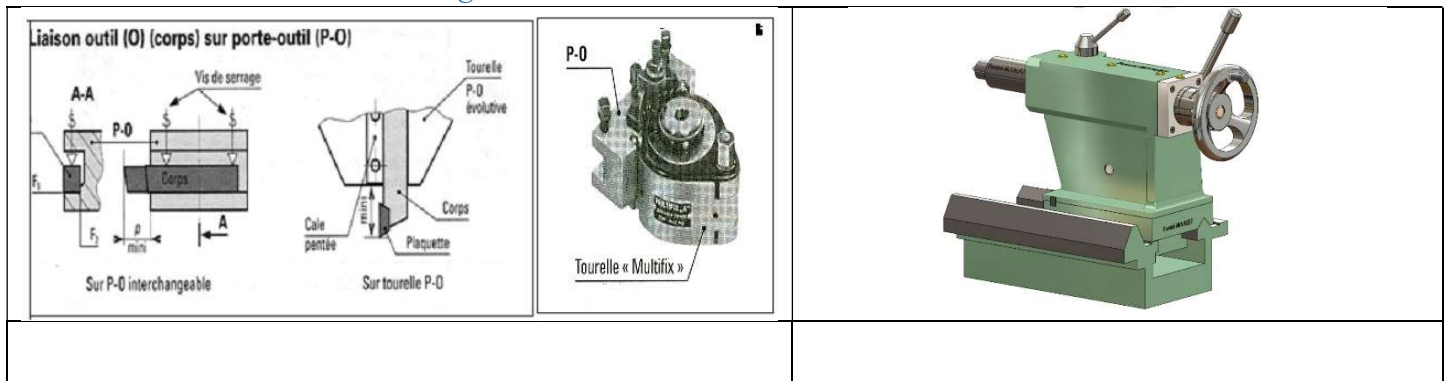


<https://youtu.be/OO9IVxiNAgc>

b. Porte pièce en tournage :

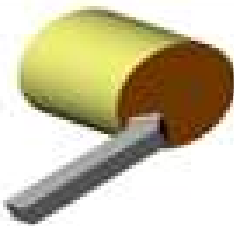
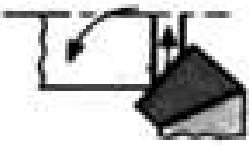
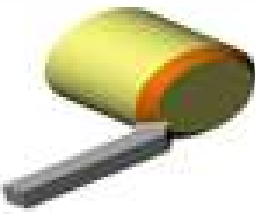
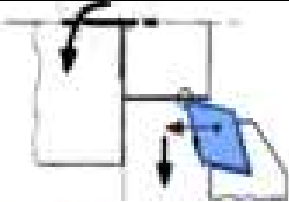
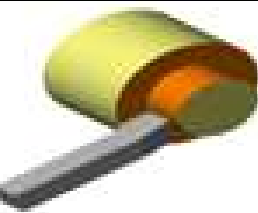
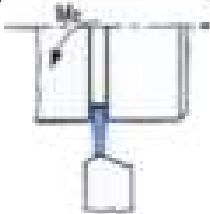
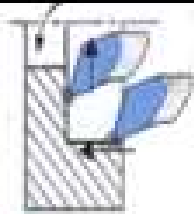


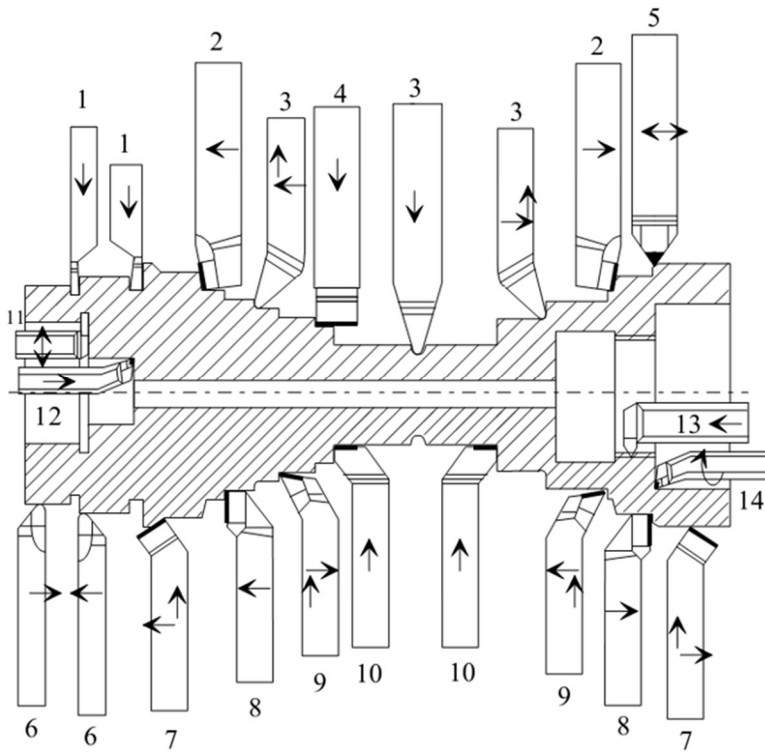
c. Porte outils en tournage :



d. Les outils et les opérations de tournage :

Visualisation 2D	Visualisation 3D	Outil utilisé
Opération :	Forme :	Outil :
Définition :		
Opération :	Forme :	Outil :
Définition :		
Opération :	Forme :	Outil :
Définition :		
Opération :	Forme :	Outil :
Définition :		
Opération :	Forme :	Outil :
Définition :		

Visualisation 2D	Visualisation 3D	Outil utilisé
 Opération :	 Forme :	 Outil :
Définition :		
 Opération :	 Forme :	 Outil :
Définition :		
 Opération :	 Forme :	 Outil :
Définition :		
 Opération :	 Forme :	 Outil :
Définition :		
 Opération :	 Forme :	 Outil :
Définition :		



https://analyse-fabrication.univ-lille.fr/co/01_operation_01.html

N°	Désignation	N°	Désignation
1		8	
2		9	
3		10	
4		11	
5		12	
6		13	
7		14	

e. Les paramètres de coupe :

• Vitesse de coupe :

C'est la vitesse à laquelle un, ce qui correspond à la

La vitesse de coupe est notée et exprimée en

Si $V_c = 20 \text{ m/min}$ en 1 min, on aura fait 20 m de copeau ;

La vitesse de coupe dépend des paramètres suivants:

• Fréquence de rotation :

Notée C'est le nombre de tour par min lors du mouvement de coupe, on la calcule par la relation suivante :

$$N =$$

• Avance par tour :

Noté f correspond à l'épaisseur du copeau pendant un tour (déplacement de l'élément en translation pendant un tour). Il dépend des paramètres suivants :

• Vitesse d'avance :

C'est la vitesse de déplacement pendant une minute, elle est notée : On la calcule par la relation suivante :

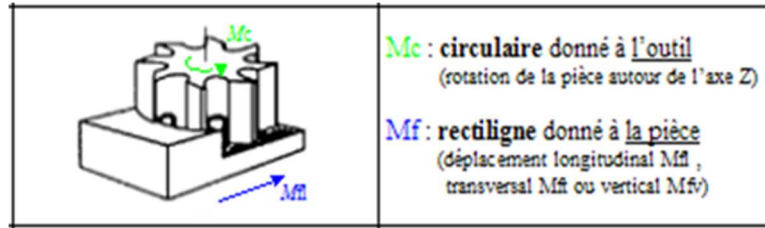
$$V_f =$$

• Profondeur de passe :

La profondeur de passe est Elle est notée et exprimée en La profondeur de passe dépend des éléments suivants :

3. Fraisage :

Le fraisage est un procédé d'usinage en utilisant la machine nommée.....En fraisage le mouvement de coupe est donné à.....et le mouvement d'avance est donné à.....



a. Machine de fraisage : fraiseuse

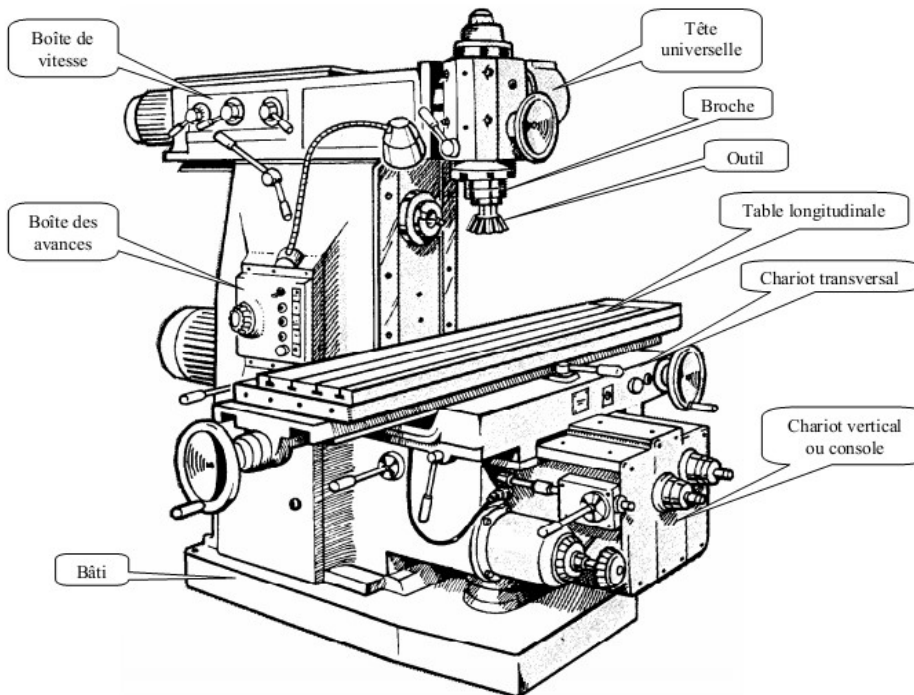
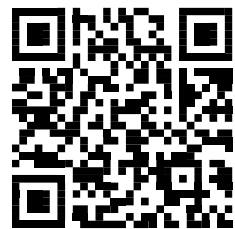
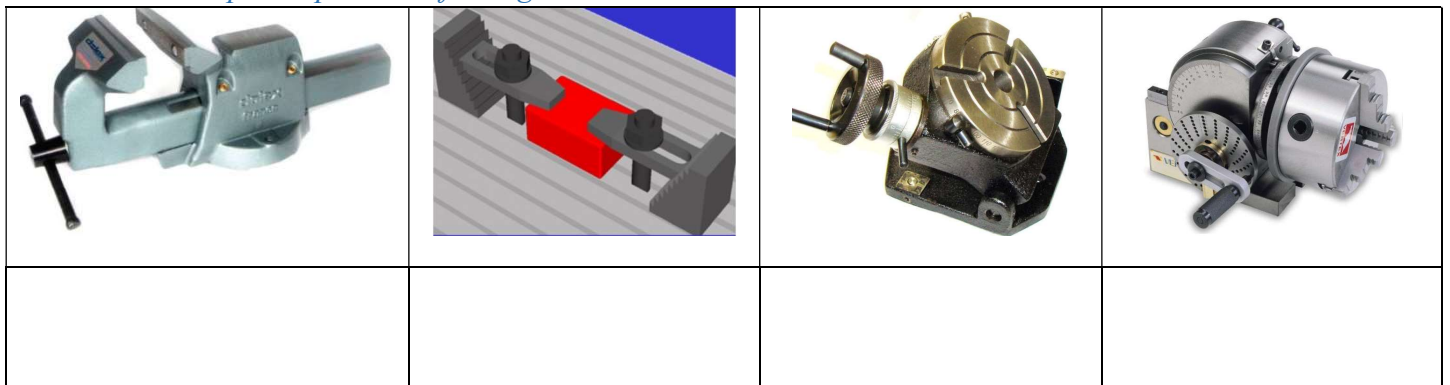


Figure 3 : Fraiseuse universelle

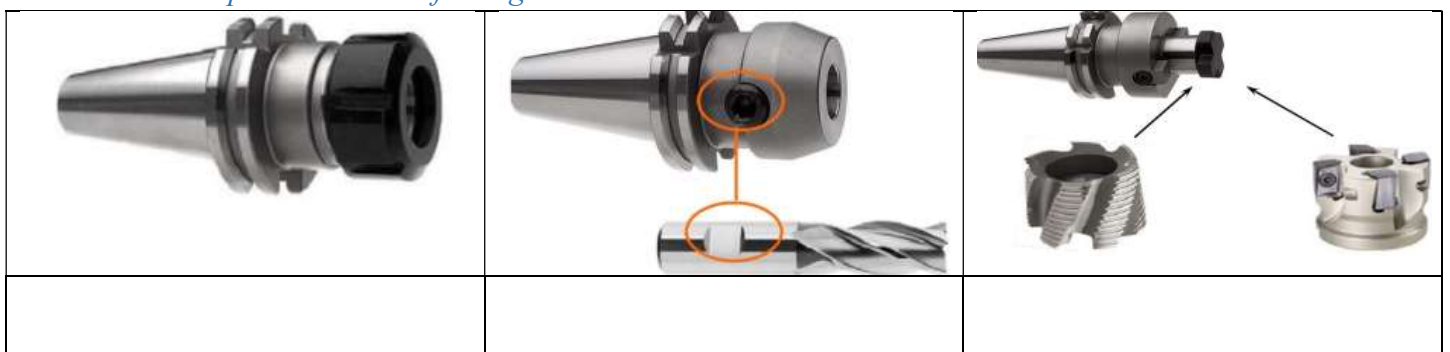


<https://youtu.be/JD1Kqw9vNT0>

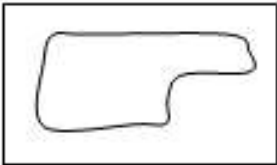
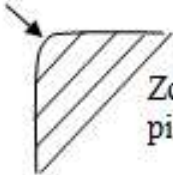
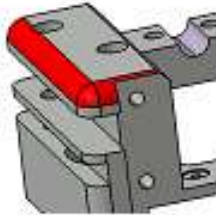
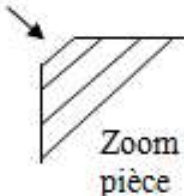
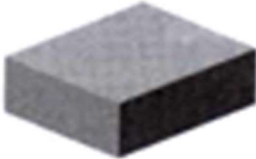
b. Les portes pièces en fraisage :

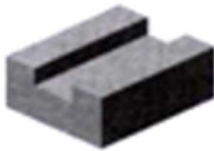
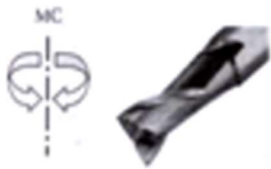
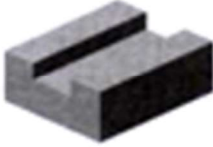


c. Les portes outils en fraisage :



d. Les opérations et outils de fraisage :

Visualisation 2D	Visualisation 3D	Outil utilisé
 Opération : Définition :	 Forme :	 Outil :
 Opération : Définition : Réalisation de $\frac{1}{4}$ de cylindre sur une arête.	 Forme :	 Outil :
 Opération : Définition :	 Forme :	 Outil :
Visualisation 2D	Visualisation 3D	Outil utilisé
 Opération : Définition :	 Forme :	 Outil :
 Opération : Définition :	 Forme :	 Outil :

 Opération :	 Forme :	 Outil :
Définition :		
 Opération :	 Forme :	 Outil :
 Opération :	 Forme :	 Outil :
Définition :		

e. Les paramètres de coupe :

• **Vitesse de coupe :**

C'est la vitesse à laquelle un, ce qui correspond à la

La vitesse de coupe est notée et exprimée en

Si $V_c = 20 \text{ m/min}$ en 1 min, on aura fait 20 m de copeau ;

La vitesse de coupe dépend des paramètres suivants:

• **Fréquence de rotation :**

Notée C'est le nombre de tour par min lors du mouvement de coupe, on la calcule par la relation suivante :

$$N =$$

• **Avance par tour :**

Noté f correspond à l'épaisseur du copeau pendant un tour (déplacement de l'élément en translation pendant un tour). Il dépend des paramètres suivants :

On calcule f par la relation suivante : $f =$

• **Vitesse d'avance :**

C'est la vitesse de déplacement pendant une minute, elle est notée :..... On la calcule par la relation suivante :

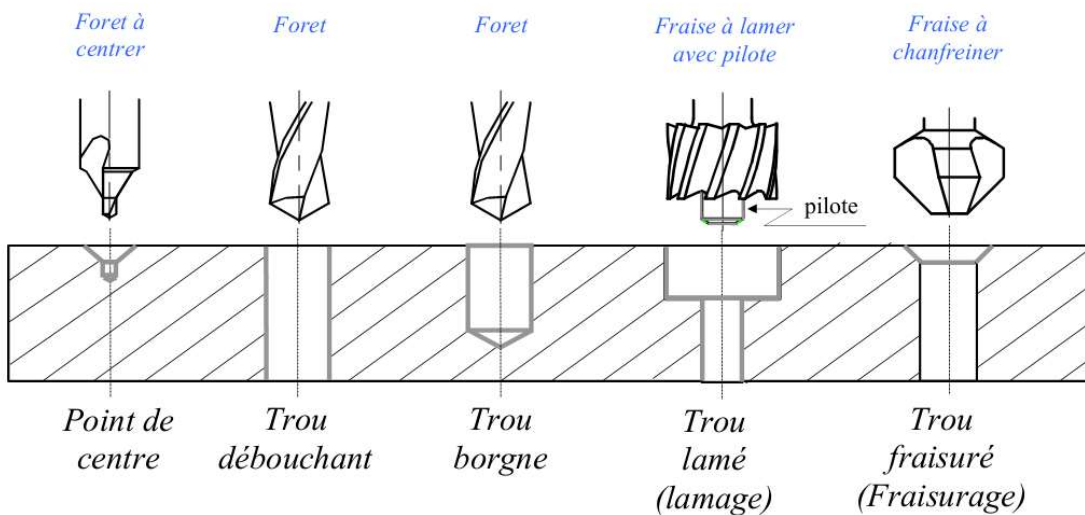
$$V_f =$$

• **Profondeur de passe :**

La profondeur de passe est Elle est notée et exprimée en La profondeur de passe dépend des éléments suivants :

4. Usinage sur perceuse :

a. La perceuse : opérations et les outils :

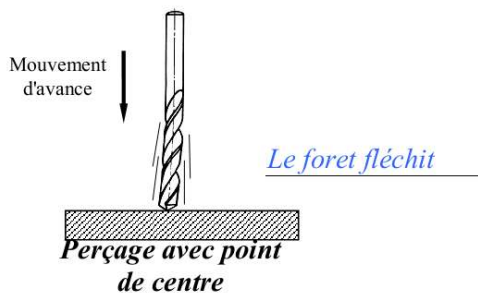


b. Utilité du point de centre :

Le point de centre est réalisé avec un foret à centrer. Il permet de guider le foret lors de son attaque dans la matière, d'autant plus, si la matière à percer est tendre (matières plastiques).

Perçage sans point de centre

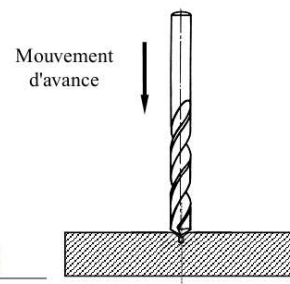
Conséquences: ⇒ La précision de la position du trou ne peut pas être obtenue.



⇒ Si la flexion est trop importante, le foret peut se casser.

Remarque: Le point de centre convient tout particulièrement lorsque l'on doit effectuer un perçage sur une surface inclinée.

Le foret est guidé

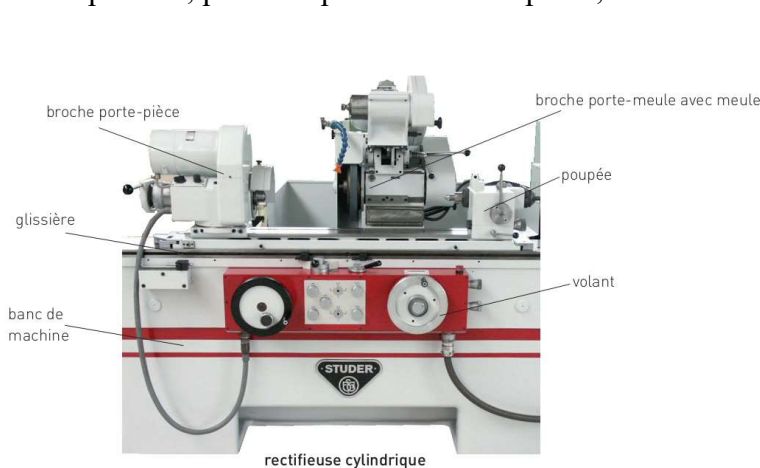


5. Rectification :

La rectification avec un outil rotatif est un procédé d'usinage à enlèvement de copeaux. L'enlèvement des copeaux se fait par un outil à tranchants multiples dont la géométrie de chaque tranchant individuel n'est pas définie.

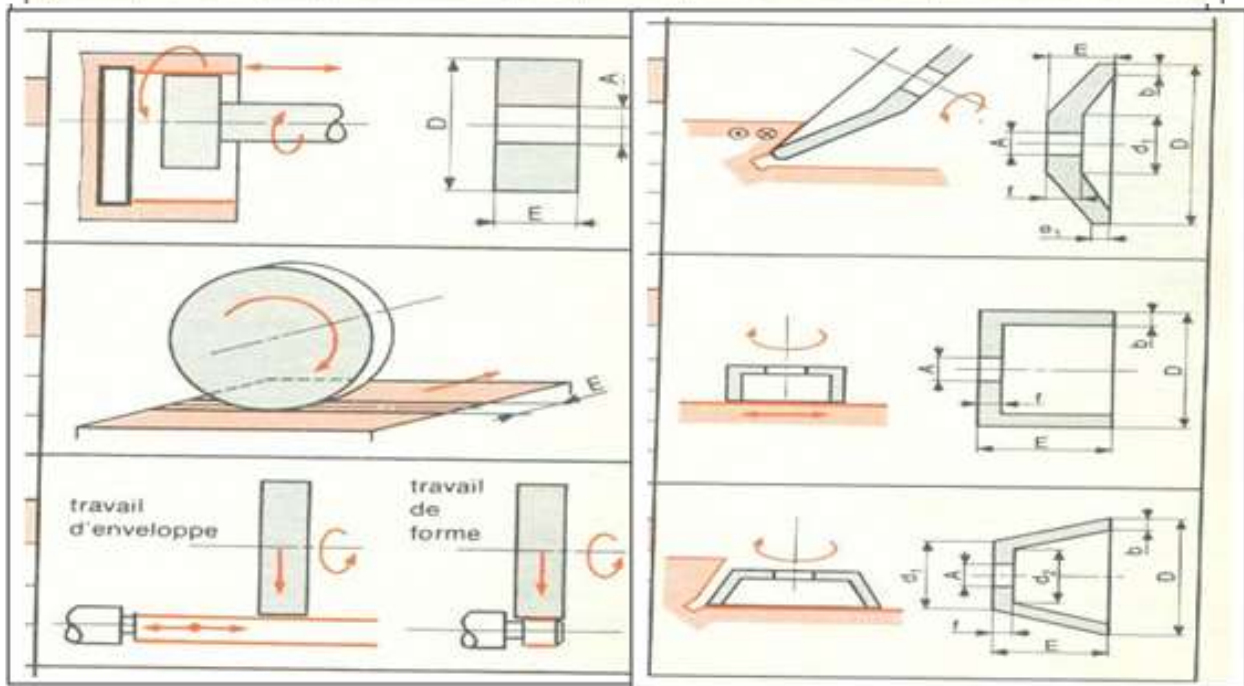
a. Structure de la rectifieuse :

Adapté aux besoins des tâches d'usinage diverses, il existe un grand nombre de machines de rectification avec des structures diverses. Ces machines sont en général nommées selon le type de tâche qu'elles accomplissent, par exemple : rectifieuse plane, rectifieuse cylindrique, rectifieuse de forets.



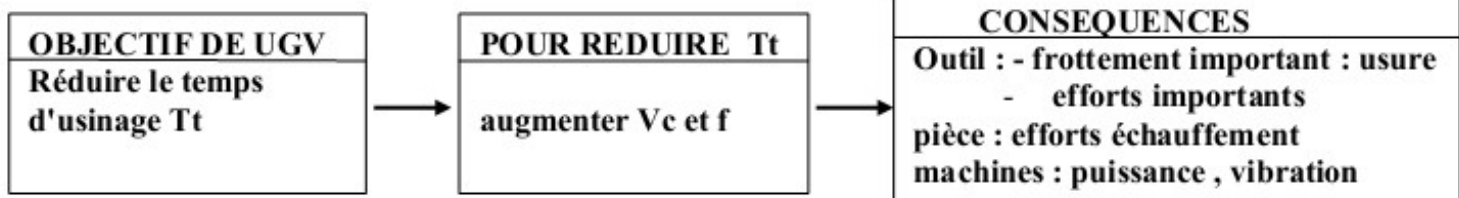
b. Outils de rectification : meule

DÉSIGNATION D'UNE MEULE																	
Désignation dimensionnelle				Désignation de la composition													
200 × 35 × 95 Diamètre extérieur Épaisseur Diamètre intérieur				Abrasif (symb. constructeur) 38 A 36 J 8 V G Agglomérant (symb. constructeur) Type d'abrasif Grosseur du grain Nature du grade Type d'agglomérant Structure													
Abrasif		Grain		Grade		Structure		Agglomérant									
Symbole constructeur	Symbole normalisé							Symbole normalisé	Symbole constructeur								
19 25 32 36	A (Abrasif alumineux)	4	8-10	Gros	A à G	Très tendre	0	Serrée	V	Vitrifié	VG VBE						
		12-14		1				B				Résinoïde	H				
		16-20		2													
		24	Moyen	H à K	Tendre	3	Moyenne	S	Silicate	V							
		30-36	46-54			5		R	Caoutchouc	F							
37	C (Carbure de silicium)	60	L à O	Moyen	6	Ouverte						E	Gomme laque	W			
		70			Fin		P à S	Dur	9	10					MG	Magnésie	—
		à 180															
		220	Très fin	12													
		à 600	Poudre														



6. Usinage à grande vitesse : UGV

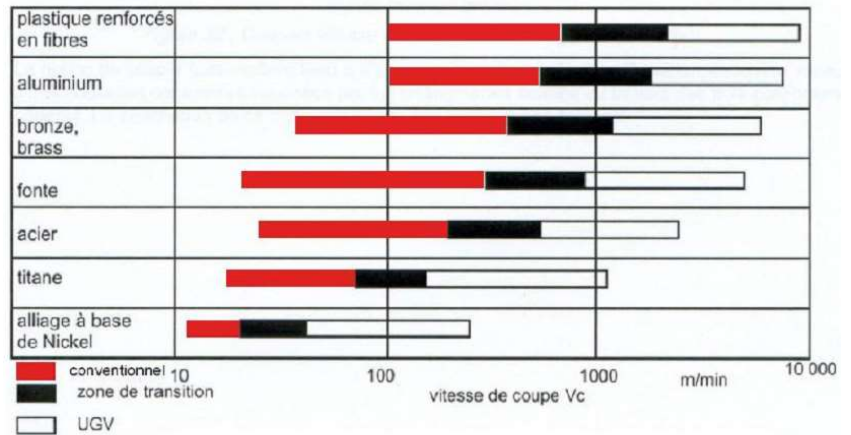
L'Usinage à Grande Vitesse est une opération d'enlèvement de matière à des vitesses de coupe élevées. Ces grandes vitesses engendrent un phénomène de coupe spécifique.



a. Vitesse de coupe :

Il est aujourd'hui possible d'usiner des pièces mécaniques sur de larges plages de vitesses de coupe. Selon le matériau utilisé, ces plages varient, mais il est toujours possible de distinguer trois zones de vitesses de coupe distinctes :

- Une zone de vitesse correspondant aux vitesses de coupe de l'Usinage Conventionnel"
- Une zone de vitesses de coupe inexploitable (conditions de coupe dégradées)
- Une zone de vitesses de coupe correspondant à l'Usinage Grande Vitesse"



Par exemple, lors d'usinage d'acier à des vitesses de coupe de 30 à 200 m/min, on parle d'usinage conventionnel, alors que des vitesses de coupe de 500 à 2000 m/min correspondent au domaine de l'UGV.

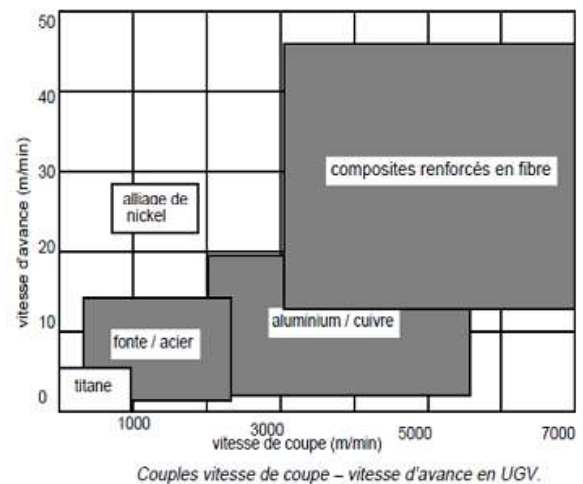
En augmentant V_c au-delà des limites de vitesse de l'usinage conventionnel, on commence par traverser une zone de vitesses inexploitable appelée « Vallée de la mort » dans laquelle les conditions de coupe sont dégradées (usure rapide de l'outil, mauvais état de surface...), puis on arrive dans le domaine de l'UGV où les conditions de coupe sont excellentes. La limite entre les zones est arbitraire.

Choix des outils pour l'UGV :

On trouve des outils dans les matériaux suivants :

- Nitrure de bore cubique (CBN)
- Diamant polycristalin (PCB)
- Carbure
- Céramique
- Revêtu TiN, TiNAIN, TiCN

Les outils sont très durs et avec des angles de coupe négatifs leur donnant plus de rigidité le copeau est fragmenté ce qui favorise une dissipation relative de la chaleur contrairement au copeau continu. Cela donne la possibilité d'usiner à sec, mais pas pour tous les matériaux.



Matériaux à usiner	Matériaux de coupe	Revêtements	Vc (m/min)
Acier à outil HRC < 50	Carbure monobloc	TiCN	300 - 600
	Cermet	aucun	300 - 800
	Céramique $Al_2O_3 + TiC$	aucun	60 - 300
Acier à outil HRC < 58	Carbure monobloc	TiCN	200 - 500
	PCBN	aucun	500 - 1000
	Céramique $Al_2O_3 + TiC$	aucun	50 - 200
Acier à outil HRC < 63	Carbure monobloc	TiCN	50 - 300
	PCBN	aucun	300 - 600
	Céramique $Al_2O_3 + TiC$	aucun	30 - 140
TA6V4 (titane)	Carbure monobloc	TiCN	100-400
Alliages à base nickel	Carbure monobloc	TiCN	80-250
	Céramique $Al_2O_3 + SiC$	aucun	120
Fonte GG-25	Céramique Si_3N_4	aucun	500-1200
	PCBN	aucun	1250-3000
Alliages légers Re < 500 MPa	Carbure monobloc K20	aucun	3000-4700

Exemples de couples outil/matière avec ordres de grandeur de V_c

b. Lubrification :

La lubrification de l'outil peut être externe ou interne avec de l'huile ou air sous pression.

Orifice de lubrification



7. Auto évaluation : obtention des pièces par usinage Tableau KWLS

K	W	L	S

V. Obtention des pièces par découpage :

1. Le procédé de découpage : (poinçonnage)

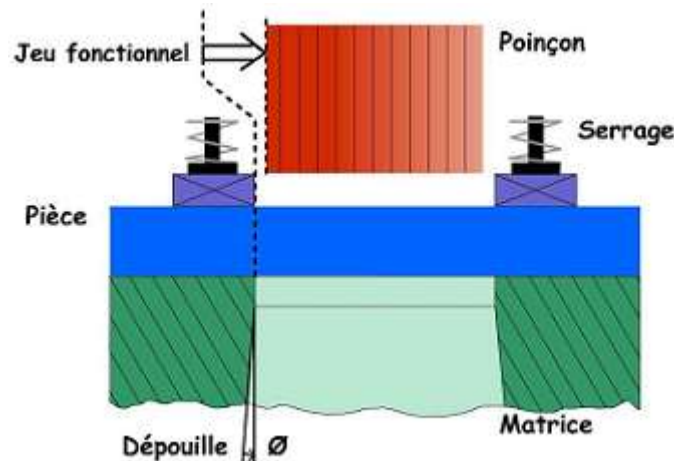
a. Définition :

Le découpage à froid consiste à par..... un donné d'un produit (Tôle), l'opération se fait par l'intermédiaire d'un outil dont les parties (Arêtes de coupe) sont qui glissent l'une par rapport à l'autre. L'élément de tôle détaché est appelé

b. Eléments principaux constituant un outil de découpe :

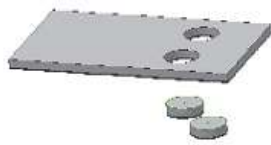
..... : pièce pleine dont la base a la forme de la pièce à découper. Il est de section constante.

..... : pièce ajourée de façon à ce que le poinçon s'ajuste dans l'ouverture avec un ajustement de jeu déterminé. Elle comporte une dépouille d'environ 5% pour éviter le laminage des flans sur une trop grande longueur, et réduire l'effort fourni par la presse.

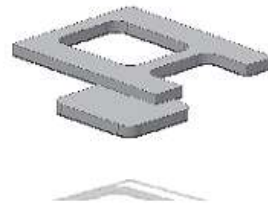


Une associant poinçon(s) et matrice(s) est de la presse, tandis est animée du A chaque course,.....

c. Les opérations de découpage :



POINÇONNAGE : On conserve la partie extérieure. Le déchet est la débouchure.



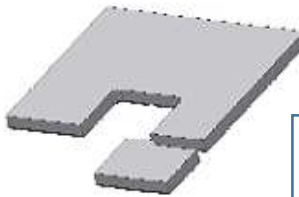
DECOUPAGE : Obtention d'un flan par séparation suivant une ligne fermée dans une bande ou une feuille. Le déchet est appelé squelette.



CREVAGE : Découpage partiel.



ENCOCHAGE : Découpage débouchant sur un contour.



GRIGNOTAGE : Poinçonnage partiel



ARASAGE ou REPASSAGE : Découpage en reprise (précision et état de surface).



DETOURAGE : Finition d'un contour déjà ébauché, modifié au cours d'une déformation.

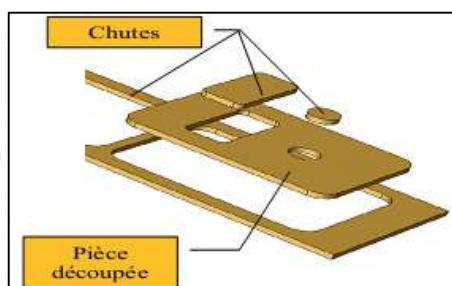
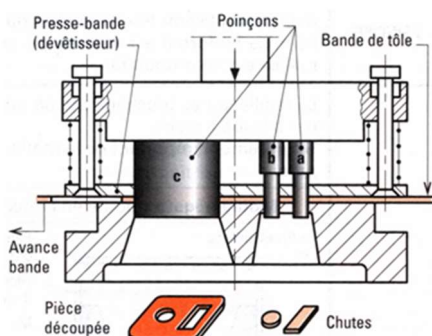


<https://youtu.be/czTvESR3xZA>

d. Mise en œuvre du procédé :

Exemple :

- :
- **ab** : (Contours intérieurs)
 - **c** :



1.
2.
3.
4.

2. Oxycoupage :

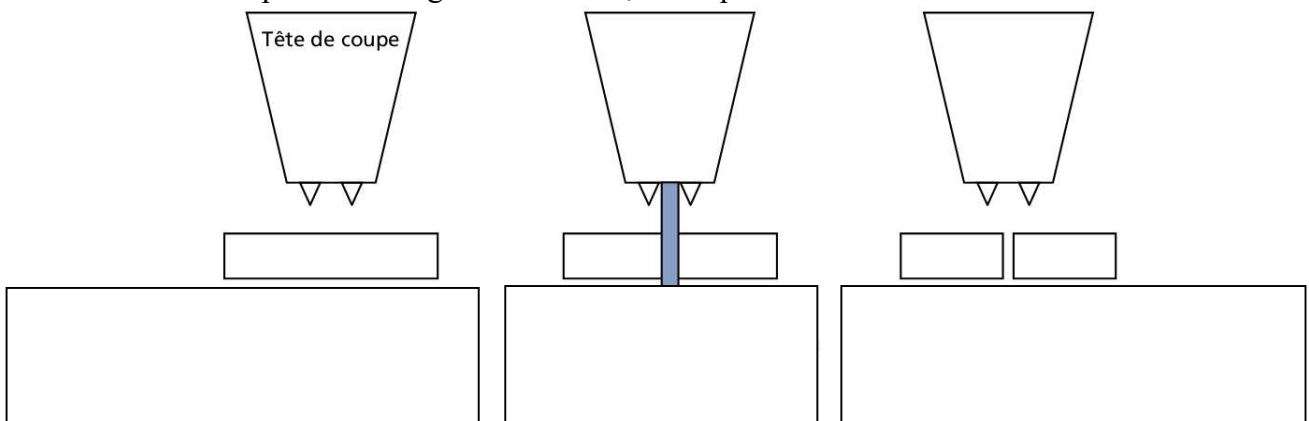
a. Principe et caractéristiques:

..... est un procédé de
....., par mais à
l'aide d'un Il est nécessaire, pour
cela, de porter à une température d'environ, dite
....., le point de la pièce où l'on va
commencer la coupe, qui peut être manuelle ou automatisée
selon un gabarit de coupage. Ce procédé nécessite :

☐ pour
l'amorçage et l'entretien de la coupe, où plusieurs types de
gaz, tel que l'acétylène, peuvent être utilisés.

☐
venant en milieu de buse, qui permet la combustion dans la
saignée et sur toute l'épaisseur à couper. Ce jet de coupe a
aussì un rôle mécanique d'élimination des oxydes formés
(scories). L'efficacité de la coupe sera améliorée par un très
haut degré de pureté de l'oxygène.

Le principe de l'oxycoupage consiste à produire, sous
l'effet de la chaleur, l'apparition d'oxyde de fer sur un métal ferreux grâce à l'injection d'oxygène. L'oxyde de
fer ainsi créé fond sous la pression des gaz et s'écoule ; la coupure du métal est alors réalisée.

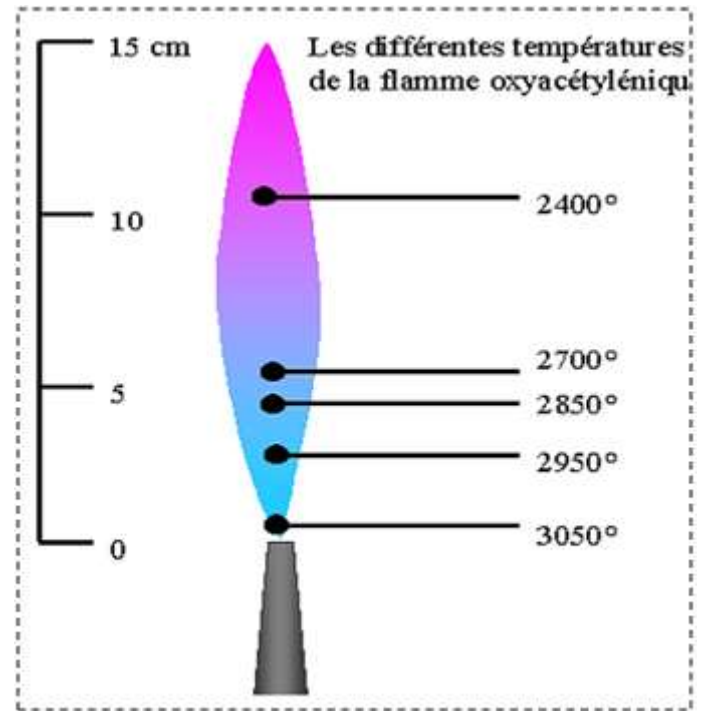
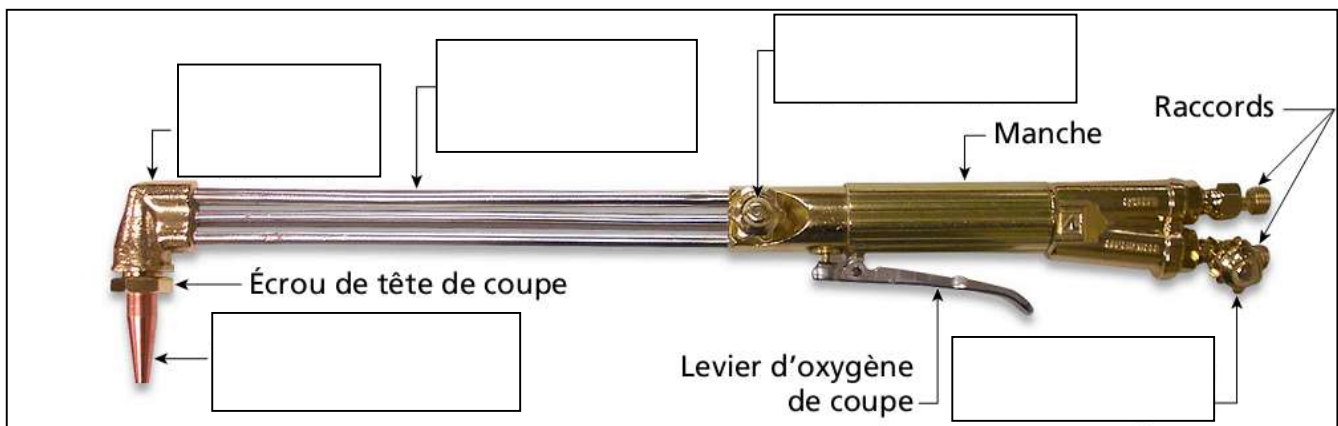


L'oxycoupage permet de couper des métaux ferreux dont la quantité de carbone ne dépasse pas 1,97 %
(c'est-à-dire la plupart des aciers). Il convient particulièrement au coupage des aciers doux.

Le procédé est relativement rapide, facile et peu coûteux. Il nécessite peu d'entretien et s'utilise sur les
chantiers.

b. Outil de découpe :

L'oxycoupage peut s'effectuer au moyen d'un chalumeau coupeur complet, qui contient une tubulure
d'oxygène et qu'on relie directement aux boyaux de gaz à la place du chalumeau soudeur. Autrement, on peut
connecter une lance de coupe au chalumeau soudeur. Cette dernière peut couper des pièces de 100 mm d'épaisseur
ou moins.



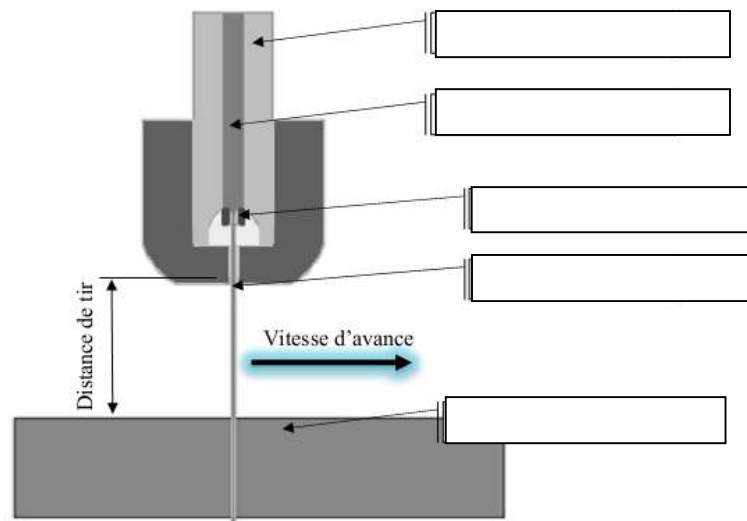
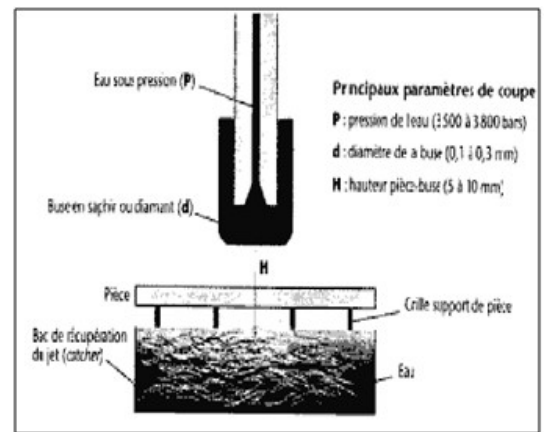
3. Découpe par jet d'eau :

Avec ce procédé de découpage, les matières premières sont découpées, séparées ou usinées au moyen dont la vitesse peut atteindre Afin d'obtenir ce résultat, il est indispensable que l'eau au moyen d'une pompe spéciale pouvant atteindre une pression de Le jet fin est généré à l'aide d'une buse dont le diamètre est compris

a. Jet d'eau pure :

..... (.....) est utilisé pour découper des matériaux tendres. La découpe est rapide et efficace et utilise une force de coupe extrêmement faible.

Il est principalement utilisé pour couper les matières souples comme les tissus, le PVC, les matières plastiques, les tissus céramiques, les fibres de verre, le caoutchouc, le pain et le cuir.



La tête de coupe est la partie principale de la technologie **JEP**. Elle permet la transformation de la pression (énergie potentielle) en vitesse (énergie cinétique). Les pièces constituant la tête de coupe sont :

- **Un tube de collimation** à travers lequel l'eau passe sous haute pression,
- **Une buse en saphir**, rubis ou diamant ayant un petit orifice qui permet d'accélérer les particules d'eau qui la traversent,

b. Jet d'eau abrasif :

La technologie de est une amélioration de la technologie par jet d'eau pure destinée à la découpe Le jet d'eau abrasif (JEA) se définit comme étant un procédé de découpe mettant en œuvre le Pour cela un est mélangé à l'..... dans Lors de ce mélange, l'..... qui est présent dans la conduite d'amenée d'abrasif est également..... au jet. Celui-ci contient alors un mélange et devient donc tri-phasique.

Eléments de la tête de découpe	Fonction
Tube de collimation	Produire une arrivée d'eau régulière vers la buse
Buse	Transformer l'énergie potentielle (pression) de l'eau en énergie cinétique (vitesse) du jet. Sa forme détermine le diamètre du jet et sa cohérence
Chambre de mélange	Permettre un mélange de l'eau et des particules d'abrasifs aspirées dans le jet.
Corps de tête	Relier les composants de la tête de coupe
Ecrou de serrage	Serrer le canon de focalisation sur la chambre de mélange.
Canon de serrage (focalisation)	Contenir les particules dans le jet pendant leur accélération et focaliser le jet en le contraignant à suivre son axe.

4. Découpage Laser :

Le découpage laser est un qui utilise pour la matière grâce concentrée sur une

Le laser peut être pulsé (source de type) ou continu (source). Aujourd'hui, les lasers à source CO₂ sont beaucoup majoritaires. Ils permettent en effet de découper bien plus de matériaux ainsi qu'à une vitesse plus élevée que les lasers pulsés.

a. Principe :

Les propriétés de focalisation des lasers permettent de chauffer jusqu'à vaporisation une zone réduite de matière. Les lasers utilisés fréquemment ont une puissance de 1500 watts mais les sources peuvent fluctuer de quelques watts à plus de 4 kW. La puissance est adaptée selon le matériau et de l'épaisseur à découper. A titre de comparaison, un laser de classe II potentiellement dangereux a une puissance de moins de 1 MW.

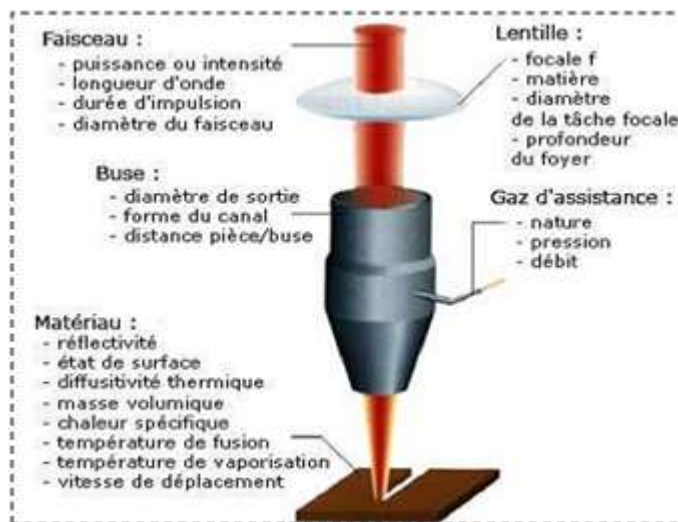
Ce procédé permet une découpe précise, nette et rapide de nombreux matériaux jusqu'à 25 mm. La découpe se fait sans effort sur la pièce et la zone affectée thermiquement (ZAT) est assez faible (de l'ordre de 0, 5 mm sur les métaux) ce qui permet d'avoir des pièces particulièrement peu déformées. La réalisation de trou est facile mais leur diamètre doit être au moins égal à l'épaisseur de la tôle. Occasionnellement, il est indispensable d'utiliser un gaz additionnel dans la zone de découpage pour en perfectionner l'efficacité (argon, azote, O₂). Fréquemment, il est aussi envisageable de graver (texte, etc.) avec la même machine.

Certains matériaux, comme l'aluminium l'argent, ou le cuivre, sont cependant plus durs à découper au laser à cause de leur fort pouvoir réfléchissant.

b. Applications :

Le découpage laser a été utilisé dans l'industrie à partir des années 1980. Depuis il s'est répandu et banalisé. Dans le secteur de la transformation des métaux, il est complémentaire d'autres procédés comme le découpage par poinçonnage. Tandis que ce dernier est tributaire de la forme de l'outil utilisé, le découpage laser sert à faire fluctuer à volonté la forme découpée. À cette fin, les machines de découpe laser sont programmables.

Les performances de la découpe laser sont en constante évolution : diversification des matériaux métalliques (aciers, puis alliages d'aluminium, ...) et augmentation de l'épaisseur de la tôle découposable, jusqu'à plusieurs centimètres. Ces évolutions sont liées surtout aux progrès réalisés en matière de sources laser.



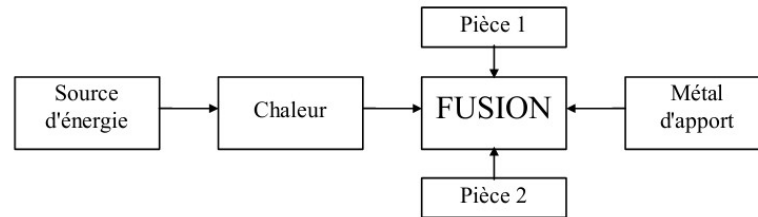
5. Auto évaluation : procédés de découpage : tableau KWLS

K	W	L	S

VI. Obtention des pièces par soudage :

C'est un procédé d'assemblage permanent de 2 ou plusieurs pièces par fusion localisée du métal.

1. Principe :



On constate deux cas :

La soudure autogène :

Le métal qui compose le joint est de même nature que les pièces à souder

La soudure hétérogène :

Le métal qui compose le joint est de nature différente des pièces à souder

2. Principaux procédés de soudage :

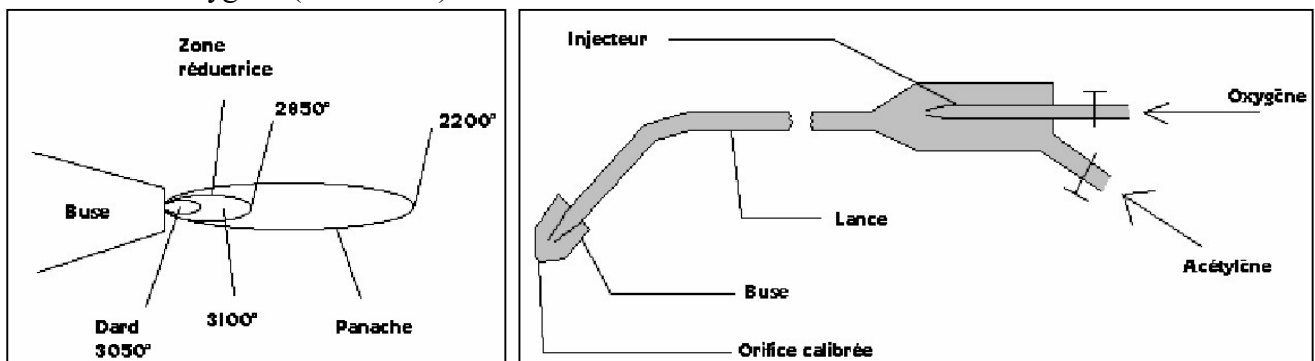
a. Soudage au gaz (au chalumeau)

C'est un procédé de soudure par fusion où la chaleur de soudure est produite par la combustion de gaz. La composition oxygène-acétylène (oxyacétylénique) est aujourd'hui presque exclusivement employée.

L'emploi de flux décapants permet de combattre l'oxydation en cours de soudage. Ce procédé se subdivise comme suit :

- sans flamme auxiliaire ;
- avec flamme auxiliaire réductrice ;

Flamme oxyacétylénique résultant de la combustion d'un volume d'acétylène (gaz combustible) pour deux volumes et demi d'oxygène (comburant).



On notera qu'une trop forte proportion d'oxygène entraîne une chaleur plus importante mais le risque d'oxydation augmente.

Exemples d'applications :

Son aspect économique et sa rapidité d'exécution font que ce procédé est beaucoup employé par les artisans.

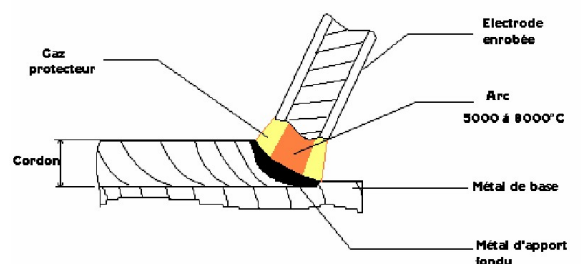
b. Soudage à l'arc :

C'est un procédé de soudure par fusion où la chaleur est produite par un arc électrique, formé entre le métal de base et l'électrode, ou entre deux ou plusieurs électrodes. Le contact puis le léger éloignement de l'électrode par rapport aux pièces provoque l'arc électrique. L'électrode est constituée d'un métal dont les caractéristiques mécaniques, chimiques et physiques sont très proches du métal des deux pièces à souder.

Le soudage à l'arc électrique comprend plusieurs techniques :

Soudage à l'électrode enrobée :

L'électrode, dirigée manuellement est fusible et fournit le métal d'apport. L'enrobage assure un rôle protecteur et son épaisseur permet de jouer sur la forme du cordon, concave ou convexe (voir schéma précédent).



Soudage MIG :

Encore appelé semi-auto, il est très adapté à la petite industrie : facile d'emploi ; arc visible ; pas de laitier ; grande vitesse de soudage ; temps de formation réduit. Il utilise une électrode fusible (fil se déroulant automatiquement) travaillant en atmosphère inerte (gaz protecteur : argon, argon + hélium, etc.) afin de protéger le bain de fusion.

Soudage MAG :

Variante du MIG utilisant un mélange de gaz carbonique CO₂ et d'argon adaptée au soudage des aciers de construction au carbone.

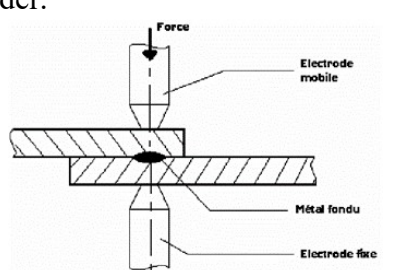
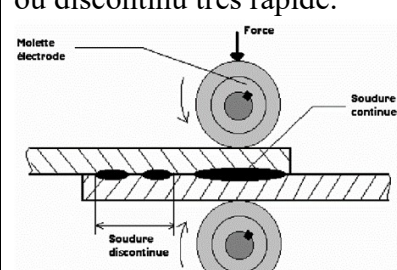
Soudage TIG:

Variante des précédents, plus productive et utilisant une électrode réfractaire ou non fusible en tungstène. Le métal d'apport est amené manuellement (baguette) ou automatiquement (fil déroulé). Il convient bien aux faibles épaisseurs (0.20 à 3 mm) et peut aussi s'utiliser sans métal d'apport et remplacer le soudage par points.

- **Exemples d'application :** Ce procédé est très utilisé dans l'industrie, car son procédé de fusion entraîne moins de déformations que le chalumeau. Il est employé dans la construction mécano-soudée, la chaudronnerie, les charpentes métalliques, les chantiers navales, l'industrie automobile, le nucléaire, l'aérospatiale.

c. Soudage par résistance :

Les pièces à assembler sont maintenues en contact par un effort de compression puis soudées par recouvrement ou bout à bout sans métal d'apport. La fusion est provoquée par effet Joule : courant de forte intensité ($I > 2000 \text{ A}$) sous basse tension. Après coupure du courant, l'effort de compression «forge» la soudure. De nombreux procédés de soudure par résistance existent :

<u>Soudage par points:</u> Très utilisé en grande et petite série, rapide, il est réalisé entre deux électrodes. La fusion se produit à la frontière entre les deux pièces à souder. 	<u>Soudage par molettes:</u> qui est une variante du précédent, ici les électrodes sont remplacées par des molettes tournantes ce qui permet un soudage continu ou discontinu très rapide. 
--	---

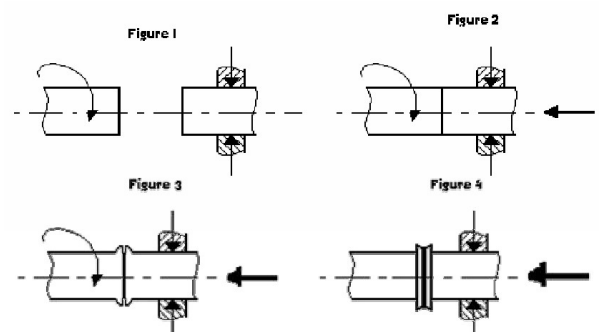
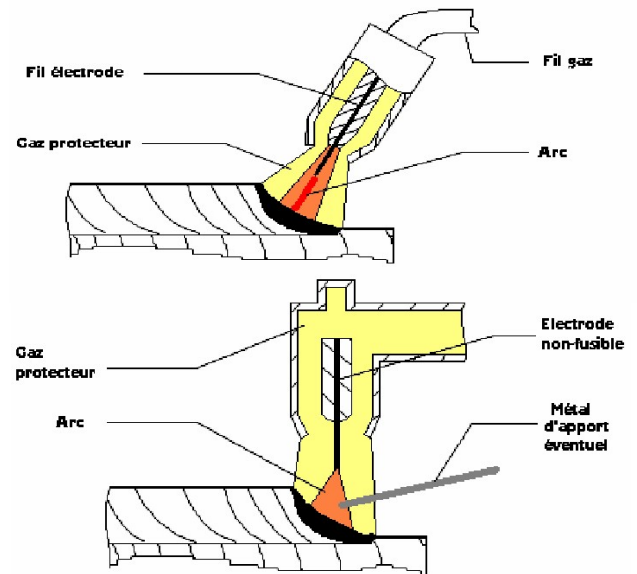
Exemples d'applications :

Ce procédé est très utilisé en grande et petite série, il est aussi très rapide. Il est utilisé dans de très nombreux domaines : l'industrie automobile, aéronautique, aérospatiale, nucléaire, électrique et électronique, les appareils ménagers, le mobilier métallique, les armatures en fils, le soudage en bout de barre, de profilés, de pièces tubulaires, de tôles, etc...

d. Soudage par friction :

Une des deux pièces à assembler est entraînée en rotation. Les deux pièces sont mises en contact par un effort axial déterminé. Par frottement les pièces s'échauffent de part et d'autre du plan de joint ($V=100 \text{ m/min}$). Un bourrelet commence à se former. Après un brusque arrêt de la pièce en rotation, l'effort axial est augmenté. C'est la phase de forgeage de la soudure qui se traduit par la formation d'un bourrelet très caractéristique. On élimine ensuite ce bourrelet par usinage.

Applications : Utilisé dans les mécanismes nécessitant une grande résistance (arbres de boîtes de vitesses, leviers sur axes, goujons sur moyeu de poids lourds, rallonges de forets, queues de soupapes...)



e. Soudage au fer :

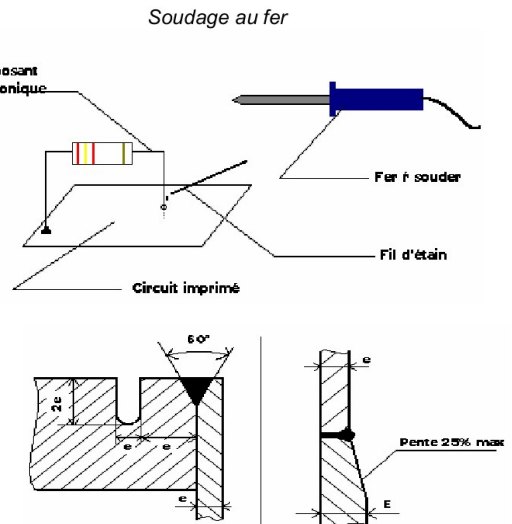
Ce procédé de soudage est employé majoritairement dans l'industrie électronique pour les petites soudures. On utilise un fer qui fait office de résistance ce qui produit la chaleur nécessaire à la fusion du métal d'apport souvent l'étain.

Exemples d'applications :

Ce soudage n'est employé que dans l'électronique pour le soudage de composants, il est employé aussi bien dans l'industrie (soudage à la vague) que par les artisans (manuellement).

3. Principales règles de tracé :

Règle 1 : Soudrer des épaisseurs aussi voisines que possible. Si les épaisseurs sont nettement différentes, préparer les pièces comme sur le schéma suivant.



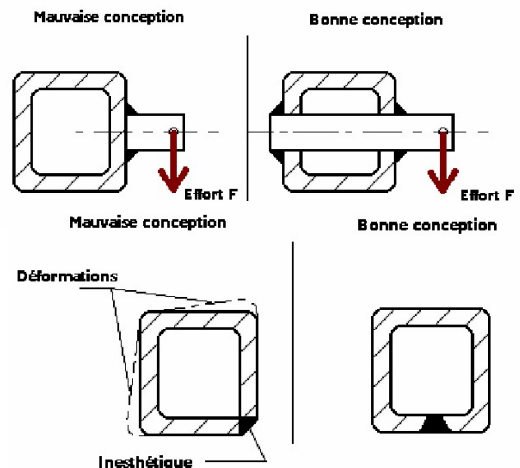
Règle 2 : Placer la soudure dans les zones les moins sollicitées. Eviter, en particulier, les sollicitations en flexion et en torsion.

Règle 3 : Penser aux déformations engendrées par les dilatations locales lors du soudage. Eviter en particulier les soudures d'angle sur pièces prismatiques.

Règle 4 : Afin d'augmenter la longévité des outils, éviter d'usiner une soudure.

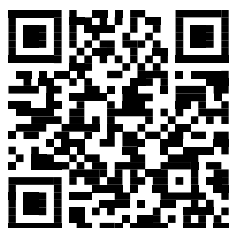
Règle 5 : Eviter les masses de soudure et veiller à une bonne conception des renforts. Pour une construction fortement sollicitée, on supprime les amorces de rupture en effectuant un cordon de soudure.

Règle 6 : Veiller aux possibilités d'accès du soudeur, du chalumeau ou des électrodes. A vérifier notamment dans le cas des soudures en X ou avec reprise à l'envers.

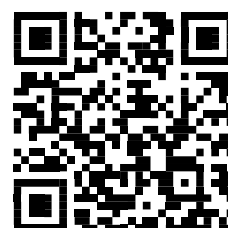


4. Auto évaluation soudage : tableau KWLS

K	W	L	S



https://youtu.be/5M9I_bBrnZ0

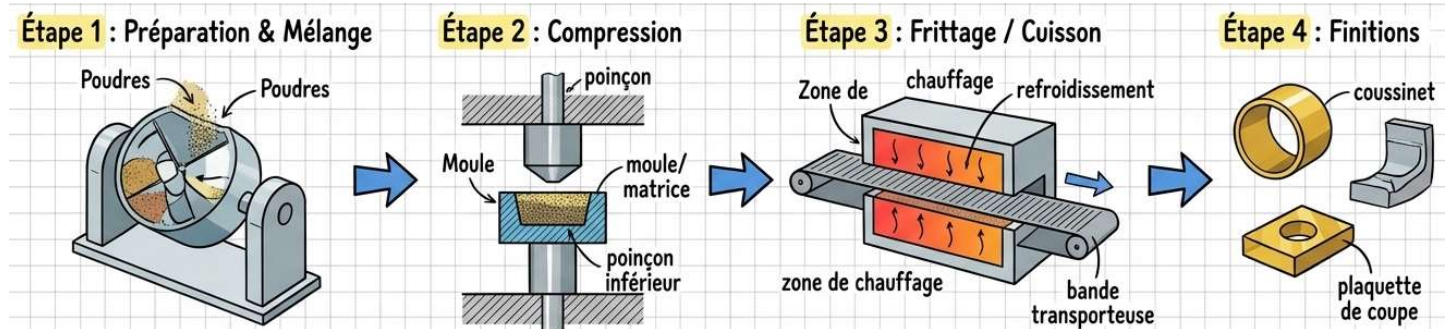


https://youtu.be/IE0NVM6_3mE

VII. Obtention des pièces par frittage :

1. Principe et démarche :

Elaborée au début du siècle, la métallurgie des poudres se décompose en deux étapes :
..... (et un lubrifiant). La mise en forme à froid est effectuée par une suivant la pièce finale. Par ce système, on obtient directement une pièce formée sans usinage.
.....est réalisé dans un four à
..... Il est souvent réalisé sous vide ou sous atmosphère protectrice pour éviter l'oxydation par l'oxygène de l'air.



2. Types de frittage :

a. Frittage sans liant :

Il concerne essentiellement les poudres métalliques.

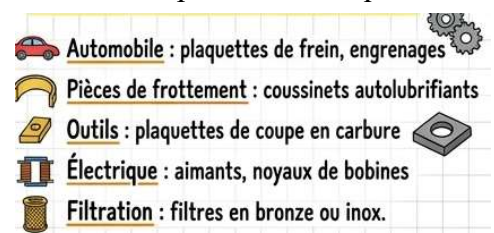
Le frittage sans liant laisse des pièces poreuses, les vides pouvant atteindre 10 à 30 % du volume total. Leur répartition n'est pas uniforme, à cause entre autres de l'« effet silo » (quand on remplit progressivement de produits en grains ou en poudre un silo cylindrique, la pression qui s'exerce sur le fond croît de moins en moins vite et se stabilise à une valeur limite lorsque la colonne stockée atteint une certaine hauteur, à cause des frottements sur les parois).

Cette porosité peut être considérée comme un inconvénient, en particulier parce que les gaz emprisonnés peuvent faciliter la corrosion interne. En revanche, on peut la mettre à profit pour imprégner les pièces frittées de produits lubrifiants et fabriquer ainsi des coussinets autolubrifiants ou des plaques de guidage. Voir : Matériaux utilisables pour le frottement. En frittant non plus des poudres fines, mais des petites billes calibrées, on fabrique des filtres ou des silencieux pour l'échappement de l'air des vérins pneumatiques.

b. Frittage avec liant :

Les mélanges d'oxydes qui servent à fabriquer les éléments de ferrite utilisés dans les circuits électriques comme noyaux des bobines d'induction sont frittés sous très forte pression, comme les pièces métalliques, mais avec un liant. On utilise à cet effet divers polymères qui sont consommés ou évaporés pendant la cuisson.

Les carbures de tungstène que l'on trouve dans les plaquettes destinées à la coupe des métaux sont frittés avec un liant métallique qui augmente la solidité et diminue les porosités. En l'occurrence, il s'agit ici de cobalt.



3. Avantages et inconvénients :

Avantages	Inconvénients



<https://youtu.be/LHtmyVNFQUo>

Chapitre 7 : Dessin du brut capable

I. Les Contraintes de conception d'une pièce moulée

Pour toutes les méthodes de moulage, les contraintes de conception d'une pièce moulée peuvent se résumer comme suit :

- La pièce doit démouler facilement (notion de dépouille)
- L'épaisseur doit être régulière
- Il faut éviter ou réduire autant que possible les masses isolées
- Le retrait doit être facilité
- Les formes et raccords à angles vifs sont à proscrire (remplacement par des congés ou des arrondis)
- Les formes doivent être ajustées et simplifiées pour faciliter la fabrication (moulage, noyautage, remoulage, ébarbage, usinage, ...)

II. Constituants de dessin du brut capable

Le dessin du brut capable est réalisé à partir du dessin de définition sur lequel ont été tracées :

- Le plan de joint
- Les dépouilles
- Les noyaux
- Les surépaisseurs d'usinage
- Les arrondis et les congés

1. - Choix du plan de joint

Le choix du plan de joint est d'une grande importance. Son positionnement doit permettre l'ouverture du moule (ou matrice) et l'éjection de la pièce. (C'est le plan de séparation des deux châssis ou les deux matrices dans le cas d'estampage et matriçage)

- Il doit passer par la grande section ou le plan de symétrie de la pièce.

- Il faut choisir un nombre minimal de joints, de préférence plans et perpendiculaires au sens de démoulage.

- Il doit limiter le nombre de noyaux.

2. Les dépouilles

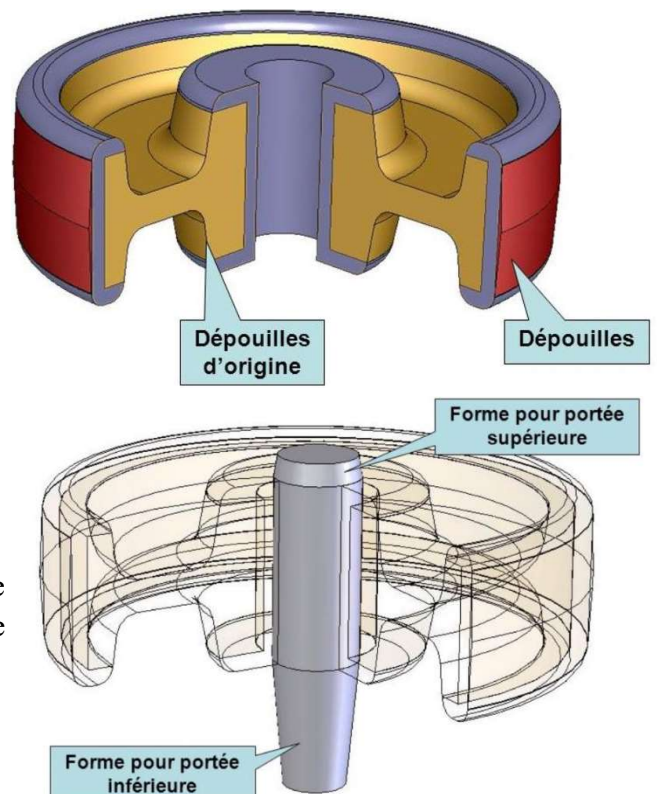
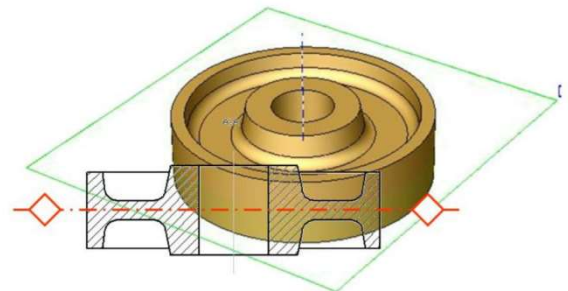
Pour les moules en sable, la dépouille permet le démoulage du modèle sans détérioration de l'empreinte.

Pour les moules permanents et les matrices la dépouille est nécessaire pour extraire la pièce moulée (ou estampée) de l'empreinte.

L'ordre de grandeur des angles de dépouille dépend du type de moulage : **3%** pour le moulage en coquille, **5%** pour le moulage au sable.

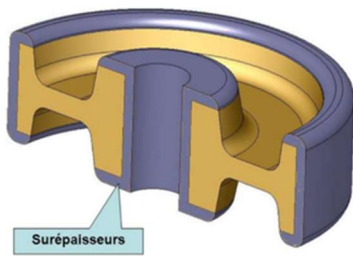
3. - Les noyaux

Le noyau doit être convenablement assujéti dans le moule. Ses assises, ou portées, demandent beaucoup de précision. Il faut prévoir formes pour portées de noyau.



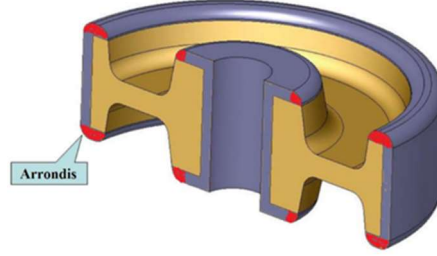
4. Les surépaisseurs d'usinage

Ajout de matière dans les zones devant être usinées après moulage Comprise entre 2 et 7 mm (selon dimensions pièce)



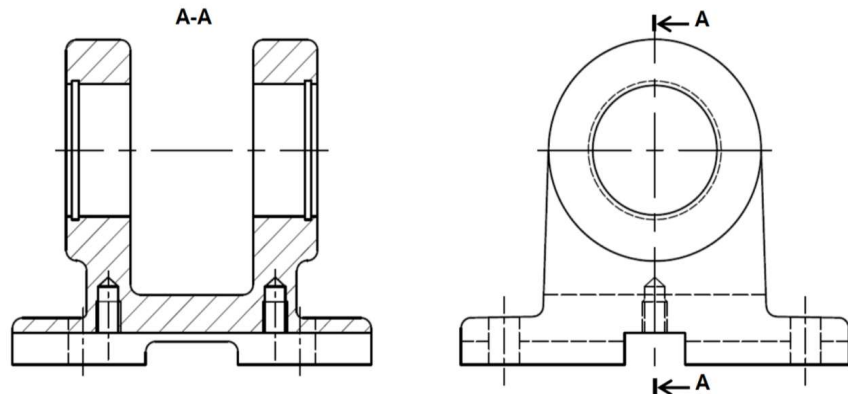
5. - Les arrondis et les congés

Afin d'éviter la création de zones de concentration de contraintes. Il est indispensable de remplacer les angles vifs par : congés ou arrondis

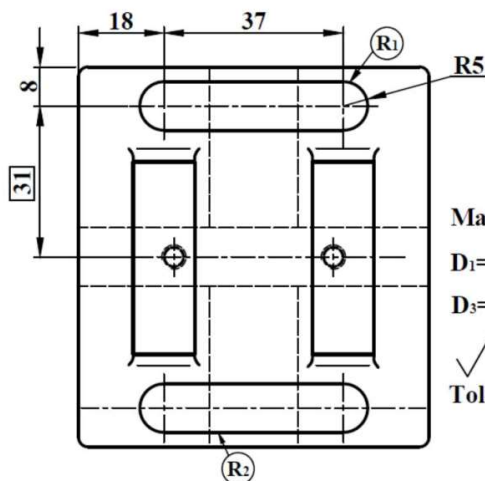
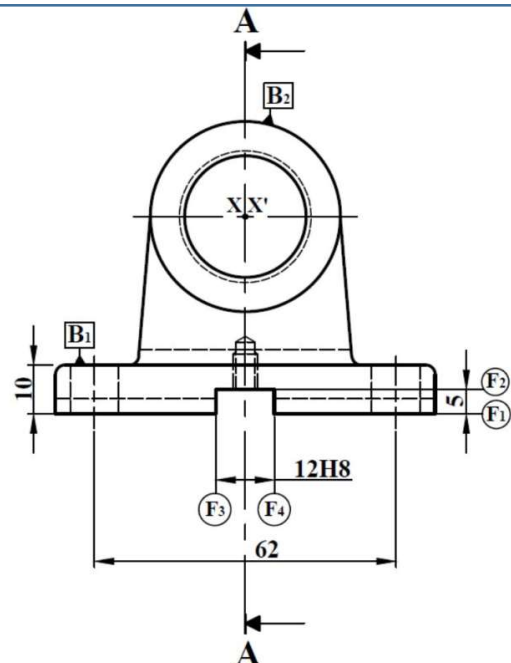
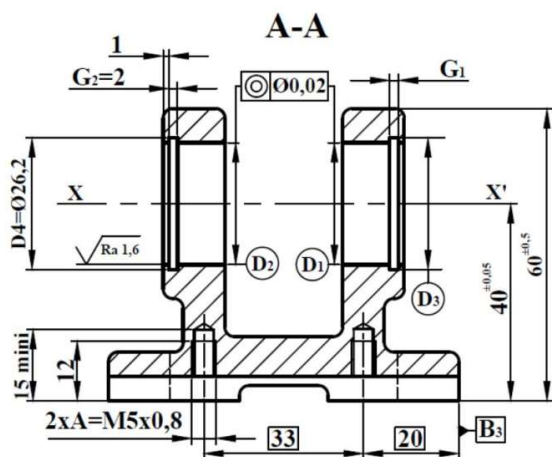


III. Application :

Compléter le dessin du brut capable du support, en indiquant les surépaisseurs d'usinage, le plan de joint et les dépouilles, sachant que l'avant trou de D1 et D2 provient brut du moulage :



N° Phase	Désignation	Surfaces usinées
10	Contrôle de brut	
20	Fraisage	F_1
30	Fraisage	R_1, R_2 et $(F_2, F_3$ et $F_4)$
40	Tournage	(D_1, D_2) Éb, $1/2$ et f , (G_1, D_3) et (G_2, D_4)
50	Perçage-Taraudage	$2 \times A$
60	Contrôle final	



Matière : EN-GJL-200 (Moulée)

$D_1 = D_2 = \varnothing 25 \text{ H7} = \varnothing 25^{+0,021}_0$

$D_3 = D_4 \quad G_1 = G_2$

$\sqrt{Ra} \text{ 3,2} \quad 12 \text{ H8} = 12^{+0,027}_0$

Tolérance générale : $\pm 0,2$
sauf indications

F_1	∇	0,1/100		
$2 \times A$	$\oplus$	$\varnothing 0,1$	R_1	B_3
R_1-R_2	$\equiv$	0,05	F_3-F_4	
D_3-D_4	$\odot$	$\varnothing 0,04$	D_1-D_2	
F_1	$\parallel$	0,2	B_1	
$x \ x'$	$\equiv$	0,1	R_1-R_2	
$x \ x'$	$\parallel$	0,03	F_1	

Chapitre 8 : calcul de l'effort et puissance de coupe

I. Effort de coupe :

L'étude et l'approximation des efforts de coupe sont nécessaires pour choisir les outils et dimensionner le porte pièce ; leurs directions permettent de déterminer le sens de déplacement des outils afin que les appuis du montage s'opposent à ces efforts.

1. Cas du tournage :

L'effort de coupe F_t exercé par la pièce sur l'outil admet trois composantes :

F_c : effort tangentiel de coupe dû au mouvement de coupe.

F_f : effort tangentiel d'avancement dû au mouvement d'avance.

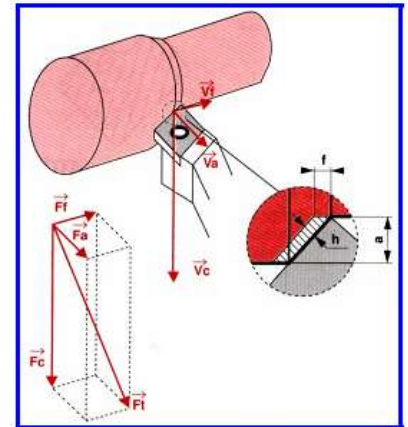
F_a : effort radial dû à la profondeur de passe.

La composante la plus importante est F_c .

Cet effort s'exprime par la relation :

$$F_c = K_c \cdot a \cdot f$$

daN daN/mm^2 mm mm/tr



K_c : pression spécifique de coupe fonction de l'épaisseur du copeau (h) et du matériau usiné.

a : valeur de la profondeur de passe.

f : valeur de l'avance.

Application :

Soit une opération de chariotage avec un outil couteau sur un axe en Ft10 (diamètre brut : 100 mm, diamètre usiné : 96 mm).

L'usinage se fera dans les conditions suivantes :

$V_c = 20 \text{ m/min}$

$f = 0,4 \text{ mm/tr}$

Calculer l'effort de coupe :

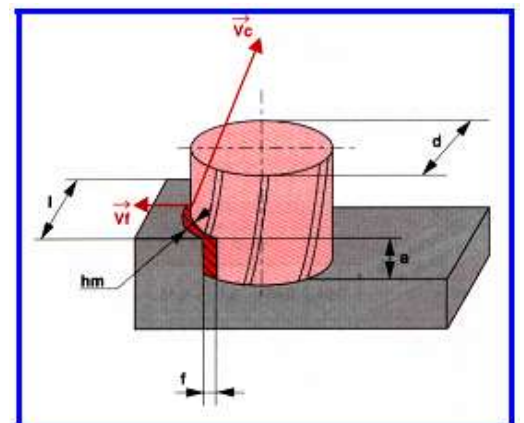
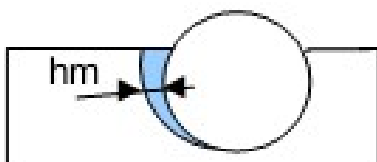
.....

Matières	Kc en daN/mm ²			
	Épaisseur de copeau			
	0,1	0,2	0,4	0,8
E 26	360	260	190	140
E 36	400	290	210	150
A 60	420	300	220	160
XC 38 – XC 42	320	230	170	125
XC 70	390	285	205	150
Acier Inox	520	375	270	190
Ft10 - Ft15	190	136	100	70
Ft20 – Ft25	290	210	150	110
Fontes alliées	325	230	170	120
Fontes malléables	240	175	125	9
Laiton	160	115	85	60
Bronze	340	245	180	130
Alliage alu Rr < 19	115	85	60	45
Alliage alu 19 < Rr < 27	140	100	70	50

2. Cas du fraisage :

L'effort tangentiel par dent, dû à V_c , est donné par la même formule qu'en tournage. Seule la démarche de recherche de la valeur de K_c change.

(L'épaisseur du copeau varie ; donc on détermine hm)



Application

Soit un fraisage à effectuer sur une pièce en A70 de largeur $a_r = 80 \text{ mm}$ avec une fraise de diamètre : 100 mm (8 dents). $V_c = 20 \text{ m/min}$

L'angle de coupe γ est de -1° , l'avance est de $0,2 \text{ mm/dent/tr}$, la pénétration est de 1 mm

Calculer l'effort de coupe :

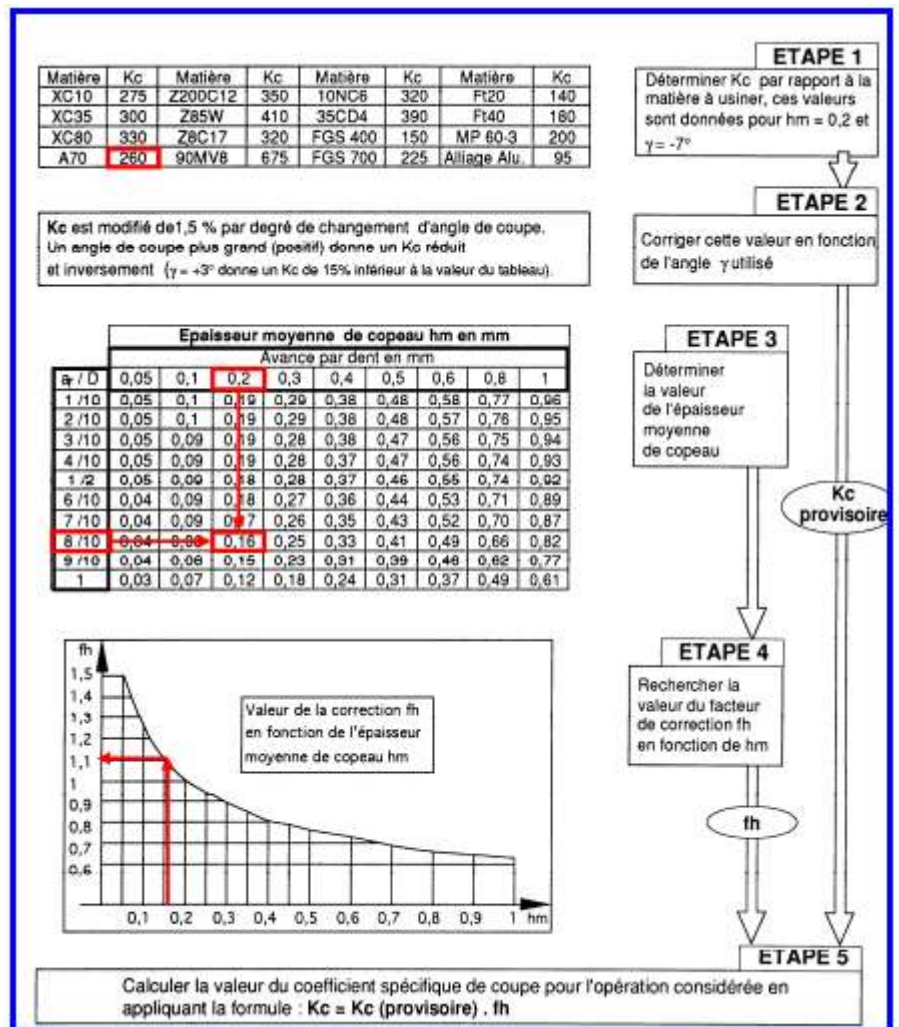
Etape 1 :

Etape 2 :

Etape 3 :

Etape 4 :

Etape 5 :



3. Cas du perçage :

Le schéma ci-contre donne une représentation de la situation des efforts s'exerçant sur chacune des arêtes.

On peut s'apercevoir de l'importance d'un bon affûtage : en effet une dissymétrie des arêtes provoquerait un écart entre les efforts F_a sur chacune d'elles et par là même une déviation de la trajectoire.

Pour les utilisations courantes, les faibles puissances mises en jeu ne justifient pas de calcul.

II. Puissance de coupe :

On distingue deux puissances :

- **LA PUISSANCE DE COUPE (P_c) :**
Elle dépend principalement de la vitesse de coupe (V_c) et de l'effort tangentiel de coupe (F_c).

- **LA PUISSANCE AU MOTEUR (P_m)**
Elle est fonction du rendement de la chaîne cinématique.

$$P_m = \frac{P_c}{\eta}$$

1. Cas du tournage :

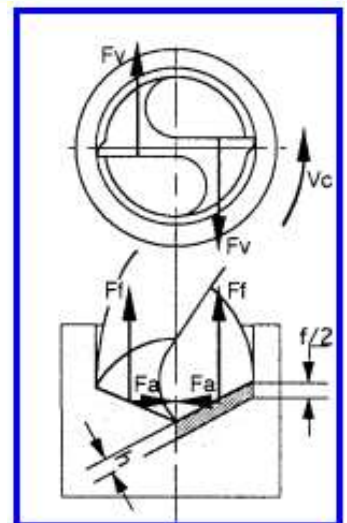
Le diagramme proposés page suivante permet de déterminer :

- soit la puissance de la machine si les paramètres de coupe sont déjà déterminés
- soit un des paramètres si la machine est imposée.

Application :

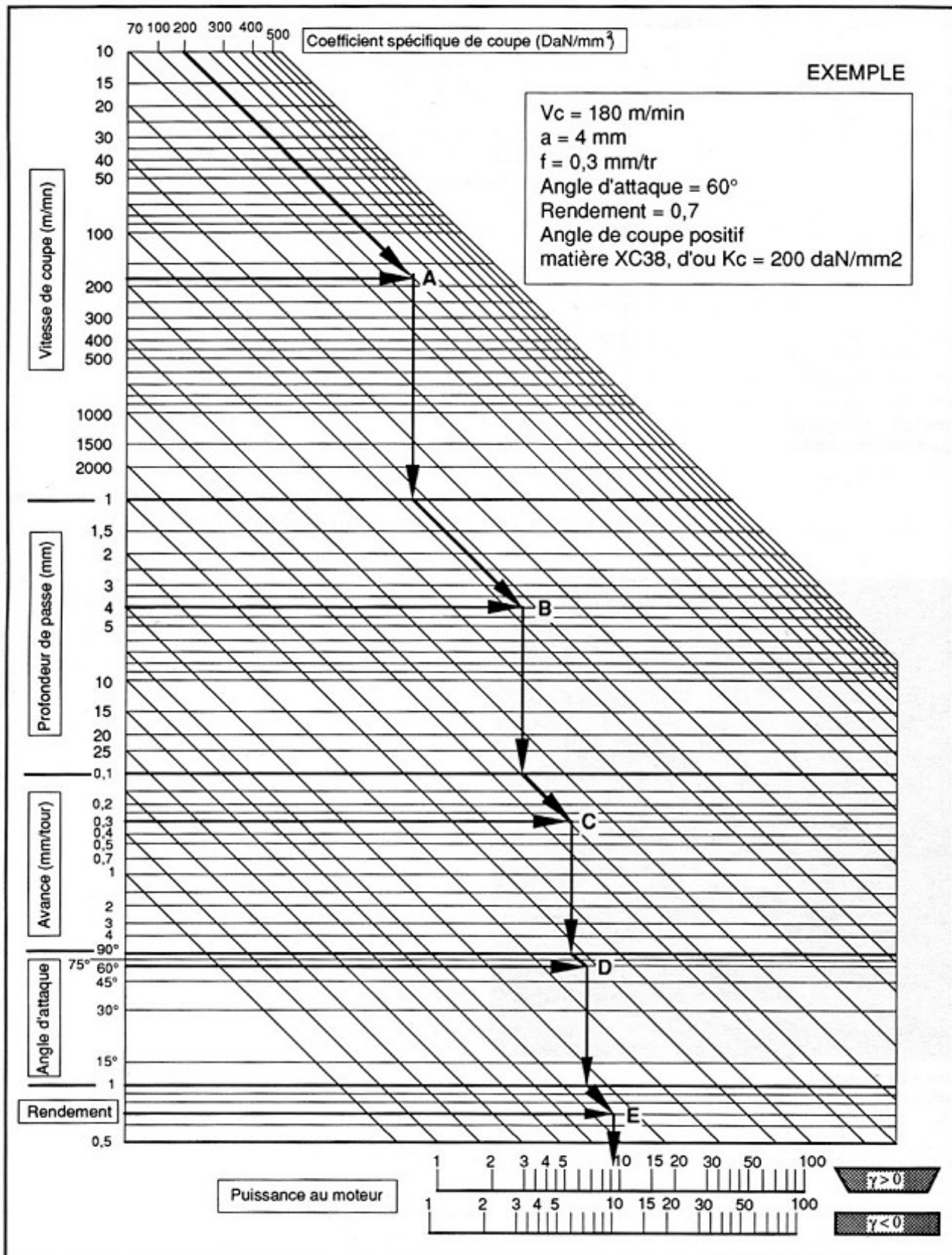
- Exemple 1 :

En utilisant les données et résultats de l'exemple ci-dessus et les renseignements suivants :
Angle d'attaque : 90° Rendement 0,7 $\gamma > 0$ Reproduire la démarche de l'exemple.



- Exemple 2 : $a = 2 \text{ mm}$ $f = 0,4 \text{ mm/tr}$, $V_c = 20 \text{ m/min}$, $K_c = 100 \text{ daN/mm}^2$
Angle d'attaque : 90° Rendement : $0,7$ $\gamma < 0$

Abaque de calcul de puissance en tournage

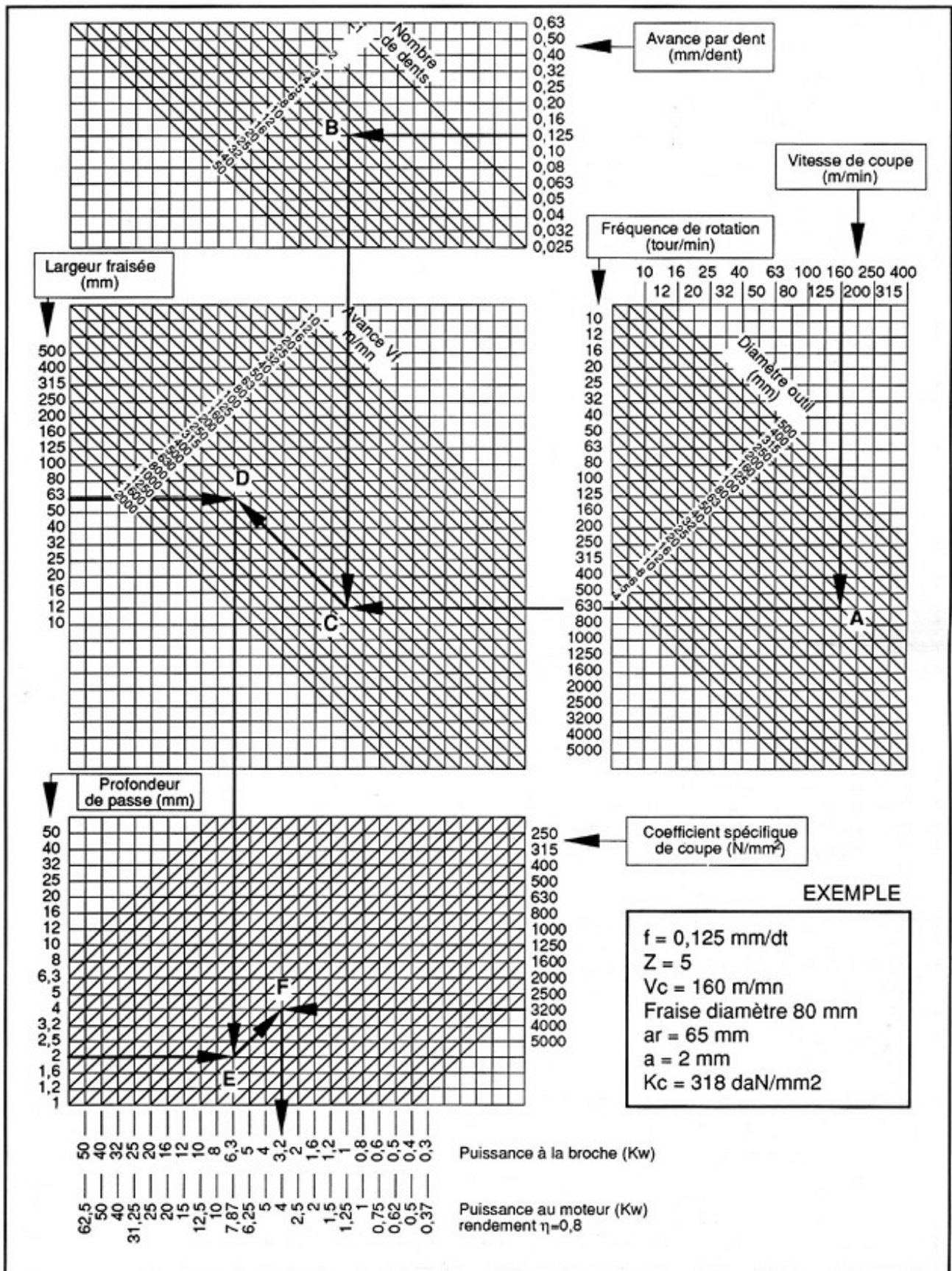


Calcul de P_c par formule de tournage :

$P_c =$

2. Cas du fraisage :

Abaque de calcul de puissance en fraisage



Exemple : $K_c = 260 \text{ daN/mm}^2$; $a_r = 80 \text{ mm}$; $V_c = 20 \text{ m/min}$; Fraise de diamètre : 100 mm (8 dents) ; Angle de coupe γ est de -1° ; L'avance de 0,2 mm/dent/tr ; Pénétration est de 1 mm.

Calcul de P_c par formule de fraisage :

$P_c =$

Chapitre 9 : géométrie des outils de coupe

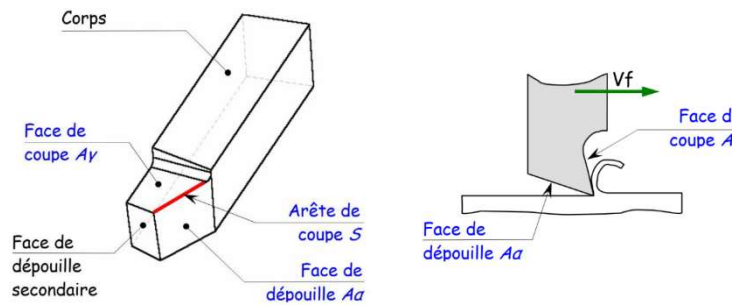
I. Mise en situation :

Pour maîtriser l'élaboration d'un outil, il est nécessaire de connaître un certain nombre de paramètres. En effet on doit connaître le matériau employé pour obtenir l'outil, le type de travail qui lui sera demandé, mais en premier lieu il faut s'intéresser à sa géométrie.

II. Constituants d'un outil de coupe :

Un outil est constitué d'un corps comportant une ou plusieurs parties actives.

L'élément essentiel de la partie active est l'arête formée par l'intersection de la face de coupe et de la face de dépouille. L'arête principale est déterminée par le mouvement d'avance supposé de l'outil.



1. Faces de l'outil :

- Face de dépouille : $Aa \rightarrow$ Surface le long de laquelle passent les surfaces engendrées sur la pièce (surface qui voit la partie usinée).
- Face de coupe : $Ay \rightarrow$ Surface le long de laquelle glisse le coupeau.

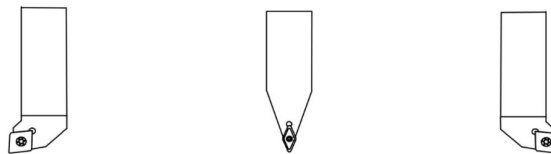
2. Arêtes de l'outil :

- Arête tranchante : bord de la face de coupe destiné à l'enlèvement de la matière.
- Arête principale S : partie principale de l'arête.
- Arête secondaire S' : partie restante de l'arête.

Il faut désormais s'attacher à définir les paramètres permettant de définir un outil. Pour cela, il existe deux systèmes de référence :

- Le système outil en main, indépendant de l'utilisation future.
- Le système outil en travail, déterminé à partir de la résultante des vitesses de coupe et d'avance.

3. Orientation de l'arête



III. Plans de l'outil en main :

Nom	Désignation	Définition
P_r	Plan de référence de l'outil	Plan parallèle au plan de base de l'outil et passant par le point considéré de l'arête.
P_s	Plan d'arête de l'outil	Plan tangent à l'arête au point considéré et perpendiculaire à P_r .
P_f	Plan de travail conventionnel	Plan perpendiculaire à P_r et parallèle à la direction supposée d'avance.
P_p	Plan vers l'arrière de l'outil	Plan perpendiculaire à P_r et à P_f .
P_o	Plan orthogonal	Plan perpendiculaire à P_r et à P_s .
P_n	Plan normal	Plan perpendiculaire à Ay et à P_s .

IV. Angles du système outils en main :

1. Angle de position d'arête :

Nom	Désignation	Définition
κ_r	Angle de direction d'arête de l'outil	Angle aigu, mesuré dans le plan P_r , entre le plan P_s et le plan P_f .
ψ_r	Angle de direction complémentaire de l'outil	Angle aigu, mesuré dans le plan P_r , entre le plan P_s et le plan P_p .
λ_s	Angle d'inclinaison d'arête de l'outil	Angle aigu, mesuré dans le plan P_s , entre l'arête et le plan P_r .

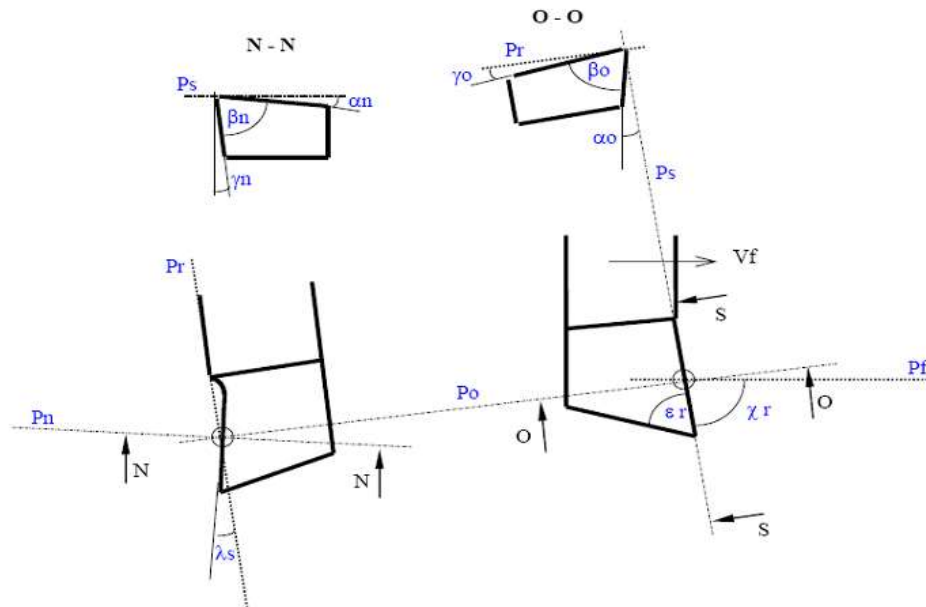
2. Angles de face :

Nom	Désignation	Définition
α	Angle de dépouille	mesuré entre la face de dépouille $A\alpha$ et P_s .
β	Angle de taillant	mesuré entre $A\alpha$ et $A\gamma$.
γ	Angle de coupe	mesuré entre la face de coupe $A\gamma$ et Pr .

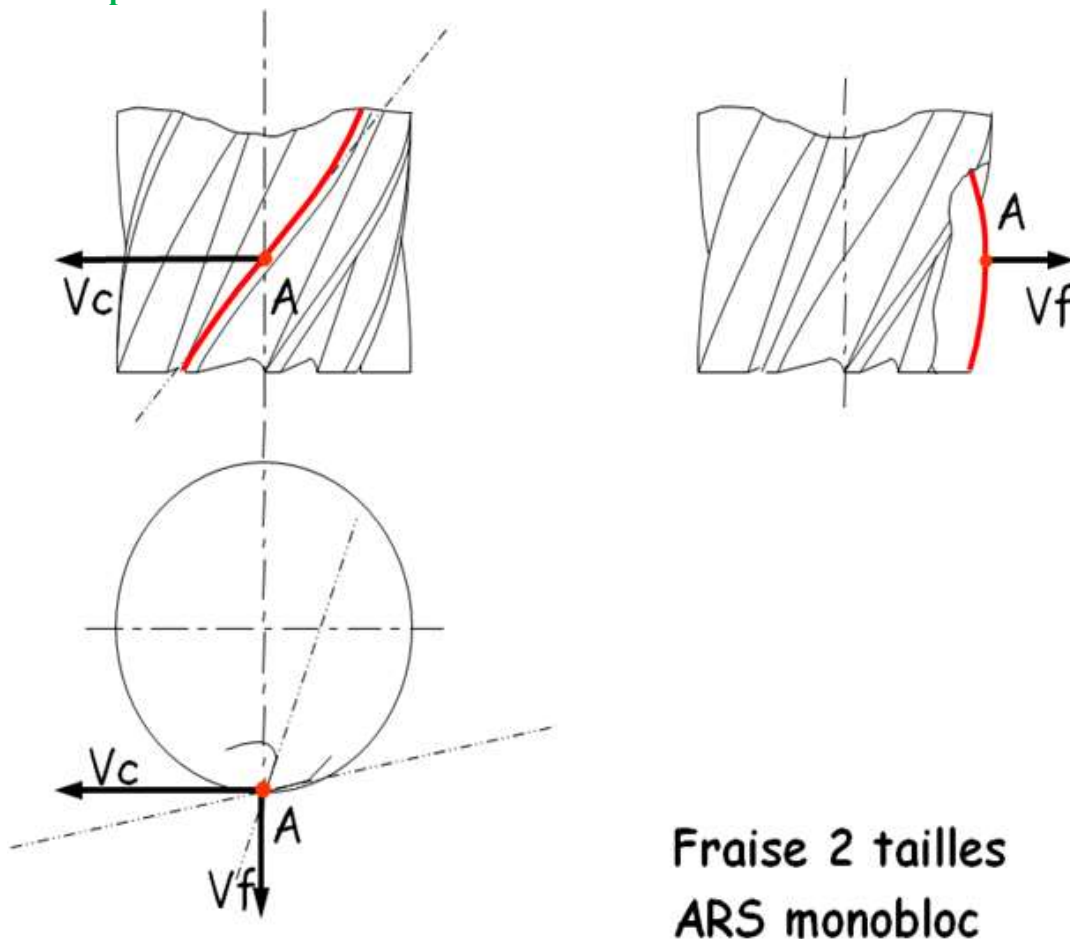
Les angles peuvent être mesurés dans une multitude plans (α_o ; β_o ; γ_o dans P_o) et $\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ$.

V. Exemples :

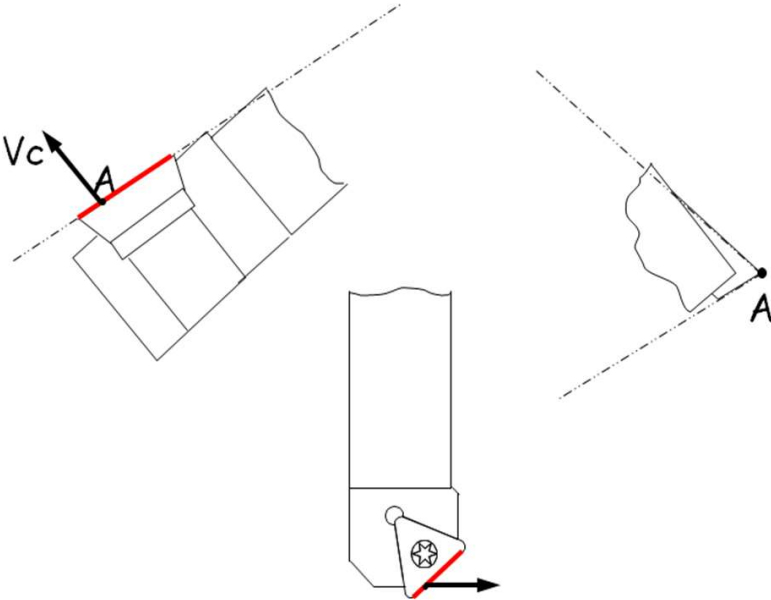
1. Exemple 1 :



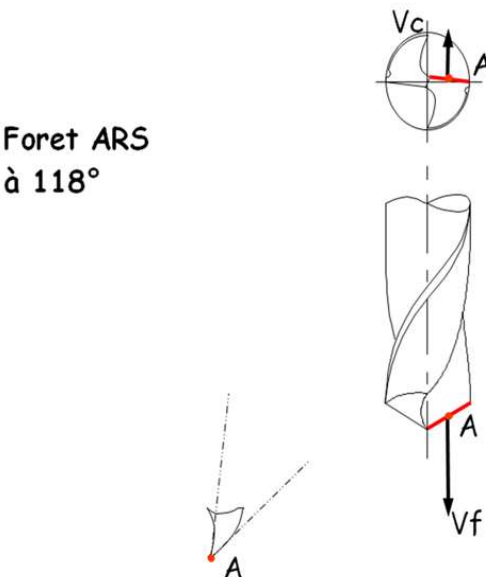
2. Exemple 2 :



3. Example 3 :



4. Example 4 :



VI. Auto évaluation : tableau KWLS

K	W	L	S

Chapitre 10 : durée de vie des outils de coupe

I. Généralités :

La qualité du travail d'un outil de coupe dans le processus d'usinage dépend entre autre de son degré d'usure. Elle a une influence sur :

- La qualité de la surface obtenue ;
- La tenue de l'outil dans le temps ;
- La puissance nécessaire à la coupe ;

II. L'usure de l'outil de coupe :

1. Les paramètres de coupe ayant une influence sur l'usure des outils de coupe :

- La vitesse de coupe (++) : La température étant croissante avec la vitesse de coupe, l'outil devient fragile et l'usure est rapide.
- L'avance (+).
- La profondeur de passe (-).
- Le matériau usiné (++).
- Le matériau de l'outil (++).
- La lubrification (+).

2. Les principaux types d'usure.

a. L'usure en dépouille

Elle apparaît sur la face de dépouille suivant une bande striée brillante parallèle à l'arrête. Elle est due au frottement de la pièce sur la face de dépouille de l'outil.

Le critère d'usure est la largeur de l'usure, nommée **Vb**.

Vb max = 0,3 mm

b. L'usure en cratère.

Elle s'observe sur la face de coupe et apparaît sous la forme d'une cuvette créée par le frottement du copeau.

Le critère d'usure est la profondeur de cratère : **Kt**.

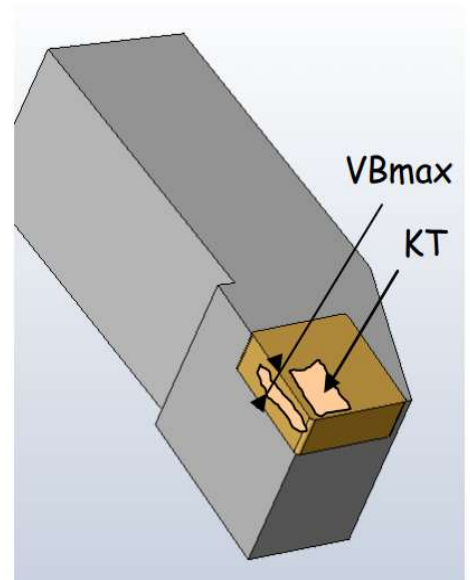
Outre ces deux usures principales d'autres manifestations peuvent être considérées :

c. L'effondrement de l'arête :

Phénomène surtout lié aux outils en ARS, qui est en fait la rupture de la partie active de l'outil.

d. L'usure par entaille de l'arête de coupe

Qui se produit lorsque la couche superficielle de la pièce est beaucoup plus dure que l'intérieur.

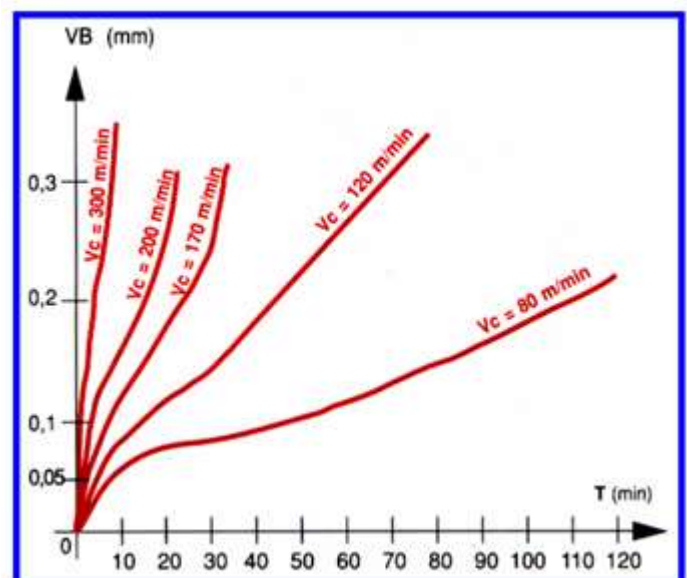


III. La loi de l'usure :

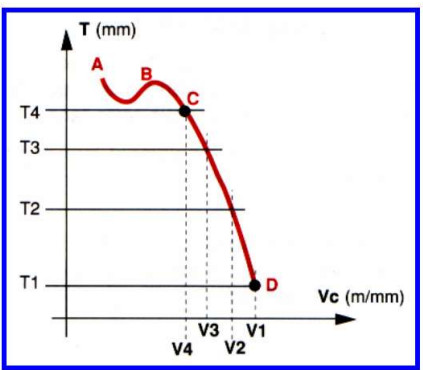
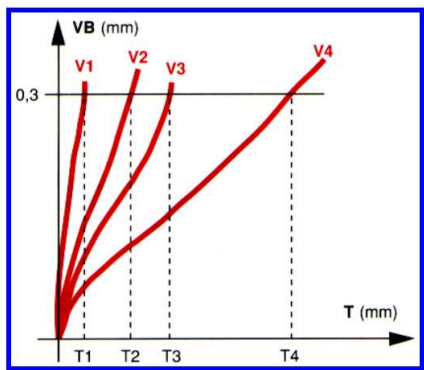
La loi d'usure représente la variation de temps effectif de coupe **T** en fonction des conditions géométriques et cinématiques de l'usinage.

Pour établir cette loi, il est procédé à des essais normalisés. Vous avez les résultats des essais réalisés en tournage sur un acier XC48 avec un outil à plaquette rapportée en carbure métallique dans les conditions suivantes :

- $f = 0,1 \text{ mm/tr}$
- $a = 1 \text{ mm}$
- $V_c = 80 \text{ à } 300 \text{ m/min}$



Dans cet exemple, en choisissant $VB = 0,3$ (valeur donnée par la norme), on peut, à partir de valeurs expérimentales, déduire les temps effectifs de coupe T correspondant et les reporter sur un autre graphe ($T = f(Vc)$).



Sur cette courbe, nous pouvons observer trois zones :

- AB : faibles vitesses de coupe, non utilisé
- BC : zone où la durée de vie est indépendante de Vc , non utilisé
- CD : vitesses de coupe normales et importantes

L'usure croît quasi linéairement avec Vc . On peut y associer un modèle mathématique exprimant la durée de vie en fonction de Vc :

- n : constante fonction du matériau de l'outil
- Cv : constante fonction du matériau usiné

$$T = Cv V^n$$

(Modèle de Taylor)

IV. Application modèle de Taylor :

- Calculer la durée de vie de l'outil de coupe sachant que $n=-3$, $Cv=10^8$; $Vc=230m/min$

- Calculer n sachant que $Cv= 10^7$; durée de vie $T=3,5$ min ; $Vc=450m/min$

V. Auto évaluation : tableau KWLS

K	W	L	S

Chapitre 11 : les traitements thermiques des aciers

I. Généralités sur les traitements thermiques:

Les traitements thermiques sont constitués par un certain nombre d'opérations combinées de chauffage et de refroidissement ayant pour but :

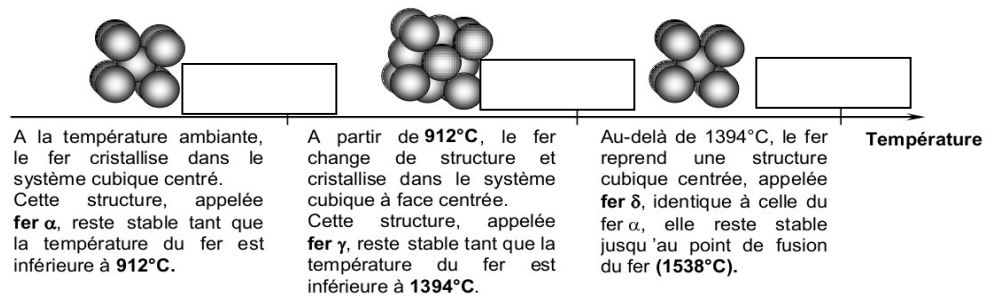
-
-
-

Les principaux traitements thermiques dans la masse des produits ferreux :

- - -

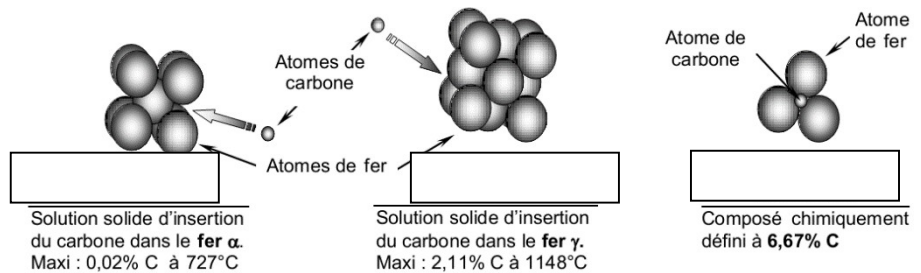
II. Structure cristalline du fer :

Le fer formé de grains, disposés côte à côte, dont la forme, plus ou moins régulière, est polygonale. A l'intérieur des grains, les atomes, en contact les uns avec les autres, sont disposés régulièrement. Le motif élémentaire qui construit le réseau cristallin du grain est une maille.



III. Constitution micrographique des aciers :

Dans le réseau cristallin, l'atome de carbone (plus petit) se loge dans les espaces vides entre les atomes de fer pour former des solutions solides d'insertion. Le carbone peut aussi s'associer avec le fer pour former le carbure de fer Fe_3C .



IV. La transformation et diagramme d'équilibre fer-carbone :

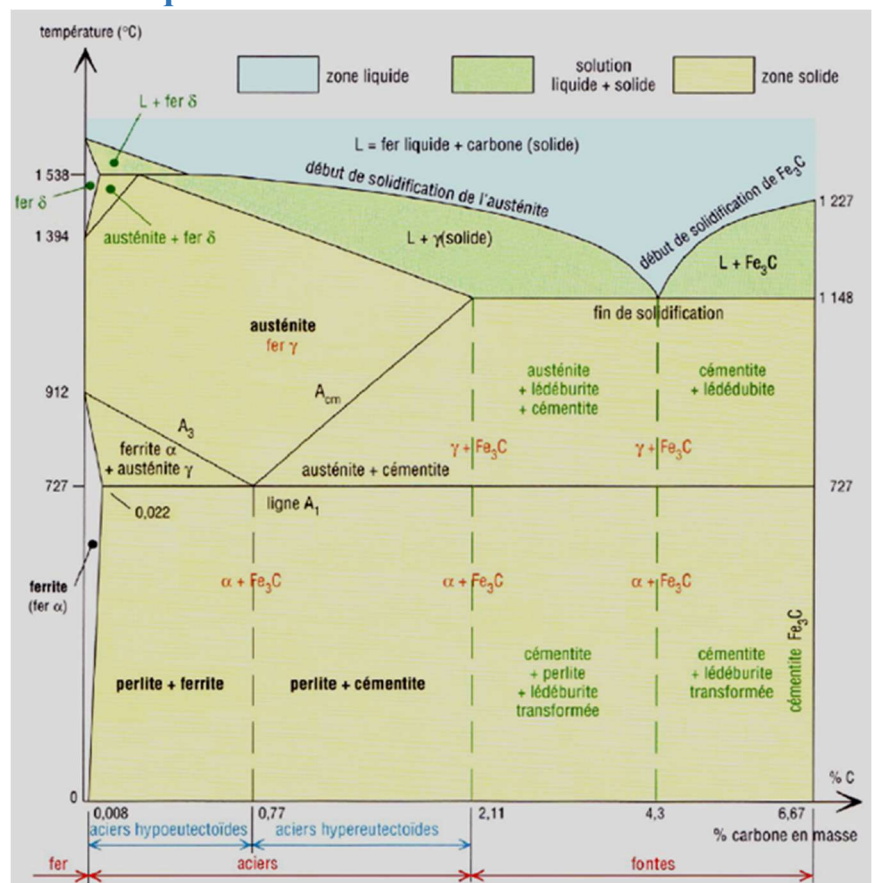
1. Diagramme d'équilibre Fer-Carbone :

Ce diagramme est très utile pour comprendre les aciers, les fontes et les traitements thermiques. Il est limité à droite par la **cémentite** (6,67 %C, matériau fragile, cassant, très dur) et fait apparaître les deux grandes familles de métaux ferreux les aciers (entre 0,008 et 2,1 %C) et les fontes (de 2,1 % à 6,67 %C).

-Ligne A1 (727 °C) : elle marque la fin de la, mixture de fer contenant, en austénite ; au-dessus.....

-Ligne A3 : elle précise la fin de la transformation de la en la ferrite n'existe plus au dessus de cette ligne.

-Ligne Acm : elle indique la fin de la dissolution, après dissociation, de la cémentite dans l'austénite lorsque celle-ci existe.



2. Acier au carbone :

a. Acier eutectoïde :

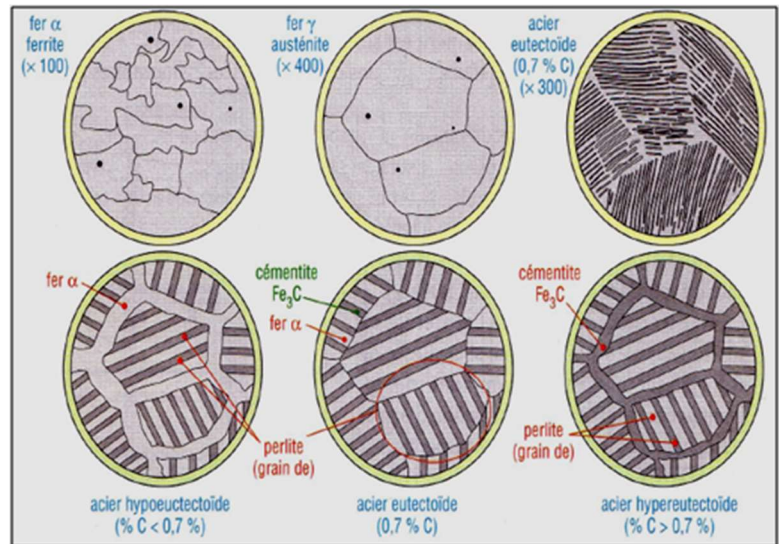
Toute l'austénite initiale est précipitée en perlite : un seul constituant de base contenant 0,77 %C.

b. Acier hypoeutectoïde :

Ce sont les plus utilisés industriellement ; ils ont deux constituants de base, la perlite et la ferrite. Au refroidissement l'austénite se transforme d'abord en perlite, mais comme il n'y a pas assez d'atomes de carbone pour n'obtenir que de la perlite, il reste toujours une certaine quantité de ferrite dont la proportion est fonction du pourcentage de carbone initial. **Exemples :**

c. Acier hypoeutectoïde :

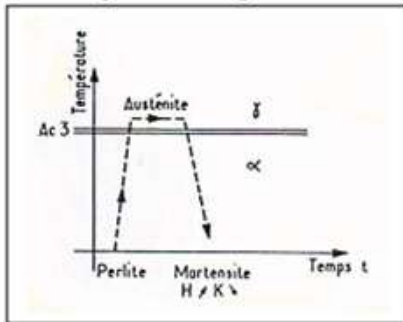
Ils ont deux constituants de base, la perlite et la cémentite. Tout le carbone initial ne pouvant être dissous et consommé par la perlite, les atomes restants s'amalgament avec le fer pour former de la cémentite, dans des proportions qui sont fonction du pourcentage de carbone initial. **Exemples :**



V. Exemples des traitements thermiques :

1. La trempe :

• Cycle thermique



• Conséquences :

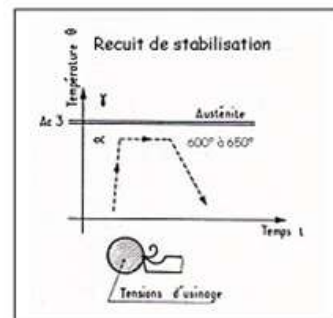
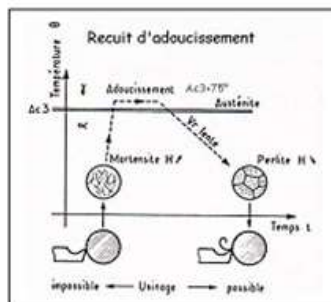
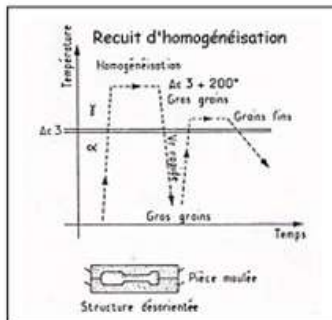
La trempe permet d'améliorer les caractéristiques mécaniques dans le sens suivant :

Propriétés mécaniques	K	H	Rm	Re	A
Résultats après trempe					

2. Le recuit :

Le recuit a un effet inversé à la trempe. La structure obtenue présente une meilleure usinabilité. Le procédé consiste en :

-
-
-

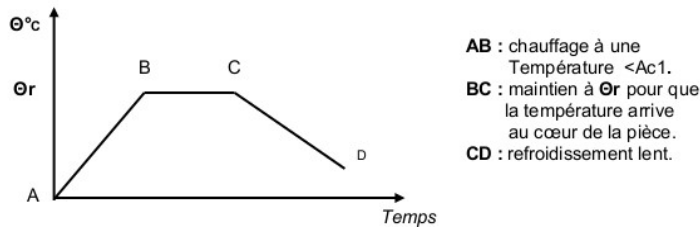


• Conséquences :

Propriétés mécaniques	K	H	Rm	Re	A
Résultats après recuit					

3. Le revenu :

- De diminuer certains effets néfastes de la trempe telle que la fragilité et les tensions internes
- De réaliser un meilleur compromis entre les caractéristiques mécaniques en fonction de l'emploi de la pièce.

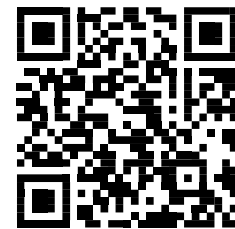
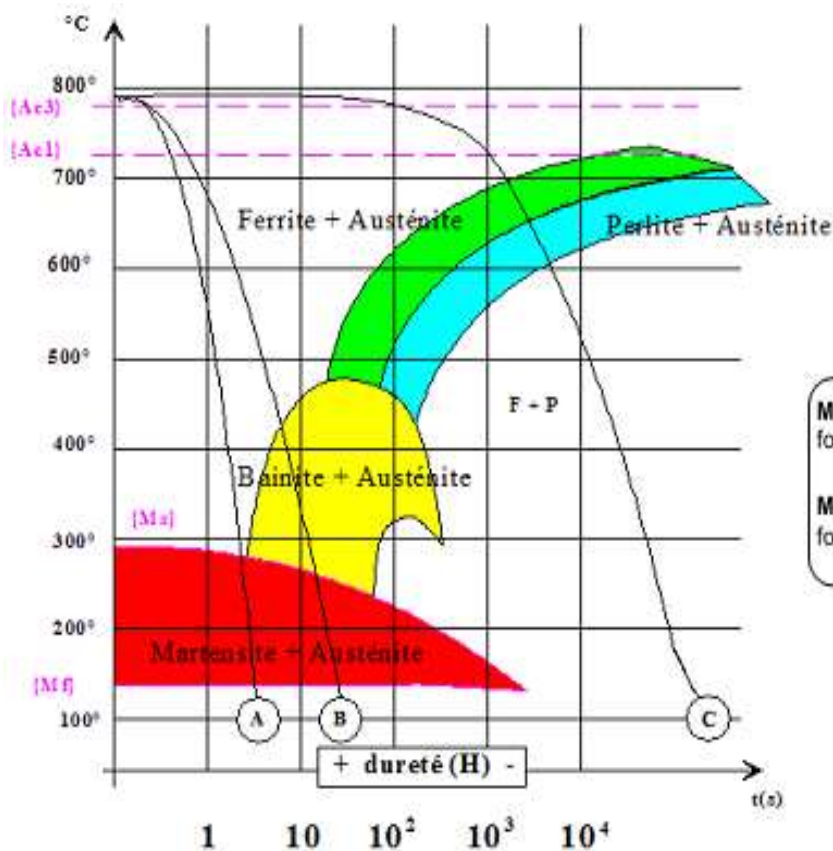


Propriétés mécaniques	K	H	Rm	A
Résultats après revenu				

Principaux revenus :

- Revenus usuels : $400^{\circ}\text{C} < \theta < 700^{\circ}\text{C}$
- Revenus de détente : $70^{\circ}\text{C} < \theta < 400^{\circ}\text{C}$

VI. Courbes TRC : Temps Refroidissement Continu :



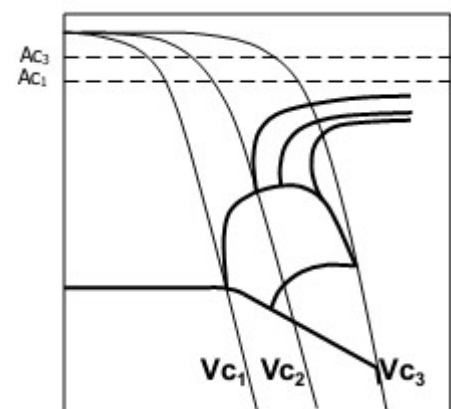
<https://youtu.be/Vh0lqphViCs>

Ms (Martensite star) : Début de formation de la martensite.
Mf (Martensite finish) : Fin de formation de la martensite.

Les courbes TRC représentent les résultats de la transformation de l'austénite en refroidissement continu. Sur un diagramme TRC, les différentes zones définissent la transformation obtenue de l'austénite. Les différents traits, repérés **A, B ou C** caractérisent les vitesses de refroidissement que l'on doit utiliser en fonction de la dureté à obtenir. La dureté obtenue est définie au-dessus de l'axe des abscisses.

Vitesses critiques :

- Vitesse critique de trempe martensitique VC_1 :
- Vitesse critique de trempe bainitique VC_2 :
- Vitesse critique de recuit VC_3 :



VII. Courbes TTT : Temps, Température, Transformation :

1. Définition :

Le diagramme temps-température-transformation (trempe), ou diagramme TTT, est utilisé pour étudier les transitions de phases ou d'état, spécialement pendant les traitements thermiques.

Ce type de diagramme s'obtient par des expériences de trempe suivies d'un maintien à une température donnée. On mesure alors le taux de transformation.

2. But et principe.

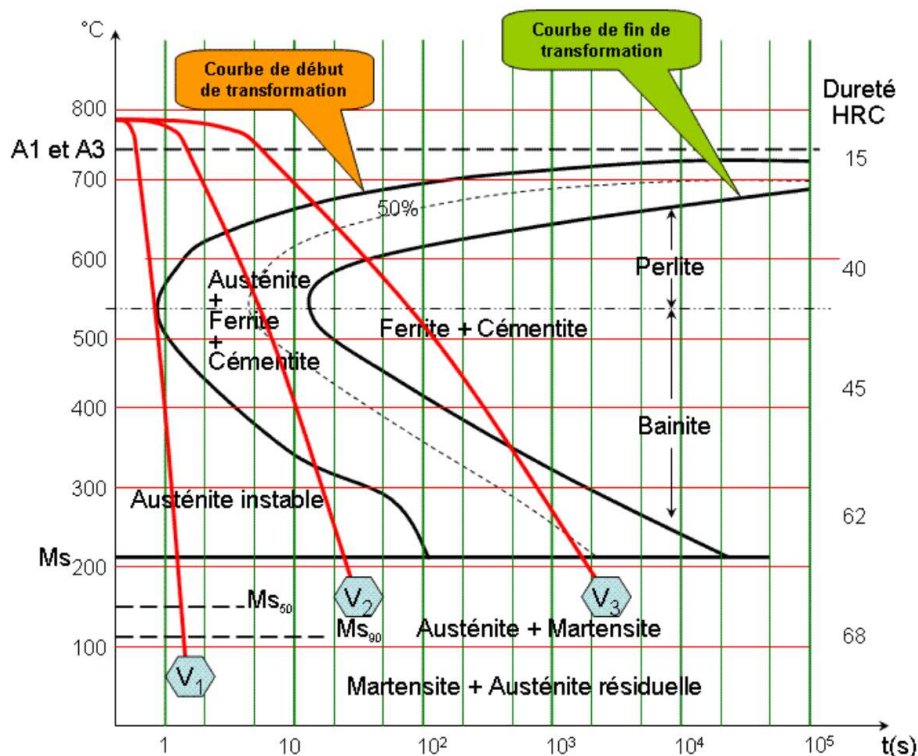
Les courbes TTT permettent d'étudier l'évolution de l'austénite à une Température de maintien isotherme inférieure à A_{c3} .

Plusieurs échantillons d'un même acier sont chauffés à la température d'austénitisation puis refroidis rapidement vers des températures de maintien isotherme différentes.

Les lignes qui relient les points de début et de fin de transformation de l'austénite forment les courbes TTT. L'analyse micrographique permet de préciser les constituants obtenus.

Le cycle global des traitements s'appuyant sur les courbes **T.T.T** (**T**empérature, **T**emps, **T**ransformation) comporte :

- Une austénitisation ($Ac_3 + 50^\circ C$) pour un temps suffisamment long afin d'obtenir une bonne homogénéité.
- Un refroidissement rapide vers la température de maintien isotherme.
- Un palier isotherme suffisamment long pour permettre la décomposition de l'austénite dans le constituant choisi.
- Un refroidissement final naturel.

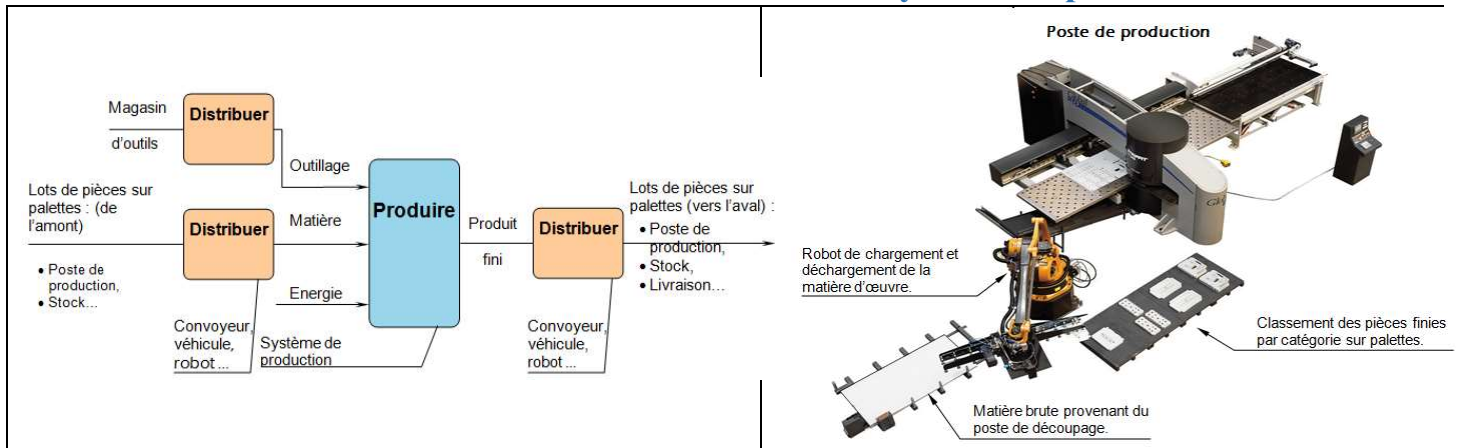


VIII. Auto évaluation : tableau KWLS

K	W	L	S

Chapitre 12 : fonction distribuer dans l'atelier de production

I. Situation de la fonction «distribuer» dans le système de production :



II. Distribution des flux physiques :

Dans un système flexible, plusieurs moyens sont mis en œuvre pour la distribution des flux physiques. Cette distribution est assurée soit par : Palettiseurs, Convoyeurs, Véhicules à guidage automatique (AGV).

1. Les palettiseurs :

a. Les Palettes :

Les machines d'usinage constituant les processus de fabrication flexible sont dotées de palettes (tables interchangeables qui supportent les pièces à usiner ; sur ces palettes sont disposées les pièces à usiner par l'intermédiaire de portes pièces spécifiques ou standards régler hors machine. le chargement des pièces sur la machine est ainsi très rapide.



Elles peuvent être fabriquées en différentes matières (plastique, inox, etc) selon les contraintes du flux de production (lavage, séchage, traitement thermique, etc.).

Palettisation :

La palettisation fait partie des systèmes de manutention qui sont le plus développés au cours des trois dernières décennies. Elle consiste à grouper un certain nombre de colis sur un support : la palette ; l'opération de groupage est faite par un palettiseur. La palettisation vise à réduire au maximum les durées d'attente ainsi que le temps de chargement/déchargement, cette approche a conduit à une augmentation considérable du rendement de production.



Robot palettiseur

2. Les Convoyeurs :

Système à chaînes ou à rouleaux servant à déplacer automatiquement des palettes. La combinaison de convoyeurs à chaînes et à rouleaux permet de réaliser des angles à 90° ou des intersections ; dans ce cas un mécanisme permet de lever ou baisser les chaînes.



Rouleaux motorisés ou libres



Convoyeurs pour chaînes à charnières avec des courbes de faibles rayons

3. Véhicules à guidage automatique AGV :

Les manutentions dans un atelier flexible, ou les opérations d'usinage sont d'une durée relativement courte, sont facilitées par l'usage des **Véhicules à guidage automatique (AGV)**.

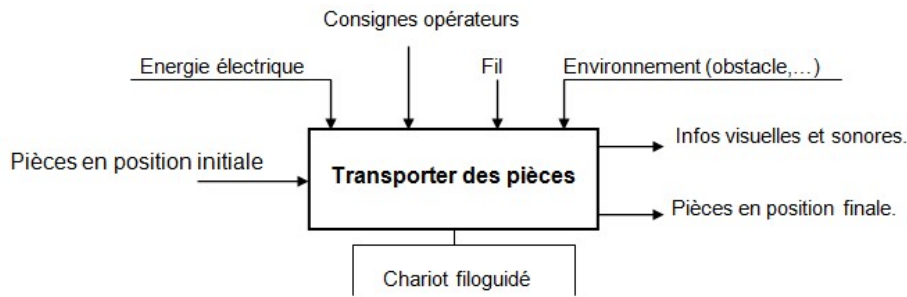
Les AGV (Automatic Guided Vehicles) sont des chariots de manutention sans conducteur alimentés par batteries, présentant une grande polyvalence d'utilisation. Leurs applications sont variées dans tous les domaines d'activité. Les charges transportées vont de quelques kilos à plusieurs tonnes. Le niveau de prise ou dépose varie du sol à environ 10 mètres.

Le pilotage est assuré par l'informatique embarquée qui gère les fonctions internes telles que la communication, le guidage, le contrôle des outils, la sécurité. Les AGV se distinguent en deux types :

Les chariots filoguidés ou Les chariots laser guidés.

a. Les chariots filoguidés :

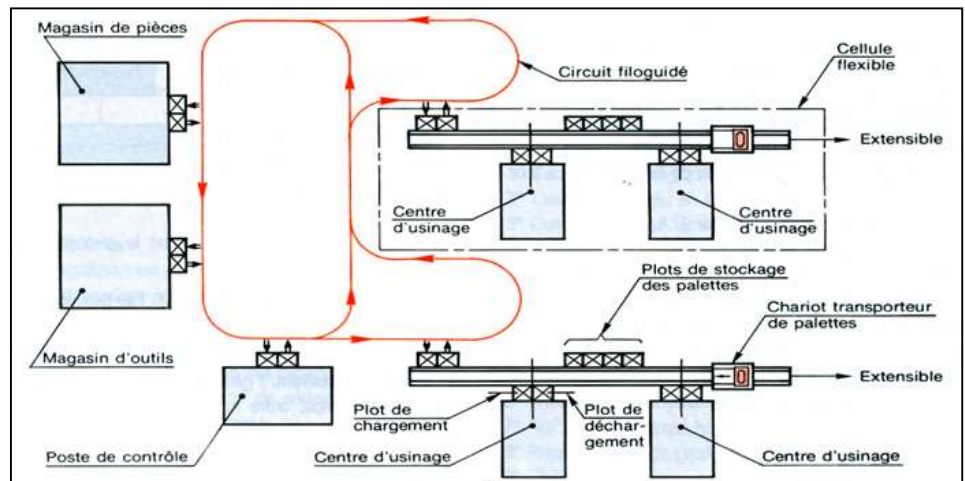
Fonction d'usage et matière d'œuvre :



<https://youtu.be/WILS3vNSuQ4>

Principe du filoguidage :

Un fil définissant le trajet à suivre par le chariot est noyé dans le sol est parcouru par un courant électrique variable de façon à créer un champ électromagnétique sur le trajet du chariot. Le chariot comporte trois roues dont : Une à l'avant qui est directrice et deux à l'arrière dont une sert à la propulsion.



b. Les chariots laser guidés :

Les systèmes utilisant la navigation laser offrent une flexibilité optimale. Le guidage laser permet de changer la trajectoire du chariot, d'ajouter des points de prise et de dépose et d'agrandir le système. Tout cela rapidement, en toute simplicité et sans frais supplémentaires ni interruption de production dus aux travaux au sol pour l'installation de câbles, d'aimants, de balises passives/cibles, etc.

■ Principe de fonctionnement :

Un scanner laser monté en haut du chariot assure la navigation sur le site. Le laser scanne le site pour détecter les cibles réfléchissantes montées sur les murs à intervalle régulier. Une fois qu'un minimum de deux cibles est détecté, le chariot est en mesure d'identifier et d'actualiser sa position actuelle à l'aide d'un algorithme de triangulation intégré au logiciel de contrôle. Cet outil de navigation est donc un modèle de fiabilité et de précision.

■ Caractéristiques :

- ✓ Excellent rapport qualité-prix : temps d'installation réduit au minimum, pas de modifications au sol à apporter, moins de cibles requises.
 - ✓ Flexibilité optimale : les trajectoires guidées se changent rapidement et en toute simplicité.
- Performances optimales : extrêmement fiables avec une précision exceptionnelle.



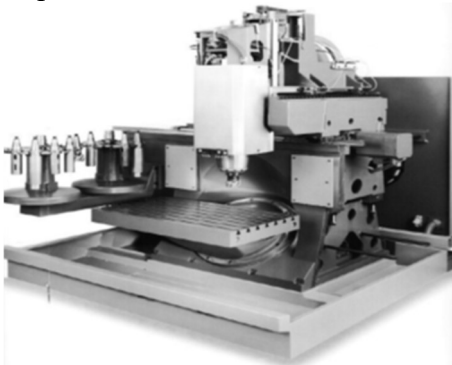
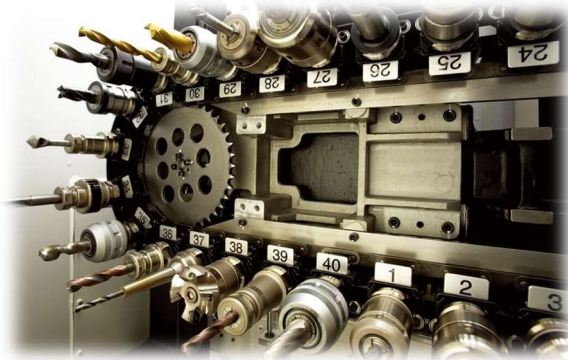
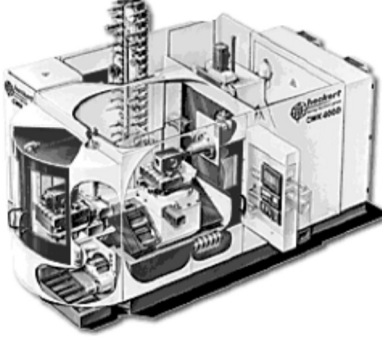
<https://youtu.be/7LRNeBv97jU>

III. Chargement et déchargement des MOCN :

1. Chargement et déchargement d'outils dans une MOCN :

La plupart des MOCN disposent de chargeurs automatiques d'outils. Ces outils sont stockés sur une tourelle ou en magasins (carrousels, chaînes...) et occupent des postes (repérés par un numéro) connus par le programmeur. Un outil est appelé par le programme grâce à ce numéro associé à la fonction T ("Tools" = outils). Sa mise en position au poste de travail est assurée par la fonction auxiliaire M6 dans le cas d'un chargement automatique d'outils.

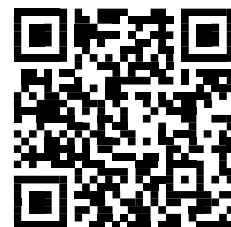
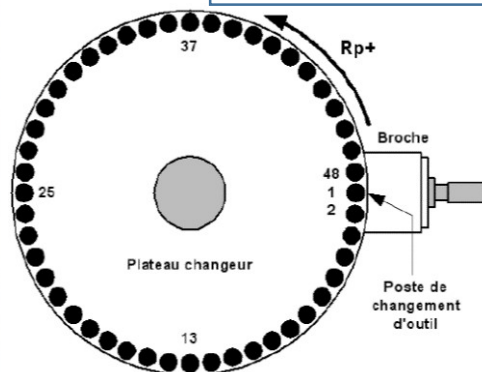
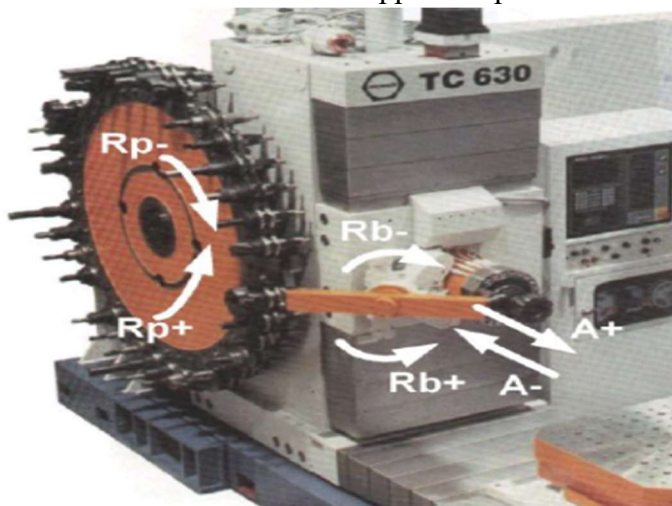
a. Stockage et gestion des outils :

Machines de tournage	Machines de fraisage
Tourelles évolutives : Inconvénient : nombre d'outils limités. 	chargeurs à plateaux : Inconvénient : capacité limitée mais les plateaux peuvent être interchangeables automatiquement. 
Magasins à chaînes : Avantage : nombre important d'outils. Inconvénient : peu rapide. 	Changeurs à chaînes : Grande capacité - Rechargement par un robot outil par outil. Capacité encore accrue en utilisant 2 chaînes. 

b. Exemple poste de changement d'outils :

Le plateau changeur ci-dessous permet de :

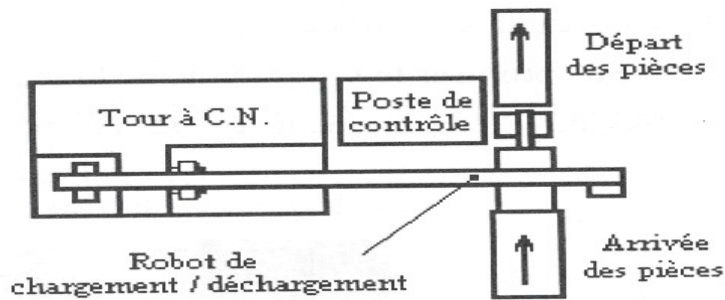
- De stocker les outils.
- D'amener l'outil appelé en position de changement d'outil.



2. Chargement et déchargement des pièces dans une MOCN :

Dans un atelier flexible, les cellules doivent être capables d'assurer le chargement et le déchargement des pièces qui seront transporté automatiquement.

Les machines de tournage sont généralement couplées à **un robot**. Les machines de fraisage sont équipées généralement **d'un carrousel de palettes ou d'un système linéaire de palettisation**. Dans ce cas, les pièces sont stockées avec leurs montages et celles-ci peuvent être identifiées par un codage des palettes.



Exemple d'utilisation d'un robot



a. Définition d'un Robot :

Le robot : c'est un manipulateur commandé en position, reprogrammable, polyvalent, à plusieurs degrés de liberté, capables de manipuler des pièces, des outils au cours de mouvements variables et programmés pour l'exécution d'une variété de tâches.

b. Type de Robots :

- **Manipulateur** : c'est un dispositif commandé directement par un opérateur.
- **Robot séquentiel** : Manipulateur fonctionnant selon une séquence et des conditions préétablies.
- **Robot intelligent** : Robot réalisant lui-même des fonctions variées grâce à ses capacités d'actions et de perception sensorielles.

c. Choix d'un Robot :

L'unité de chargement déchargement d'une MO doit Répondre à certains critères dont :

- **Précision** : précision de positionnement sur la MO.
- **Productivité** : rapidité de l'opération d'échange (pièce usinée/pièce brut)
- **Flexibilité** : adaptation aux différentes pièces et différentes positions des pièces sur l'organe de transport.
- **Fiabilité**.

Le choix d'un robot dépend de **ces impératifs**.

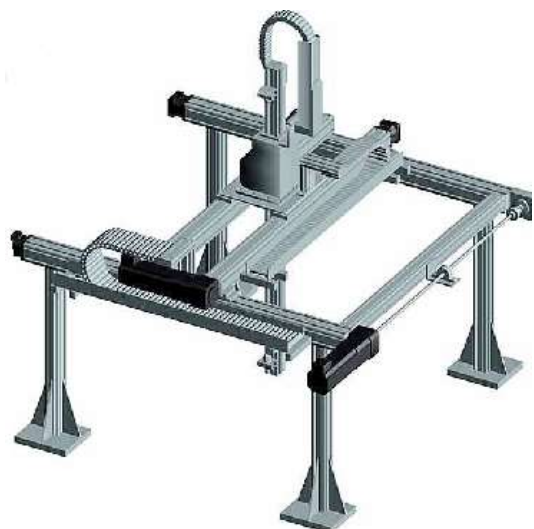
☞ **Exemple** : si les impératifs sont la productivité et la précision, le Manipulateur (peu onéreux) sera préféré. Par contre si on veut une grande flexibilité le robot s'impose.

d. Exemples des robots :

☞ Robot a coordonnées sphériques :



☞ Robot à structure portique :



Chapitre 13 : implantation en ilot de production

I. Objectif de l'implantation :

L'outil appelé implantation a pour but l'organisation des ressources d'une unité de production, visant à structurer et à recourir les flux de matières.

Ilot de production et ligne de fabrication :

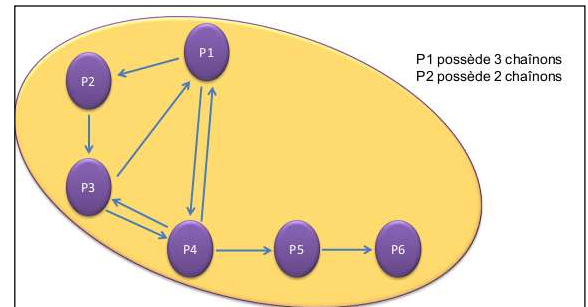
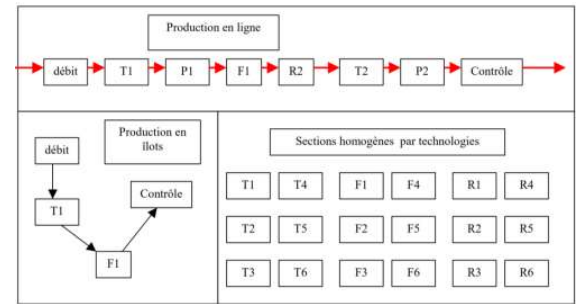
Ilot de production est un regroupement de poste de travail traversant par des flux de matières utilisant ces postes dans un ordre variable d'une gamme à l'autre.

Ligne de fabrication : lorsque le flux de matières utilise les postes de travail dans un ordre immuable d'une gamme à l'autre nous parlerons de ligne de fabrication.

II. La méthode des chaînons :

1. Implantation par méthode des chaînons :

Un chaînon est un itinéraire, un chemin de manutentions entre deux postes de travail. Sur une chaîne, un poste de travail dispose d'autant de chaînons que de postes avec lesquels il est en échange de pièces.



a. Îlot de production optimisé suivant la méthode des chaînons

Îlot de production comprenant 7 postes notés successivement de 1 à G. 5 familles de pièces notées de P1 à P5.

Repère pièce	GAMME						Nombre de lots de transfert par lot de fabrication
	10	20	30	40	50	60	
P1	A	D	B	E			25
P2	F	B	D	A	G	B	43
P3	F	B	D	A			15
P4	A	C	B				24
P5	A	B	C	D			90

b. Tracer la matrice des flux ou table des chaînons et réaliser l'implantation théorique :

La table des chaînons se présente sous forme d'une demi-matrice dont les lignes et les colonnes désignent les différents postes de travail.

Nous retiendrons la représentation suivante sur laquelle la désignation des lignes et des colonnes se fait une seule fois par inscription des repères des postes de travail dans les cases de la diagonale limitant la matrice.

Chaque case de la matrice représente un chaînon.

Phase 0 : Table des chaînons ou matrice des flux

L'intersection marquée représente le chaînon DE ou ED

Gamme de la pièce P1: A -D -B -E

Les chaînons concernés sont AD, DB et BE.

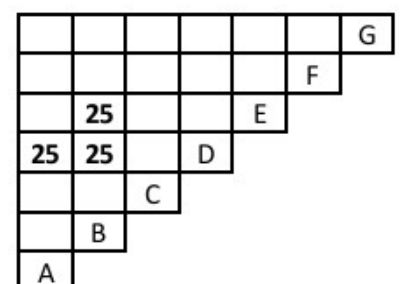
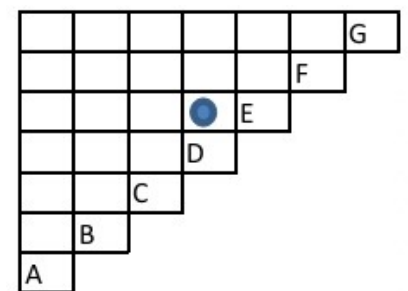
Le nombre de lots de transfert étant de 25, nous inscrivons 25 dans les cases.

Phase 1 : Comptage des chaînons et leur indice de flux

La gamme opératoire de la pièce P1 est décrite par la liaison A-D-B-E et donc les chaînons concernés : AD, DB, BE. Le nombre des lots de transfert s'élève à 25.

Si plusieurs gammes passent par un même chaînon, nous totalisons les indices de flux.

Exemple : L'indice du flux AD sera 83 soit le total de 25 (P1), 43 (P2) et 15 (P3)



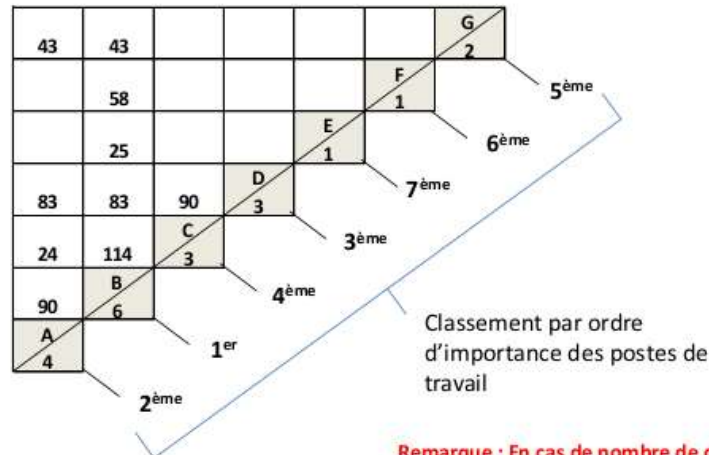
Nous obtenons la matrice finale :

43	43					G
	58					F
	25			E		
83	83	90	D			
24	114	C				
90	B					
A						

Remarque : le flux le plus intense se trouve sur le chaînon **BC** (114) et le plus faible sur **AC** (24)

Phase 2 : Nombre de chaînons pour chaque poste de travail

Nombre de chaînons partant ou arrivant à un poste. Il correspond au nombre de cases remplies sur la ligne et sur la colonne de chaque poste de travail.



Remarque : En cas de nombre de chaînons identique sur un poste, favoriser les plus importants en termes de flux

Phase 3 : Itérations d'optimisation

Pour procéder à l'optimisation, il est judicieux d'utiliser une trame hexagonale et un crayon. Pour chaque poste :

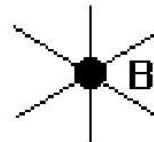
1. Repérer le poste le plus chargé en chaînons et reportez-le sur la trame
2. Choisir sa position sur un nœud de la trame.
3. Tracer les chaînons reliant le poste aux autres postes
4. Modifier les positions des postes en limitant les chaînons hors module et les croisements de chaînons à indice de flux élevé
5. Visualiser l'implantation en mettant en relief les flux les plus importants avec des traits proportionnels à leur indice.

Première itération



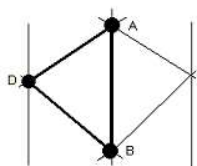
B est le poste le plus chargé en chaînons

Deuxième itération



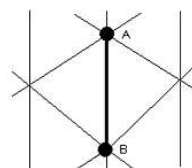
- Le poste le plus chargé après le B est le A.
- Inscrire un nœud près de B car le chaînon AB existe.

Troisième itération



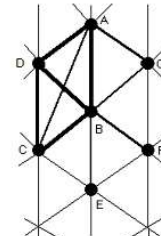
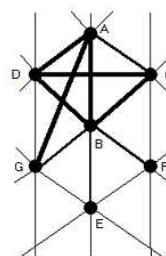
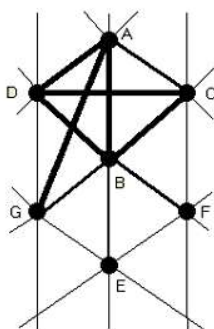
Première solution possible

D est le poste suivant. Il est relié à la fois à A et B. Positionner D sur un nœud à proximité de A et B.



Optimisation possible

- Limitier au maximum les chaînons hors module et les croisements :
- 3 croisement détectés et deux chaînons hors module.
 - Permutant G avec C : cela permet de supprimer deux croisement et un chaînons hors module.



c. Adapter l'implantation théorique dans les locaux prévus :

Il faut utiliser un plan de masse détaillé des locaux et découper les silhouettes des postes de travail à la même échelle.

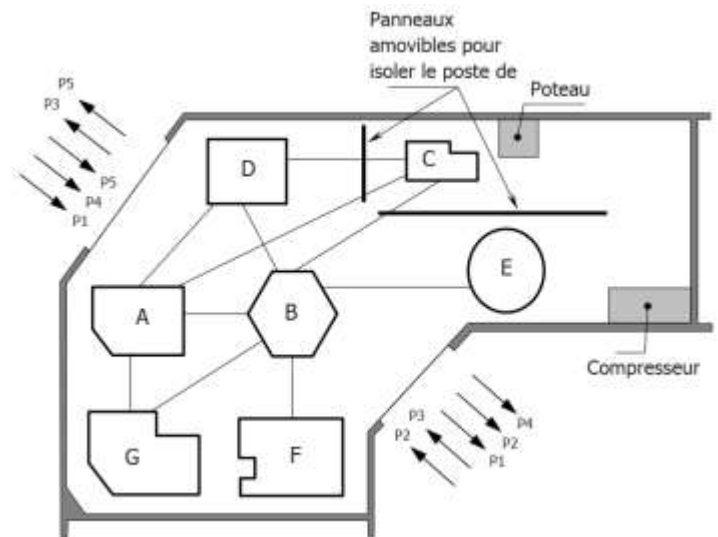
Il faut tenir compte de la forme des bâtiments, de l'emplacement des obstacles tels que les poteaux de soutien et orienter l'implantation théorique en fonction des ouvertures pour les entrées et sorties E/S des matières.

Pour notre exemple considérant l'un des accès dans l'atelier comme entrée des matières et l'autre comme sortie, les gammes des pièces deviendraient :

Pièce 1 P1: **IN**→A→D→B→E→**OUT**

Pièce 2 P2: **IN**→F→B→D→A→B→**OUT**

Avec IN : poste d'entrée des matières et **OUT** poste de sortie des matières. L'étude ferait alors intervenir deux chaînons supplémentaires par gamme correspondant au passage des matières par l'accès à l'atelier.



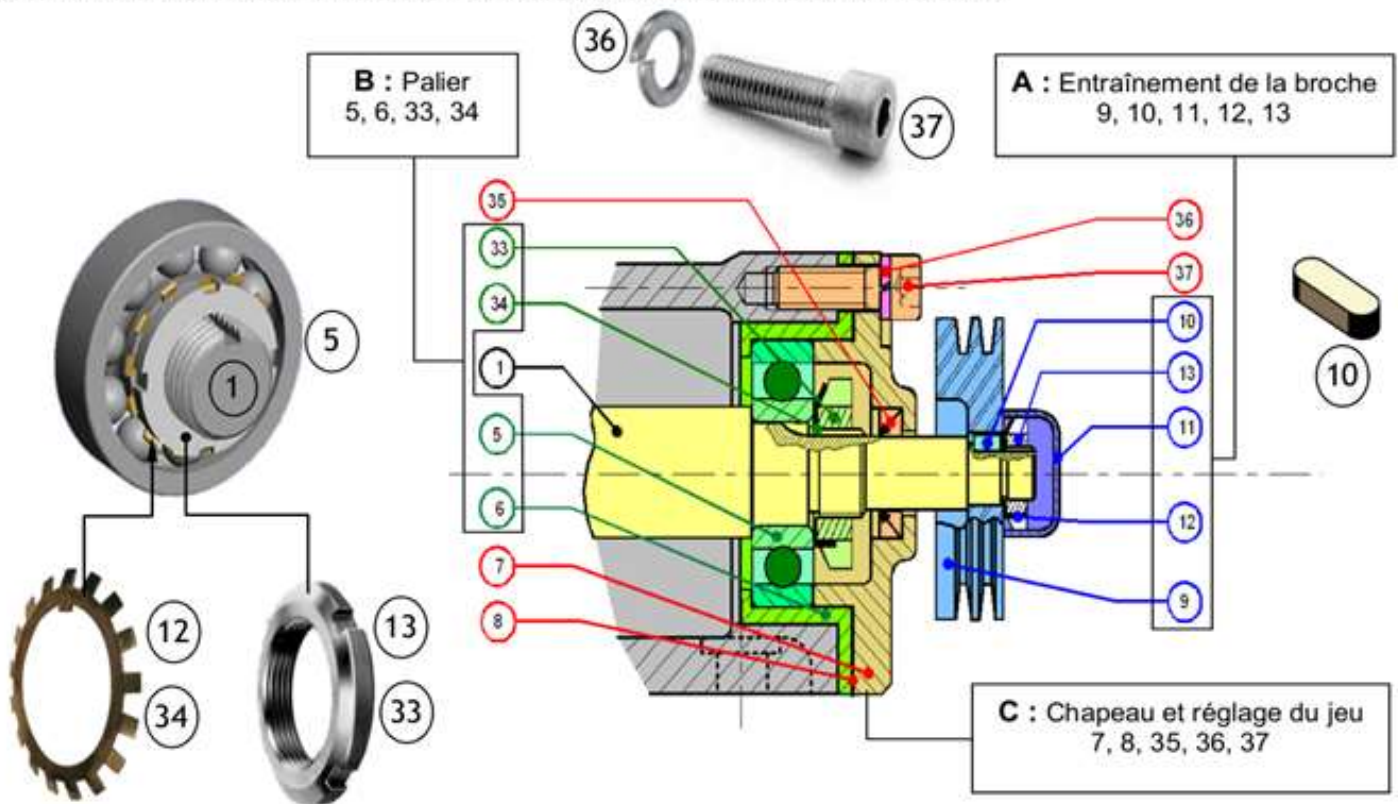
III. Auto évaluation : tableau KWLS

K	W	L	S

Chapitre 14 : fonction transmettre et graphe de montage et démontage

I. Présentation de la fonction transmette dans un assemblage :

Le dessin suivant représente le système d'entraînement de la broche d'une machine à meuler. L'entraînement s'effectue à l'aide d'une poulie et deux courroies trapézoïdales.



Rep.	Nb.	Désignation	Matière	Observation
37	3	Vis CHc M8 x 25		ISO 4762
36	3	Rondelle Grower W8		NF E 25-515
35	1	Joint à lèvres type A		DIN 3760
34	1	Rondelle frein MB		ISO 2982-2
33	1	Ecrou à encoches		
13	1	Ecrou à encoches		
12	1	Rondelle frein MB		ISO 2982-2
11	1	Couvercle		
10	1	Clavette		NF E 27-656
9	1	Poulie	EN-JL 1010	
8	1	Joint plat	Papier Kraft	
7	1	Chapeau		
6	1	Palier		
5	1	Roulement à billes		DIN 620
1	1	Axe broche	C40	Trempé et revenu
Rep.	Nb.	Désignation	Matière	Observation

II. Situation problème :

Une défectuosité de fonctionnement du roulement (repère 5) du palier de broche déclenche une intervention de démontage.

Pour chacun des sous-ensembles, il convient de **hiérarchiser leurs antériorités réciproques** en posant deux questions :

- existe-il un obstacle au démontage ?
- peut-on effectuer le démontage sans détériorer la pièce ?

d'où le **tableau des tâches** :

Repère du sous-ensemble à démonter	A	B	C
Contraintes d'antériorité	/	C, A	A

Matrice des antériorités :

Il faut avoir fait :		Niveaux		
		A	B	C
Pour faire :	A			
	B	1		1
	C	1		
		I	II	III
		0		
		2	1	0
		1	0	
		A	C	B

1. Démarche :

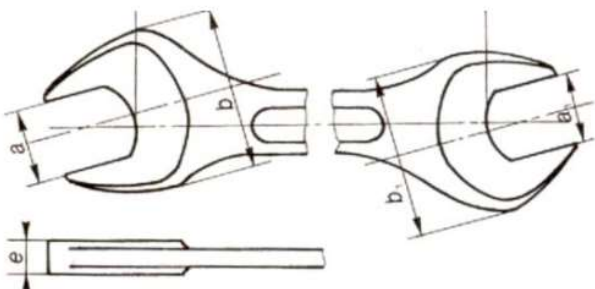
- Dans la matrice, On indique le lien entre deux tâches. Ainsi l'intersection entre la ligne B et la colonne A est à 1, car « Pour faire B, il faut avoir fait A ».
- La matrice étant complétée, On fait la somme des contraintes dans chaque ligne. On observe que la ligne A n'a pas de contrainte (ligne = 0) : cela veut dire que les tâches A n'a pas d'antériorité et peut commencer, elle est indiquée au niveau I.
- On barre la colonne « A » pour libérer les tâches qui sont liées à elle. On fait à nouveau la somme dans chaque ligne. La tâche C est à zéro ; c'est la tâche à réaliser au niveau II.
- On barre la colonne « C ». Ainsi de proche en proche, on obtient les différents niveaux de réalisation des tâches.

2. Fiche prévisionnelle de démontage :

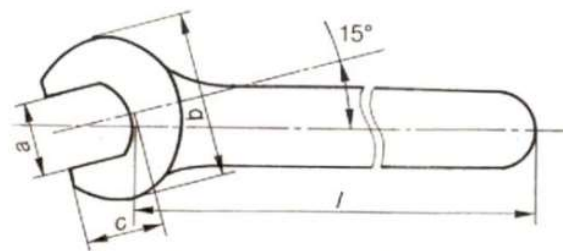
Cette fiche présente sous forme de râteau l'ordre de démontage des pièces.

Sous-ensemble	Ordre de démontage des pièces	Outillage	Précautions
	Le râteau tient compte de la possibilité de démontage d'un bloc de pièces et de leurs antériorités réciproques.	Liste de l'outillage nécessaire au démontage d'une pièce ou d'un bloc de pièce	Conseils techniques en fonction du constructeur ou de l'expérience
A		Chasse goupille Clé à encoche	Relever la languette du frein d'écrou
C		Clé à six pans creux N°5	Prévoir le remplacement du joint
B		Chasse goupille Clé à encoche	Relever la languette du frein d'écrou. Démontage du roulement par la bague intérieure.

III. Outillages de montage et démontage :



Clé à fourche double NF E 74-302.



Clé à fourche simple NF E 74-301.



Clé à encoche ou à ergot.



Clé à encoche



Chasse goupille.



Extracteur de roulements hydraulique à trois griffes



Pince à circlips.

IV. Exemple de filogramme de montage et démontage :

Le Filogramme est un graphe qui nous donne l'ordre chronologique de montage / démontage d'une pièce (sous groupe) par rapport à une autre (un autre).

Exemple : définir le Filogramme de démontage de la pièce 12 de ce mécanisme (**Broche D'affûteuse**).

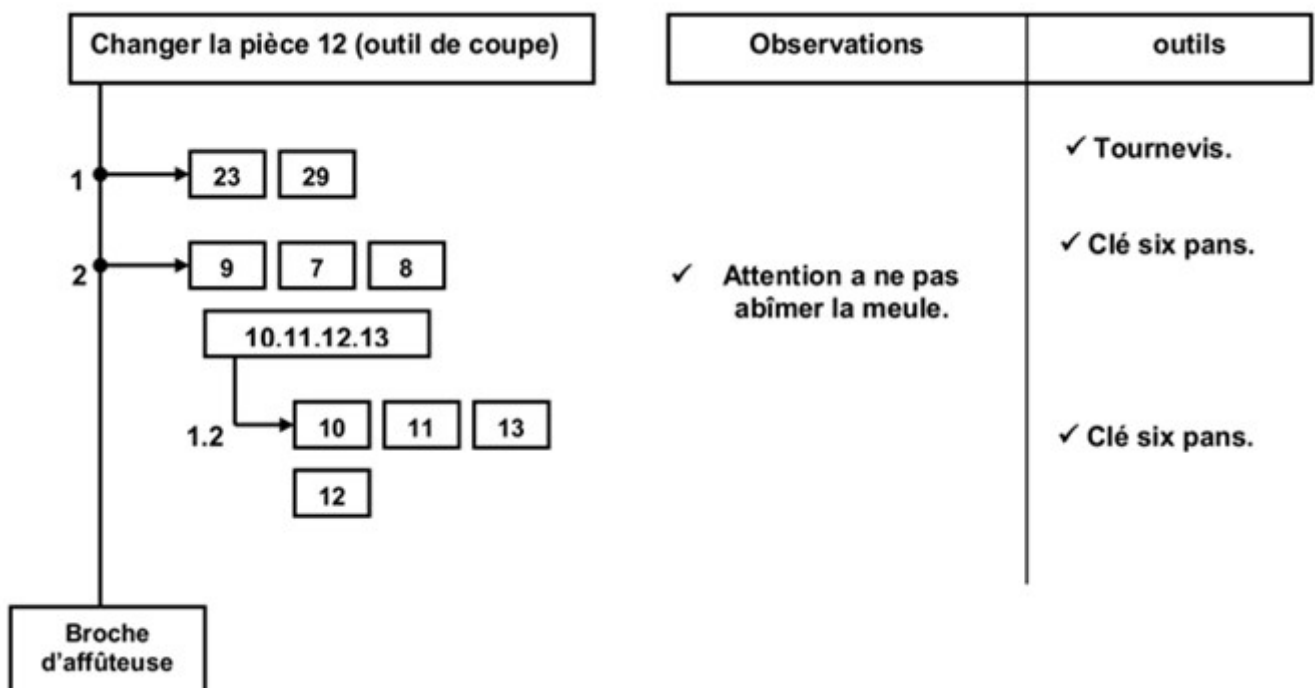
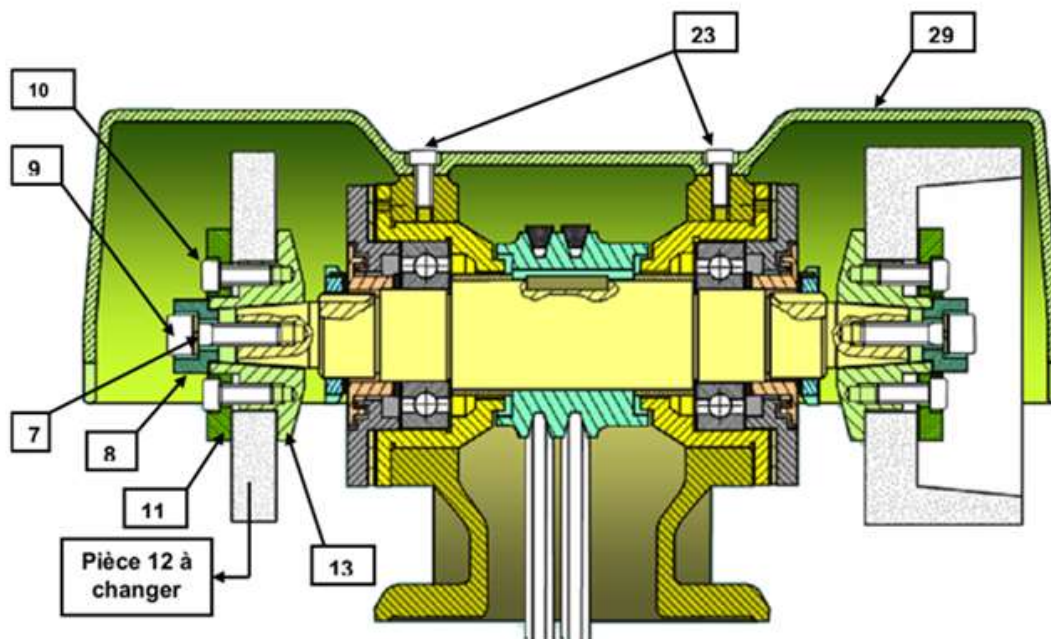


Table des matières

Avant-propos :	4
I. Présentation de la discipline	4
II. Finalités de la discipline	4
III. Compétences visées	4
IV. Objectifs du module Production	4
V. Savoirs associés	4
VI. Approche pédagogique	5
VII. Synthèse	5
Chapitre 1 : Sciences des matériaux	6
I. Mise en situation :	6
II. Classification des matériaux :	6
1. Les matériaux métalliques :	6
2. Les matériaux non métalliques :	7
III. Propriétés des matériaux et quelques domaines d'utilisation :	7
1. Définition des Propriétés :	7
2. Influence des éléments d'addition sur les aciers alliés :	8
3. Domaines d'utilisation :	8
IV. Elaboration des matériaux :	11
1. Définition du minerai	11
2. Elaboration des métaux ferreux (<i>Les fontes et les aciers</i>) :	11
3. Elaboration des métaux non-ferreux (<i>Le cuivre et l'aluminium</i>) :	13
V. Désignation normalisée des matériaux :	16
1. Matériaux métalliques ferreux :	16
2. Matériaux métalliques non ferreux :	17
3. Désignation des matériaux plastiques :	18
VI. Auto évaluation : science des matériaux (de I à V) Tableau KWLS	18
VII. Les essais mécaniques des matériaux :	19
1. Introduction :	19
2. Essai de traction :	19
3. Essai de résilience :	20
4. Essai de dureté :	22
5. Auto évaluation les essais mécaniques : tableau KWLS	24
Chapitre 2 : typologie de systèmes de production	25
I. Les systèmes de production utilisant l'énergie électrique	25
II. Les systèmes de production utilisant l'énergie pneumatique / Hydraulique	26
III. Auto évaluation : tableau KWLS	26
Chapitre 3 : typologie des outillages de production	27
I. Outillages de Tournage	27

1.	Porte pièces de tournage : « mandrin »	27
2.	Les portes outils :	28
3.	Les Outils :	28
II.	Outillages de Fraisage	29
1.	- Description de la machine (Fraiseuse).....	29
2.	- Port-pièces	29
3.	Porte-outils :	29
4.	Exemples d'outils de fraisage :	30
III.	Auto évaluation : tableau KWLS.....	30
Chapitre 4 : mise et maintien en position (2 ^{ème} norme)		31
I.	Définition :	31
II.	1 ^{ère} partie de la norme (NF E 04-013)	31
1.	Symboles de base :	31
2.	Exemples :	31
III.	2 ^{ème} partie de la norme (NF E 04-013)	31
1.	Type de technologie :	31
2.	Nature de la surface de la pièce :	31
3.	Fonction de l'élément technologique :	32
4.	Nature du contact avec la pièce :	32
IV.	Auto évaluation : tableau KWLS.....	32
Chapitre 5 : montage d'usinage		33
I.	Généralités :	33
1.	Définition :	33
2.	Rôles :	33
II.	Etapes pour l'élaboration d'un montage :	33
1.	Eléments nécessaires au dessinateur d'outillage :	33
2.	Le dessinateur doit pour l'élaboration du montage :	33
III.	Types des Montages d'Usinage : (types des portes pièces).....	34
1.	Portes pièces standards :	34
2.	Montages d'usinage Dédiés (Rigides)	35
3.	Montages modulaires	35
4.	Comparaison :	37
IV.	Application :	38
V.	Auto évaluation : tableau KWLS	39
Chapitre 6 : procédés de fabrication des pièces		40
I.	Généralités sur la mise en forme des pièces mécaniques :	40
II.	Le moulage :	41
1.	Principe et types :	41
2.	Eléments constitutifs d'un moule :	41

3.	Moulage en sable :	41
4.	Moulage à la cire perdue :	42
5.	Moulage sous pression :	43
6.	Auto évaluation : procédé du moulage : tableau KWLS	43
III.	Obtention des pièces par déformation :	44
1.	<i>Forgeage</i> :	44
2.	Estampage et matriçage :	45
3.	Emboutissage :	45
4.	Pliage :	46
5.	Etirage :	47
6.	Auto évaluation : obtention des pièces par déformation Tableau KWLS	47
IV.	Obtention des pièces par usinage :	48
1.	Mode de génération des surfaces :	48
2.	Tournage :	49
3.	Fraisage :	53
4.	Usinage sur perceuse :	56
5.	Rectification :	56
6.	Usinage à grande vitesse : UGV	57
7.	Auto évaluation : obtention des pièces par usinage Tableau KWLS.....	59
V.	Obtention des pièces par découpage :	59
1.	Le procédé de découpage : (poinçonnage)	59
2.	Oxycoupage :	61
3.	Découpe par jet d'eau :	62
4.	Découpage Laser :	63
5.	Auto évaluation : procédés de découpage : tableau KWLS.....	63
VI.	Obtention des pièces par soudage :	64
1.	Principe :	64
2.	Principaux procédés de soudage :	64
3.	Principales règles de tracé :	66
4.	Auto évaluation soudage : tableau KWLS.....	66
VII.	Obtention des pièces par frittage :	67
1.	Principe et démarche :	67
2.	Types de frittage :	67
3.	Avantages et inconvénients :	67
	Chapitre 7 : Dessin du brut capable	68
I.	Les Contraintes de conception d'une pièce moulée	68
II.	Constituants de dessin du brut capable.....	68
1.	- Choix du plan de joint	68
2.	Les dépouilles	68

3. - Les noyaux.....	68
4. Les surépaisseurs d'usinage.....	69
5. - Les arrondis et les congés.....	69
III. Application :	69
Chapitre 8 : calcul de l'effort et puissance de coupe	70
I. Effort de coupe :	70
1. Cas du tournage :	70
2. Cas du fraisage :.....	70
3. Cas du perçage :.....	71
II. Puissance de coupe :	71
1. Cas du tournage :	71
2. Cas du fraisage :.....	73
Chapitre 9 : géométrie des outils de coupe	74
I. Mise en situation :	74
II. Constituants d'un outil de coupe :.....	74
1. Faces de l'outil :.....	74
2. Arêtes de l'outil :	74
3. Orientation de l'arête	74
III. Plans de l'outil en main :	74
IV. Angles du système outils en main :	74
1. Angle de position d'arête :.....	74
2. Angles de face :.....	75
V. Exemples :	75
1. Exemple 1 :	75
2. Exemple 2 :	75
3. Exemple 3 :	76
4. Exemple 4 :	76
VI. Auto évaluation : tableau KWLS.....	76
Chapitre 10 : durée de vie des outils de coupe.....	77
I. Généralités :.....	77
II. L'usure de l'outil de coupe :.....	77
1. Les paramètres de coupe ayant une influence sur l'usure des outils de coupe :.....	77
2. Les principaux types d'usure.....	77
III. La loi de l'usure :	77
IV. Application modèle de Taylor :	78
V. Auto évaluation : tableau KWLS	78
Chapitre 11 : les traitements thermiques des aciers	79
I. Généralités sur les traitements thermiques:.....	79
II. Structure cristalline du fer :	79

III.	Constitution micrographique des aciers :	79
IV.	La transformation et diagramme d'équilibre fer-carbone :	79
1.	Diagramme d'équilibre Fer-Carbone :	79
2.	Acier au carbone :	80
V.	Exemples des traitements thermiques :	80
1.	La trempe :	80
2.	Le recuit :	80
3.	Le revenu :	81
VI.	Courbes TRC : Temps Refroidissement Continu :	81
VII.	Courbes TTT : Temps, Température, Transformation :	82
1.	Définition :	82
2.	But et principe.....	82
VIII.	Auto évaluation : tableau KWLS.....	82
Chapitre 12 : fonction distribuer dans l'atelier de production		83
I.	Situation de la fonction «distribuer» dans le système de production :	83
II.	Distribution des flux physiques :	83
1.	Les palettiseurs :	83
2.	Les Convoyeurs :	83
3.	Véhicules à guidage automatique AGV :	84
III.	Chargement et déchargement des MOCN :	85
1.	Chargement et déchargement d'outils dans une MOCN :	85
2.	Chargement et déchargement des pièces dans une MOCN :	86
Chapitre 13 : implantation en ilot de production		87
I.	Objectif de l'implantation :	87
II.	La méthode des chainons :	87
1.	Implantation par méthode des chaînons :	87
III.	Auto évaluation : tableau KWLS.....	89
Chapitre 14 : fonction transmettre et graphe de montage et démontage.....		90
I.	Présentation de la fonction transmettre dans un assemblage :	90
II.	Situation problème :	90
1.	Démarche :	91
2.	Fiche prévisionnelle de démontage :	91
III.	Outillages de montage et démontage :	91
IV.	Exemple de filogramme de montage et démontage :	92