



OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail
Direction Recherche et Ingénierie de la Formation

RÉSUMÉ THÉORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES

MODULE N° : 06	MATERIAUX ET METALLURGIE
--------------------------	---

Secteur : CONSTRUCTION METALLIQUE

Spécialité : TSBECM

Niveau : TECHNICIEN Spécialisé

PORTAIL DE LA FORMATION PROFESSIONNELLE AU MAROC

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

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

[MODULES ISTA](#)



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

The main content area is divided into three columns:

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

Document élaboré par :

L'équipe du CDC Génie Mécanique

DRIF

Révision linguistique

-
-
-

Validation

-
-
-

MODULE 6 : MATERIAUX ET METALLURGIE

CODE :	THEORIE :	40 %	24 H
DUREE : 60 HEURES	TRAVAUX PRATIQUES :	55 %	33 H
RESPONSABILITE : D'ETABLISSEMENT	ÉVALUATION :	5 %	3 H

OBJECTIF OPÉRATIONNEL DE PREMIER NIVEAU DE COMPORTEMENT

COMPÉTENCE

- Mettre en œuvre ses connaissances des matériaux et de la métallurgie

PRÉSENTATION

Le module «exploitation des connaissances des matériaux de construction» est étudié au cours de la première année de formation. Ce module de compétence générale est préalable à tous les modules de compétence particulière.

DESCRIPTION

L'objectif de ce module est de rendre le stagiaire apte à identifier un matériau de construction métallique ferreux et non ferreux, d'indiquer sa composition chimique, ses caractéristiques mécaniques et métallurgiques et de justifier le choix du dit matériau.

CONTEXTE D'ENSEIGNEMENT

- L'apprentissage de ce module devra débuter dès la deuxième semaine de cours..
- L'évaluation sera individuelle.
- Des échantillons de différents matériaux ferreux et non ferreux devraient être présentés aux stagiaires lors de la visite d'entreprises et de chantiers

CONDITIONS D'ÉVALUATION

- Travail individuel.
- À partir :
 - De questions posées par le formateur ;
 - De plans et croquis ;
- À l'aide :
 - De règles et normes;
 - Des documents et catalogues ;

OBJECTIFS	ÉLÉMENTS DE CONTENU
<p>1. Connaître les principaux procédés d'élaboration des matériaux de construction</p> <p>2. Interpréter le diagramme Fer-Carbone</p> <p>3. Indiquer les différents types d'aciers, de fontes et des alliages des matériaux de construction</p> <p>4. Utiliser la désignation normalisée des matériaux de construction métallique (ferreux ou non ferreux) et donner sa composition et ses caractéristiques physiques, mécaniques et métallurgiques</p> <p>A. Identifier des matériaux de construction métallique ferreux et non ferreux et indiquer sa composition chimique et ses caractéristiques physique, mécanique et métallurgique</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Connaître les procédés : - Elaboration des matériaux ferreux : <ul style="list-style-type: none"> - Fonte, - Acier, - Elaboration des matériaux non ferreux : <ul style="list-style-type: none"> - Aluminium, - Cuivre, - Bronze, - Etude des différentes phases : <ul style="list-style-type: none"> - Liquide - Solide <ul style="list-style-type: none"> Perlite Ferrite Austénite Cémentite Eutectoïde Hypoeutectoïde.... - Aciers doux - Aciers durs - Aciers mi-doux - Fontes <ul style="list-style-type: none"> - Blanches - Grises - truitées - Alliages de cuivre - Alliages d'aluminium - Aciers inoxydables... - Connaître les désignations normalisées des différents matériaux métalliques - Savoir comment sortir à partir de la désignation normalisée la composition chimique et les caractéristiques physiques, mécaniques et métallurgiques - A partir de sa désignation normalisée: <ul style="list-style-type: none"> - Identifier les matériaux de construction - Indiquer : <ul style="list-style-type: none"> La composition chimique Les caractéristiques physiques, mécaniques et métallurgiques

OBJECTIFS	ÉLÉMENTS DE CONTENU
<p>5. Enoncer les critères de choix des matériaux de construction ferreux et non ferreux</p> <p>6. Enoncer les principaux essais et préciser les caractéristiques qu'ils permettent de contrôler</p> <p>7. Enoncer les principaux traitements thermiques et thermochimiques permettant d'améliorer les performances mécaniques des matériaux de construction métalliques</p> <p>8. Connaître l'influence de la température sur les caractéristiques physiques, mécaniques et métallurgiques des matériaux de construction métalliques ferreux</p> <p>B. Interpréter et justifier le choix d'un matériau</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Caractéristiques : <ul style="list-style-type: none"> - Physique, - Mécanique, - Métallurgique, - Coût ... - Essais de : <ul style="list-style-type: none"> - Traction : limites d'élasticité et de rupture, module de Young et allongement - Cisaillement - Résilience - Dureté... - Trempe : augmentation de la dureté - Revenu : diminution des effets néfastes de la trempe - Recuit : <ul style="list-style-type: none"> - Cémentation : augmentation de la dureté superficielle.... - Changement des propriétés mécaniques - Modification de la structure granulaire - Argumenter le choix d'un matériau

SOMMAIRE

ELABORATION DE L'ACIER

- 1. PRINCIPES GENERAUX**
- 2. ACIER A L'OXYGENE**
- 3. ACIER ELECTRIQUE**
- 4. COULEE DE L'ACIER**

APPLICATION DE NOTION DE METALLURGIE

- 1. TENEUR EN CARBONNE DE CERTAINS METAUX FERREUX**
- 2. MÉTAUX NON FERREUX**
- 3. COMPARAISON ENTRE LES METAUX FERREUX ET LES METAUX NON FERREUX**

DESIGNATION DES ACIERS

LES PROPRIETES PHYSIQUES DES METAUX

- 1. PROPRIETES PHYSIQUES DES METAUX**

ESSAIS MECANIQUES

- 1. ESSAI D'EMBOUTISSAGE**

2. ESSAIS D'ENDURANCE

3. ESSAI DE FLUAGE

4. ESSAI DE RESILIENCE ET DE FLEXION PAR CHOC

5. ESSAI DE TRACTION

6. ESSAI DE DURETE

NOTIONS DE TRAITEMENTS THERMIQUES

1. LA TREMPE

2. LE REVENU DES ACIERS

3. LE RECUIT

EXERCICES

ELABORATION DE L'ACIER

1. PRINCIPES GENERAUX

2. ACIER A L'OXYGENE

3. ACIER ELECTRIQUE

4. COULEE DE L'ACIER

1. PRINCIPES GENERAUX

L'élaboration de l'acier se fait:

- Soit à partir de la fonte liquide (fonte d'affinage): convertisseurs à l'oxygène
- Soit à partir de ferrailles par refusions au four électrique.

Afin de constituer un stock tampon entre les H.F. et l'aciérie dont les cadences de coulée sont très différentes on peut utiliser soit un mélangeur, soit un nombre suffisant de poches tonneaux. Le mélangeur homogénéise la composition de la fonte provenant des diverses coulées et conduit à une certaine désulfuration de la fonte. Cette désulfuration se fait par déplacement de l'équilibre:



(1) [] dissous dans la fonte, () dissous dans le laitier.

Le sulfure de manganèse s'élimine soit par combustion soit par mise en solution dans la scorie.

La désulfuration peut être améliorée par les techniques de la métallurgie en poche: introduction de carbonate de sodium, de chaux vive (CaO) avec brassage, ou plus récemment de magnésium (procédé USIRMAG).

Le passage de la fonte liquide à l'acier nécessite une diminution des teneurs de pratiquement tous les éléments comme le montre la comparaison ci-dessous:

	% C	% Si	% Mn	% P	% S
Fontes:	3-4	0,5 à 2,5	1 à 2	2 à 0,1	0,05
Aciers:	0,05-1,5	0 à 0,5	0,3 à 1,5	< 0,05	< 0,05

Modes d'élimination des divers éléments

- Carbone: il s'élimine à l'état de CO₂ et surtout de CO; l'élimination de ces gaz est facile.
- Silicium: son oxydation conduit au dioxyde de silicium SiO₂: cet oxyde acide se combine avec les oxydes basiques présents MnO, FeO et éventuellement CaO en donnant une scorie liquide qui monte à la surface du bain.
- Manganèse: son oxydation conduit à l'oxyde basique MnO qui se combine avec SiO₂.
- Phosphore: son oxyde P₂O₅ est réductible par le carbone aux températures élevées réalisées. Cependant le phosphate de calcium est moins réductible par C que le pentoxyde. En présence de CaO et si on admet que FeO est le vecteur d'oxygène, la réaction s'écrira:



Le phosphate de calcium s'élimine dans la scorie. Donc une déphosphoration poussée exige un milieu très oxydant et très basique.

- Soufre: l'oxydation des sulfures MnS ou FeS étant très endothermique elle est peu probable aux températures élevées de conversion. L'élimination du soufre aura lieu selon:



(1) [] dissous dans la fonte, () dissous dans le laitier.

Elle sera favorisée par un milieu très réducteur (élimination de FeO) et très basique. Une élévation de température la favorisera également et fluidisera la scorie. Dans ces conditions on a intérêt à introduire une fonte de teneur en soufre aussi faible que possible: intérêt de la désulfuration en poche.

L'élaboration comprend en général deux phases distinctes:

- Phase d'oxydation: élimination de C, Si, Mn et du P avec action simultanée de CaO pour ce dernier;
- Phase de réduction: la phase précédente conduit à un métal très oxydé (riche en FeO) qu'il faudra réduire. En présence de CaO, il y aura simultanément désulfuration.

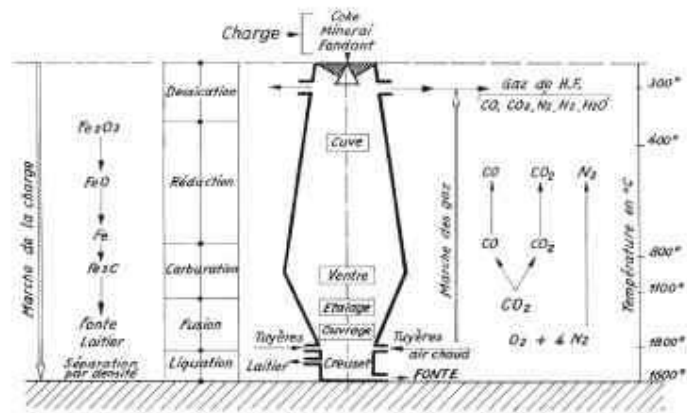


Fig. 34.
Principales transformations de la charge dans le haut fourneau.

2. ACIER A L'OXYGENE

2.1. PRINCIPES ET CLASSIFICATION

Ce procédé, actuellement le plus répandu, est basé sur l'insufflation d'oxygène pur dans un bain de fonte liquide. On peut ainsi transformer celle-ci en acier liquide, en assurant simultanément l'élimination de C, Si, Mn, P et S et l'élévation de température nécessaire pour passer de la fonte liquide (1250 °C en moyenne) à l'acier liquide (1600 °C en moyenne). Le réglage de la température finale se fait par introduction de ferrailles à refondre.

Les appareils (convertisseurs) sont des cornues, garnies de réfractaires, atteignant 8 m de diamètre et jusqu'à 10 m de haut. Les convertisseurs sont en général immobiles au cours du soufflage et les divers procédés se distinguent par le mode d'insufflation de l'oxygène:



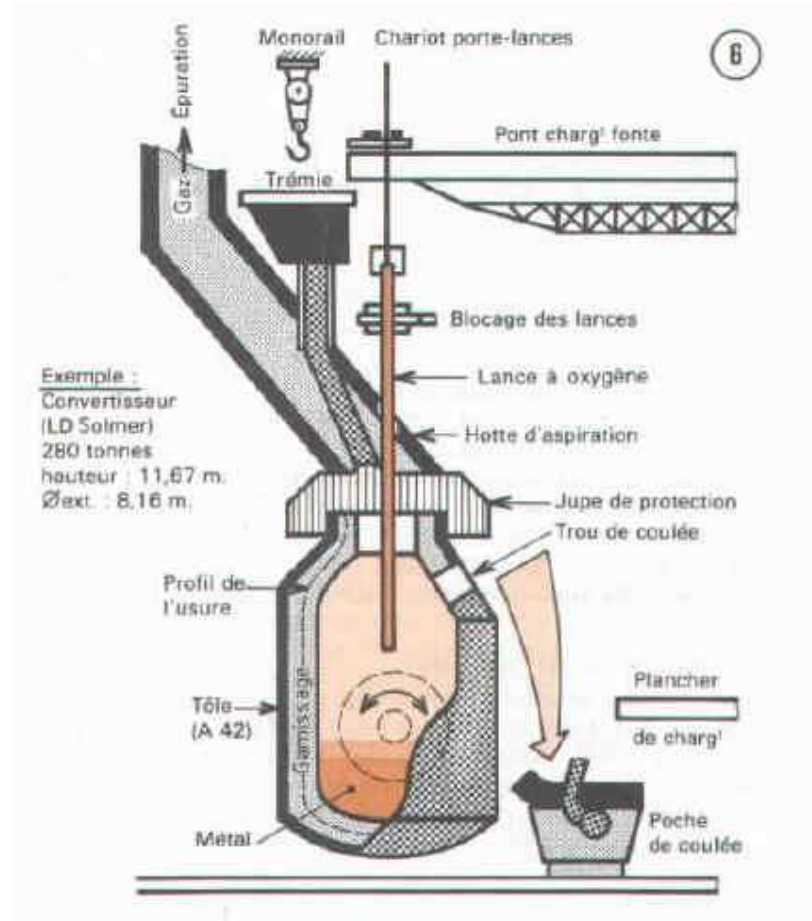
- Insufflation par des tuyères réfractaires placées dans le fond du convertisseur: procédés OBM (Oxygen Boden Maxhütte) et LWS (Loire-Wendel-Sidélor).
- Insufflation par le bec de la cornue à l'aide d'une lance métallique refroidie à l'eau: procédés LD (Linz-Donawitz) et son dérivé le procédé OLP (oxygène-lance-poudre) dans lequel de la poudre de chaux est introduite simultanément pour traiter les fontes très phosphoreuses.

Remarque :

Une amélioration des procédés à lance consiste à brasser le bain par insufflation de gaz (CO₂, O₂, Ar, N₂) par le fond: procédé LBE (lance-brassage-équilibre), procédé STB (Sumimoto Top and Bottom blowing process).

2.2. DEROULEMENT D'UNE OPERATION

Le procédé LD est adapté au traitement des fontes peu phosphoreuses ou hématites, le procédé OLP est adapté au traitement des fontes phosphoreuses.



- **Procédé LD**

La charge est constituée de fonte liquide et de ferrailles et d'une partie du CaO nécessaire.

Le soufflage d'oxygène au cours duquel le silicium s'élimine en premier dure environ 15 min. La décarburation et la déphosphoration ainsi qu'une partie de la désulfuration s'opèrent ensuite, le reste de la chaux étant progressivement ajouté en cours de soufflage. Le débit d'oxygène va de 500 à 1000 m³ • min⁻¹.

Un modèle mis au point par l'IRSID (CALDYN) permet le contrôle dynamique du soufflage en fin d'affinage et permet l'arrêt automatique de celui-ci lorsque la teneur en carbone du bain visée est atteinte: en effet une relation existe entre la vitesse de décarburation du bain et sa teneur en carbone. L'application de ce modèle exige la connaissance du débit des fumées (par venturi) et de leurs teneurs en CO et CO₂ (analyseurs).

Après l'arrêt du soufflage un échantillon est analysé ce qui permet de prévoir les additions à introduire pour atteindre une composition chimique déterminée. Ces additions ont lieu au convertisseur ou en poche lors de la coulée. Outre l'ajustement de composition ces additions ont pour but de désoxyder le bain, riche en FeO.

En effet la présence de FeO donne un produit inforgeable et un dégagement gazeux important de CO (réduction de FeO par C): aciers effervescents.

La désoxydation du bain se fait essentiellement par le manganèse introduit surtout sous forme de ferro-manganèse et selon:



L'oxyde de manganèse est insoluble dans l'acier, l'oxygène n'est en fait pas éliminé du bain, mais il est sous forme d'inclusions de MnO beaucoup moins nocives que FeO.

L'emploi de ferro-silicium ou l'addition d'aluminium à la coulée conduit à des aciers calmés. En particulier l'addition d'Al remplace MnO par Al_2O_3 parfaitement non réductible par le carbone: il ne peut donc y avoir dégagement gazeux lors du refroidissement.

- **Procédé OLP**

Il permet d'affiner des fontes contenant jusqu'à 2 % de P en insufflant de la chaux mélangée à l'oxygène. L'opération consiste en un premier soufflage, suivi d'un décrassage (élimination de la scorie riche en phosphore), puis un second soufflage pour parfaire déphosphoration et désulfuration. L'analyse du bain est suivie par l'addition finale et la coulée. La durée de coulée à coulée varie de 40 min à 60 min.

- **Procédés OBM et LWS**

Utilisant la même technique que l'ancien procédé Thomas on insuffle de l'oxygène pur par des tuyères réparties dans le fond du convertisseur. Afin d'éviter la détérioration du fond on injecte en même temps un hydrocarbure dont le craquage endothermique provoque un refroidissement suffisant (fluide modérateur) à la sortie même des tuyères, protégeant le fond d'une forte élévation de température.

Les procédés à l'oxygène permettent d'élaborer les nuances les plus variées d'aciers non alliés et peu alliés. Ils ont de faibles teneurs en P, S et surtout en azote (meilleures ductilité et résistance au vieillissement).

3. ACIER ELECTRIQUE

3.1. CARACTERISTIQUES ESSENTIELLES

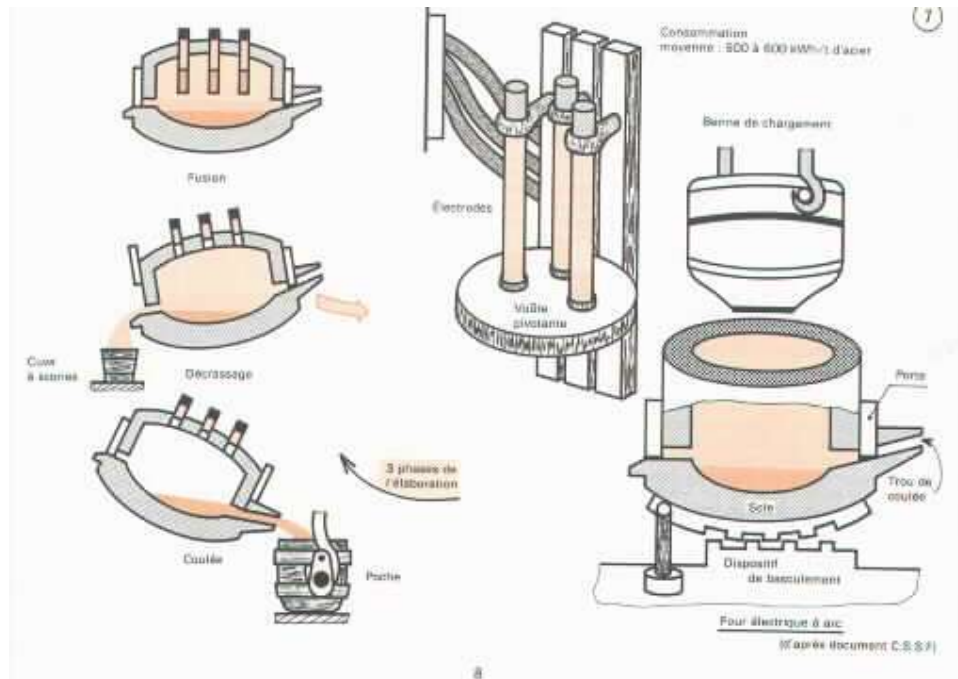
La filière de la refusion des ferrailles utilise un four à sole réfractaire sur laquelle sont placées les matières à refondre. L'énergie thermique est fournie par production d'arcs électriques entre trois électrodes et la charge. Naguère réservé à l'élaboration d'aciers spéciaux, le procédé électrique assure actuellement une part importante du tonnage des aciers courants. Il a, dans ce domaine, définitivement remplacé l'élaboration sur sole au four Martin. Le procédé électrique basique est le plus répandu, il est caractérisé par:



- Une haute température du bain ($> 1\ 800^{\circ}\text{C}$) facilement réglable, ce qui facilite la fusion des laitiers très réfractaires et la réduction des oxydes.
- La non-intervention de l'atmosphère du four qui est neutre. Les réactions ont uniquement lieu entre le bain et les additions à l'aide desquelles on peut réaliser un milieu oxydant ou réducteur. On peut en outre réaliser la fusion d'éléments oxydables comme le Cr sans perte par formation d'oxydes.

3.2. MARCHE D'UNE OPERATION

Les fours d'une capacité de 5 à 250 tonnes sont alimentés sous des tensions de 100 à 200 V, l'intensité pouvant atteindre 50000 A par électrode. La sole et les parois latérales sont garnies de revêtements de dolomie (basique) qu'on réfectionne périodiquement. L'utilisation des parois refroidies à l'eau se généralise et permet, entre autres, d'augmenter la durée du revêtement et de réduire la consommation des électrodes. La marche comprend trois étapes:



- Fusion**: après chargement la fusion commence et dure quelques heures. Au cours de cette étape on ajoute la chaux qui sera nécessaire à la formation du laitier de déphosphoration. En fin de fusion on introduit du minerai de fer.
- Oxydations et décrassage**: l'oxyde de fer sert de vecteur oxygène pour l'élimination de si, Mn, C. La déphosphoration peut être très poussée, des laitiers très calcaires pouvant être fondus. En fin d'opération le fer commence à s'oxyder. L'alimentation du four est arrêtée et on procède à un décrassage.
- Réductions et additions**. L'alimentation étant rétablie, on crée un laitier désoxydant et désulfurant par ajout de ferro-silicium, de chaux et de spath-fluor. On peut réaliser des laitiers Carbures (carbure de calcium) très réducteurs. Au four électrique désulfuration et désoxydation sont très poussées ($S > 0,008\%$, $O > 0,003\%$). Les additions finales sont ajoutées avant coulée.

Remarque: Le four électrique permet l'élaboration sous vide (four à induction sous vide, fours à électrodes consommables en acier). on obtient ainsi des aciers à teneurs minimales en N_2 , O_2 , H_2 et de propreté très poussée (faible densité inclusionnaire). Ces aciers de très haute qualité sont caractérisés par une meilleure limite d'endurance, une valeur élevée de la résistance et une tenue au fluage améliorée. Leur coût est évidemment plus élevé que pour les aciers élaborés classiquement.

- Dans le cas d'élaboration des aciers inoxydables, on peut injecter de l'oxygène conduisant à une décarburation poussée nécessaire pour ces nuances.

4. COULEE DE L'ACIER

La coulée de l'acier liquide, si on excepte les aciers moulés, s'opère selon deux techniques différentes.

- Coulée en lingotières qui reste prépondérante dans les pays de technologie sidérurgique peu développée (U.S.A., U.R.S.S.).
- Coulée continue qui est devenue prépondérante dans les pays de technologie sidérurgique développée (Japon, Allemagne [R.F.A.], Italie). La France est en position moyenne après ces derniers.

4.1. LA COULEE EN LINGOTIERE

L'acier élaboré selon les procédés précédents est recueilli à l'état liquide dans des poches. Il est ensuite coulé et solidifié après un séjour dans la poche de 5 à 10 min (décantation).

Les lingotières sont en général en fonte. Leur forme préfigure celle des produits laminés à produire: lingots à section carrée pour les produits longs, à section méplate pour les produits plats.

La coulée se fait selon deux procédés:

- Coulée en chute: le métal est versé directement dans la lingotière.
- Coulée en source: le métal arrive par un canal en réfractaire par le bas de la lingotière. Cette technique donne des aciers de meilleure qualité mais est plus onéreuse.

Lorsque la solidification est suffisamment avancée le démoulage a lieu et les lingots sont acheminés dans des fours « pits » où la solidification s'achève; la température étant maintenue à 1250 °C, valeur optimale pour le laminage qui va suivre.

Les défauts principaux des lingots sont:

- L'hétérogénéité chimique inhérente au processus de solidification entraînant l'existence du phénomène de ségrégation majeure (à l'échelle du lingot) et qui concerne C, S, P, O. Le forgeage suivi ou non d'un recuit d'homogénéisation remédie partiellement à ce défaut.
- La retassure due au retrait de l'acier au cours du refroidissement. Ce phénomène concerne essentiellement les aciers calmés, alors que les aciers effervescents en sont exempts. On peut y remédier en chutant la partie supérieure où est localisée la poche

de retassure, ou par masselottage, ou par compression. . Les soufflures: propres aux aciers effervescents, elles sont dues à des dégagements gazeux CO, H₂, N₂. Elles sont aplaties par le forgeage mais leurs parois peuvent ne pas se souder.

L'emploi d'aciers semi-calmés permet de profiter des avantages des deux catégories (0,05 à 0,15 % Si).

- Les criques superficielles et les tapures internes dues à des anisotropies de retrait pouvant entraîner des dépassements locaux de la charge de rupture.

Remarque:

La coulée sous vide s'adapte parfaitement à la coulée en lingotière et permet d'abaisser les teneurs en H₂, N₂, une forte désoxydation des effervescents par élimination de

CO ($\text{FeO} + \text{C} > \text{CO} + \text{Fe}$) ainsi qu'une diminution de la densité inclusionnaire.

4.2. LA COULEE CONTINUE

La poche de coulée alimente directement un répartiteur qui alimente à son tour plusieurs lignes de coulée. Des systèmes divers (tourniquets) permettent de ne pas interrompre l'opération au changement de poche. Deux configurations sont utilisées comme le montre la figure 8 qui donne en même temps les divers organes successifs:

- Machines verticales
- Machines courbes avec cintrage à l'état solide ou partiellement solidifié.

Les machines verticales sont plus onéreuses et plus encombrantes. Cependant pour certains produits l'extraction sur cœur liquide peut conduire à des criques et des ségrégations. En outre sur machines courbes il y a décantation des inclusions à la partie supérieure des produits. Les machines verticales seront donc préférées pour les aciers de haute qualité.

La coulée continue conduit à une augmentation des cadences de coulée, à l'absence du phénomène de retassure. De plus elle supprime la première étape du laminage en donnant directement des billettes, des blooms ou des brames. L'automatisation est concevable pour ces installations.

Les aciéries françaises utilisent presque exclusivement pour leur production la coulée continue sur machines courbes, la voie lingots étant totalement supprimée

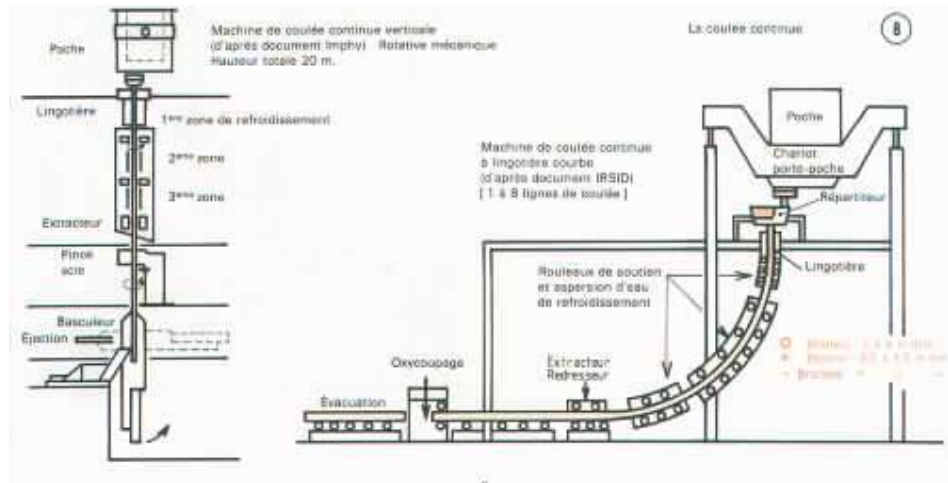


DIAGRAMME D'EQUILIBRE FER/CARBONE

SOMMAIRE

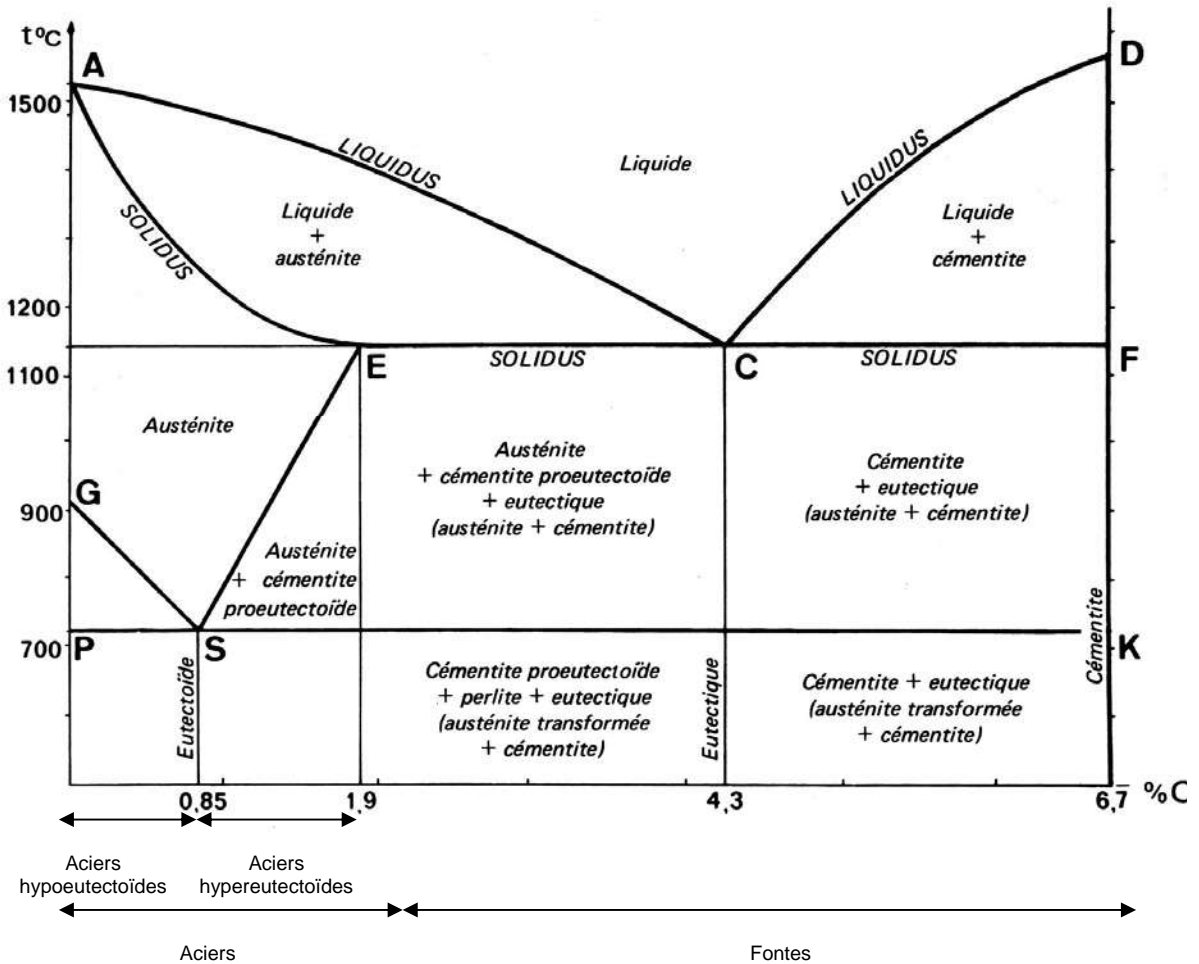
- 1. DIAGRAMME FER CARBONE**
- 2. PROPRIETES DU FER (STRUCTURES CRISTALLINES ET POINT DE TRANSFORMATION)**
- 3. ALLIAGES FERREUX**
- 4. SOLUTION DE CARBONE DANS LE FER**
- 5. LES PHASES**
- 6. REMARQUES**
- 7. INFLUENCE DES POINTS TRANSFORMATION SUR LA MICROSTRUCTURE**

5. DIAGRAMME FER CARBONE

5.1. REPRESENTATION DU DIAGRAMME

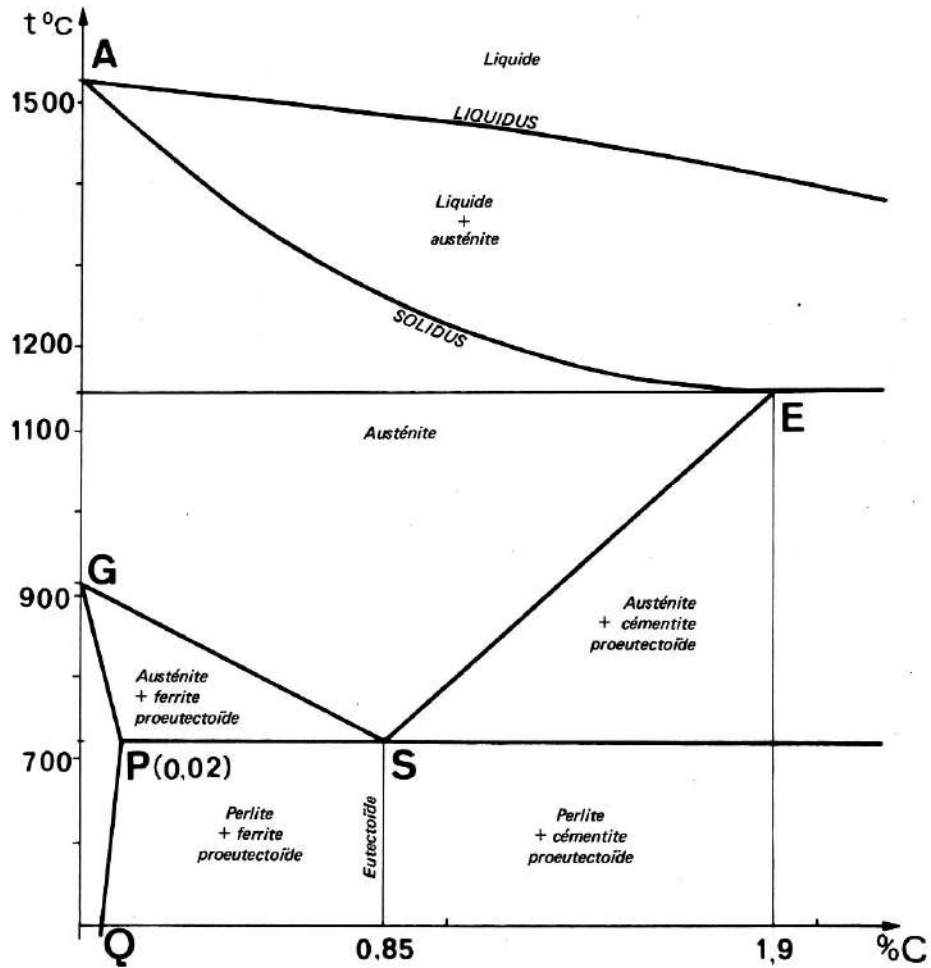
Le diagramme fer - carbone se présente comme le montre la fig. 3 Les lettres repères sont conventionnelles.

Le liquidus est toujours représenté par la ligne A C D, le solidus par la ligne A E C F D, l'eutectique par le point C. Les autres points seront explicités plus loin.



5.2. DOMAINE DES ACIERS

La partie du diagramme correspondant au domaine des aciers est située à gauche du point E.

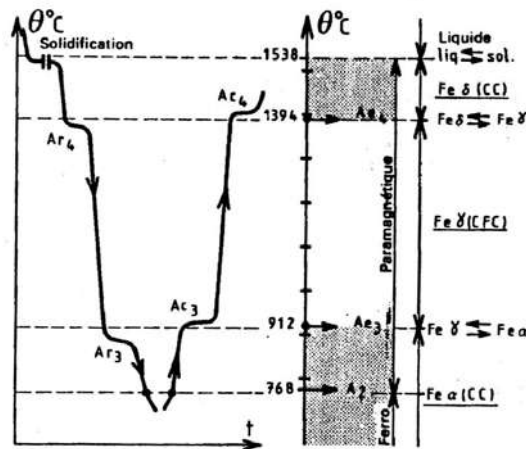


DOMAINE DES ACIERS

6. PROPRIETES DU FER (STRUCTURES CRISTALLINES ET POINT DE TRANSFORMATION)

Le schéma ci-dessous montre les différents points de transformation et la courbe d'analyse thermique correspondante. Mise à part la fusion, le fer présente deux changements de structure cristalline qui sont des transformations isothermes par germination et croissance. Les températures correspondantes sont désignées par A_3 et A_4 .

A_3	912° C	Fe $\alpha \leftarrow$ Fe CC \leftarrow CFC
A_4	1 394° C	Fe \leftarrow Fe δ \rightarrow CFC CC



Points de transformation du fer. Courbes $\theta(t)$

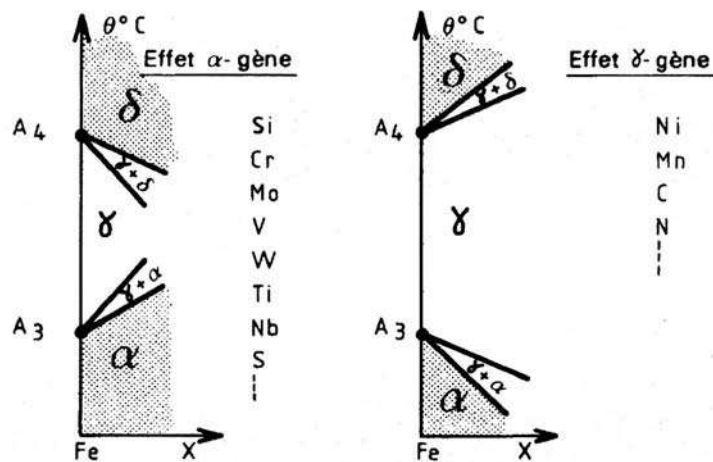
Remarque le point A_2 (point de CURIE) ne correspond pas à un changement de phase, mais au passage de l'état ferromagnétique à l'état paramagnétique.

7. ALLIAGES FERREUX

Le fer forme des alliages avec un grand nombre d'éléments. La mise en solution solide d'éléments d'alliage dans le fer modifie la position des points A_3 et A_4 . Cette modification est particulièrement importante et on a classé les éléments en considérant leur influence sur la position de ces points.

On appelle alphasgène tout élément qui stabilise la phase CC. Il élève la température du point A_3 et abaisse celle du point A_4 .

On appelle gammagène tout élément qui stabilise la phase CFC. Il abaisse la température du point A_3 et élève celle du point A_4 .



Il est à noter que

Les solutions solides dans le Fe γ sont appelées AUSTENITES. On les désigne par γ , elles sont CFC.

Les solutions solides dans le Fe α ou Fe δ sont appelées FERRITES. On les désigne par α ou δ elles sont CC.

7.1. LE SYSTEME BINAIRE FE. C

Le carbone est un élément fortement gammagène. De ce fait, et parce qu'il permet la formation de carbures, le carbone joue un rôle particulier dans les alliages ferreux. Il y est en effet toujours présent à cause de leur mode d'élaboration.

Bien que des alliages industriels, aciers et fontes, même non alliés contiennent toujours d'autres éléments, il est nécessaire d'étudier le système binaire Fer + Carbone, il sert de référence à l'étude de tous les alliages ferreux.

8. SOLUTION DE CARBONE DANS LE FER

8.1. ETAT LIQUIDE

A l'état liquide, l'acier est une solution de carbone dans le fer. Les atomes de carbone se trouvent répartis, d'une manière homogène, au sein des atomes de fer, en proportion définie par la teneur en carbone de l'acier.

8.2. SOLUTION SOLIDE

A l'état solide, les atomes de fer qui constituent la très grande majorité des atomes de l'ensemble, occupent, comme dans le fer pur, les positions qui leur sont dévolues aux noeuds du réseau cristallin. Par contre, les atomes de carbone, dont les dimensions sont inférieures à celles des atomes de fer, trouvent place dans les espaces vacants du réseau.

L'ensemble constitue une solution solide de carbone dans le fer : dans l'acier, il s'agit d'une **solution d'insertion**.

9. LES PHASES

9.1. FERRITE

A la température ordinaire, le fer ne peut normalement contenir, en solution, qu'une quantité infime de carbone, de l'ordre de 0,006 %, pratiquement négligeable en comparaison de la teneur de 1,9 % susceptible de trouver place dans l'acier et même de celles, inférieures à 0,25 %, des aciers destinés aux constructions soudées. Le fer tenant en solution une quantité infime de carbone porte le nom de ferrite. La ferrite est caractérisée par une faible résistance à la traction associée à une faible dureté (80 H Brinell).

9.2. CARBONE LIBRE

Le carbone de l'acier, en excès par rapport à la capacité d'absorption du réseau cristallin du fer, devra prendre place en dehors des mailles de ce dernier.

On peut imaginer le voir se séparer et constituer des amas de carbone libre venant s'insérer entre les structures cristallines.

C'est ce que l'on constate dans le cas des fontes grises à graphite "lamellaire" ou "nodulaire", ainsi que dans certains aciers, d'un type particulier, où le carbone se trouve présent sous forme de graphite.

Les aciers de construction peuvent, dans certaines conditions exceptionnelles, être affectés par un phénomène de séparation du carbone sous forme de graphite qui constitue alors une manifestation indésirable, susceptible de provoquer des accidents en cours de service.

Ces exceptions mises à part, le carbone en excès se trouve, pratiquement, toujours associé au fer sous forme de cémentite.

9.3. CEMENTITE

La combinaison d'un atome de carbone et de trois atomes de fer constitue le carbure de fer qui porte le nom de cémentite (Fe_3C).

Ce carbure, très dur et cassant, contient, en poids, environ 6,7 % de carbone. Sa dureté est environ 700 H Brinell.

Les aciers non alliés et les fontes, si l'on excepte les fontes graphitées, se trouvent ainsi normalement constitués de cristaux juxtaposés :

- de ferrite, contenant en solution une quantité infime de carbone,
- de cémentite, contenant 6,7 % de carbone.

La ferrite et la cémentite sont les deux constituants de base de l'acier.

La dureté de la cémentite permet de conférer au métal une résistance nettement supérieure à celle du fer pur, sans provoquer de fragilité, quand elle se trouve intégrée à un agrégat formé de lamelles alternées de ferrite et de cémentite étroitement associées. Cet agrégat porte le nom de PERLITE.

9.4. PERLITE

La PERLITE, agrégat lamellaire de ferrite et de cémentite, présente une teneur en carbone de 0,85 % C, constante et indépendante de celle de l'acier (fig. 4). Sa dureté est environ 200 H Brinell et son allongement faible.

La perlite se trouve normalement présente, sous forme de plages juxtaposées aux cristaux de ferrite, dans tous les aciers dont la teneur en carbone est inférieure à 0,85 %. Ces aciers sont précisément ceux qui nous intéressent.

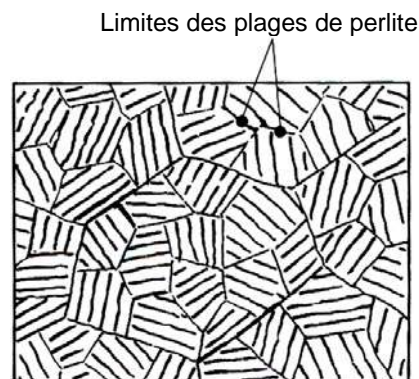


Fig. 4 AGREGAT DE FERRITE ET DE CEMENTITE

Acier à 0,85 % de carbone, à structure entièrement perlitique
Cette figure schématise les lamelles de ferrite et de cémentite.
La dimension des plages est de l'ordre du dixième de millimètre.

9.5. ASSOCIATION FERRITE - PERLITE

Dans les aciers dont la teneur est comprise entre 0 et 0,85 % C, la perlite, qui contient la quasi totalité du carbone, va donc se trouver en proportion variable. De 0 % dans le fer pur ou la ferrite (fig. 4.1 (a)) elle atteint 100 % dans l'acier à 0,85 % C (fig. 4.1 (c)).

Les aciers de construction, dont la teneur en carbone ne dépasse pas 0,6 %, et reste même inférieure à 0,25 % dans le cas des nuances soumises aux exigences de la construction soudée, vont ainsi présenter une structure composée de plages juxtaposées de ferrite et de perlite (fig. 4.1 (b)).

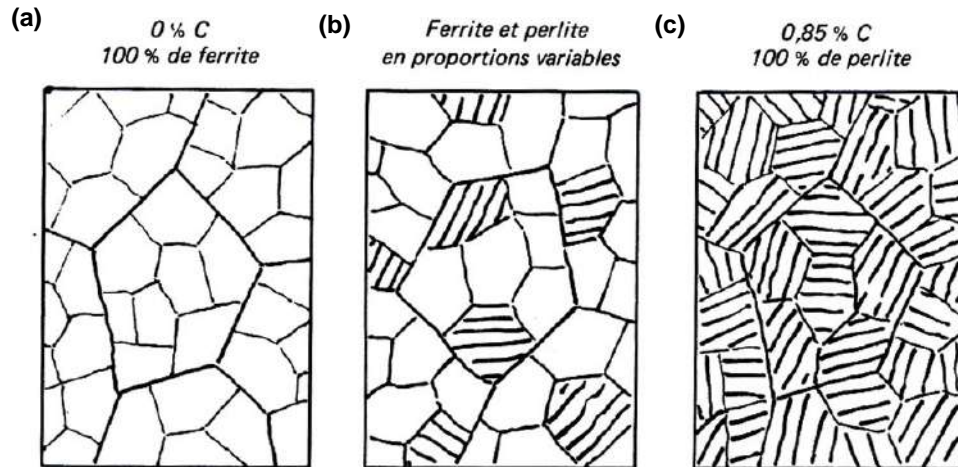


Fig. 4.1 ASSOCIATION FERRITE-PERLITE ILLUSTRANT L'INFLUENCE DE LA TENEUR EN CARBONE

La capacité de déformation de la ferrite est pratiquement équivalente à celle du fer pur. La perlite, beaucoup plus dure et peu déformable, agit à la manière d'une armature en gênant, par un effet de bridage, la déformation de la ferrite sous l'action d'un effort appliqué. Il en résulte une modification du processus de déformation conduisant à la rupture : celle - ci intervient sous une charge d'autant plus élevée que la proportion de perlite est, elle - même, plus grande.

Bien entendu, la déformation atteinte par le métal au moment de la rupture varie en raison inverse de la teneur en perlite, dont la capacité de déformation est très inférieure à celle de la ferrite.

La capacité de déformation de l'acier (allongement de rupture A %, tenue au pliage et aux chocs) varie, pour cette raison, en sens inverse de sa résistance à la traction.

Ainsi, par le biais de la quantité de perlite qu'il contribue à former, le carbone constitue le facteur essentiel déterminant les propriétés de l'acier.

10. REMARQUES

10.1. INCONVENIENT D'UNE TENEUR EN CARBONE TROP ELEVÉE. CEMENTITE LIBRE

Si la teneur en carbone de l'acier dépasse 0,85 %, la cémentite en excès n'a plus la possibilité de s'associer à la ferrite pour constituer de la perlite.

Cette teneur de 0,85 % marque ainsi le seuil au-delà duquel la cémentite en excès va se présenter sous la forme de liserés continus situés aux joints des grains (fig. 4.2).

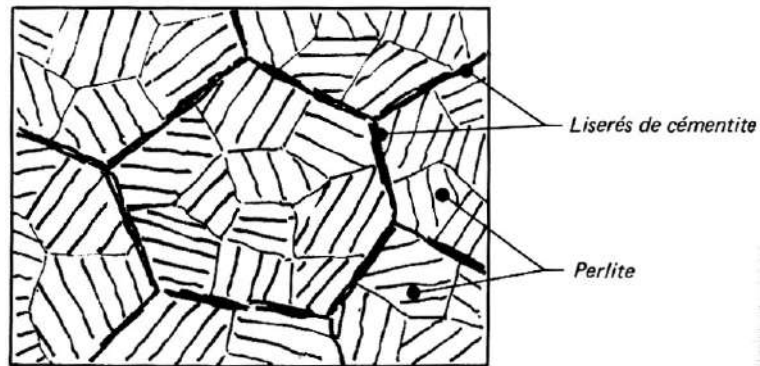
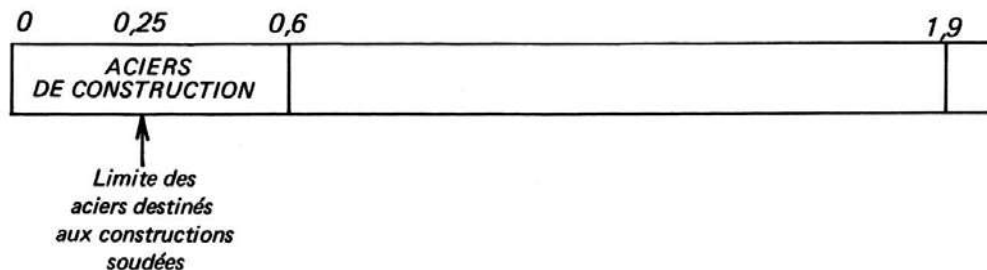


Fig. 4.2 STRUCTURE DES ACIERS A TENEUR EN CARBONE SUPERIEURE A 0,85 %

10.2. POSITION DES ACIERS DE CONSTRUCTION EN FONCTION DE LEUR TENEUR EN CARBONE

Ces aciers dont la teneur en carbone est comprise entre 0,05 et 0,6 % n'occupent, en définitive, qu'une bande relativement étroite dans la plage des teneurs en carbone des aciers qui s'étend de 0 à 1,9 %.



POSITION DES ACIERS DE CONSTRUCTION DE GRANDE CONSOMMATION EN FONCTION DE LEUR TENEUR EN CARBONE

L'ensemble des alliages binaires fer-carbone présentent les phases suivantes :

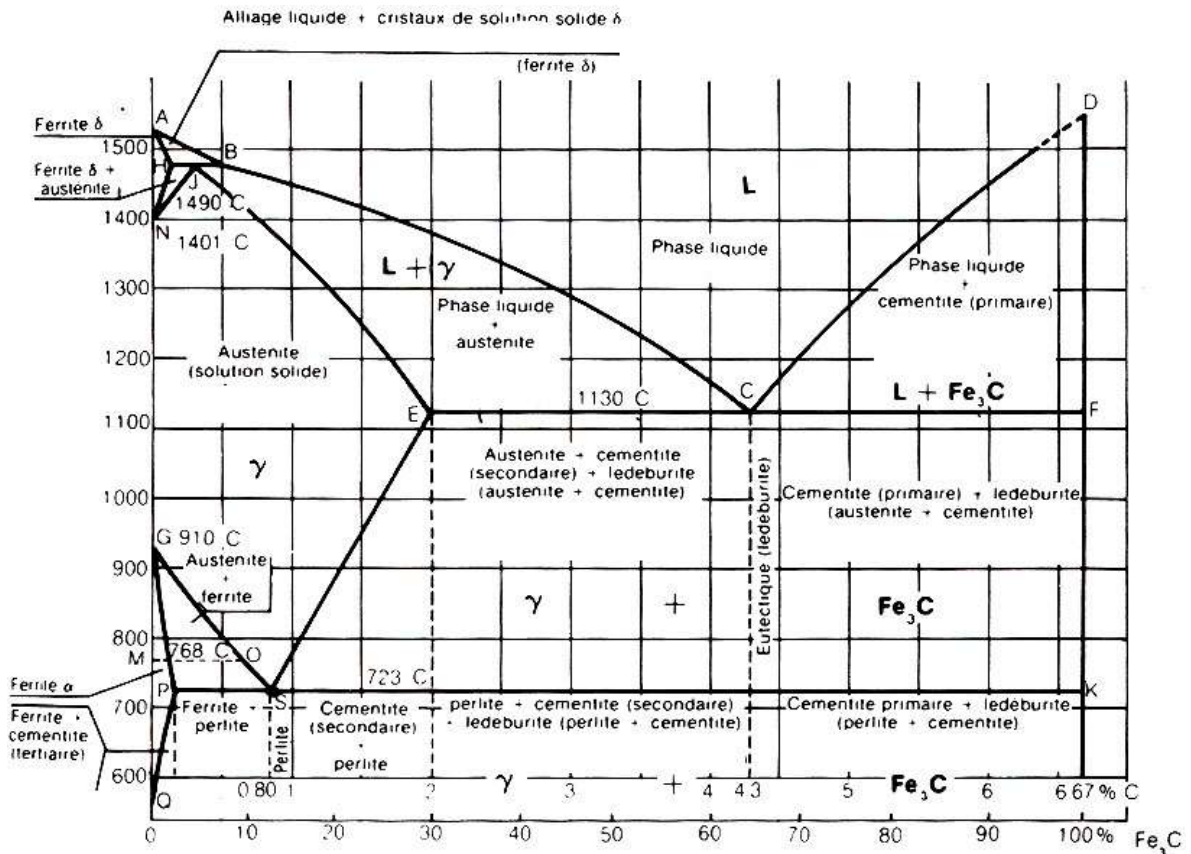
FERRITE α : solution solide d'insertion de carbone dans le fer α (solubilité maxi 0,02 % à 727° C) la ferrite a est CC.

FERRITE δ : solution solide d'insertion de carbone dans le fer δ (solubilité maxi 0,1 % à 1 487° C) La ferrite à est CC.

AUSTENITE γ : solution solide d'insertion de carbone dans le fer,

CEMENTITE ou carbure de fer, Fe_3C : sa composition correspond à une teneur de 6,67 % de carbone.

CARBONE PUR (graphite) : la solubilité du fer dans le carbone est nulle.



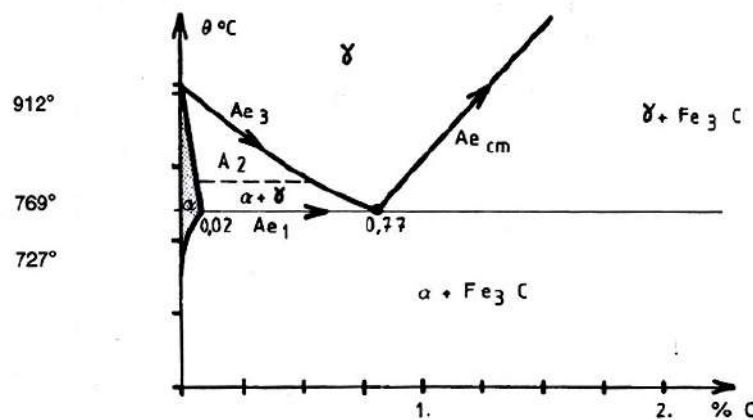
11. INFLUENCE DES POINTS TRANSFORMATION SUR LA MICROSTRUCTURE

L'exploitation du diagramme Fe. C permet d'étudier la constitution des aciers non alliés dans les conditions d'équilibre thermodynamique. Dès que les conditions de refroidissement ne sont plus suffisamment lentes, le facteur temps va jouer un rôle important.

L'étude complète de la cinématique des transformations sera entreprise lors de la présentation des courbes TTT et TRC.

Dans ce paragraphe, nous n'envisagerons que le cas où les vitesses de refroidissement ne sont pas suffisantes pour entraîner l'apparition de constituants de nature différente de ceux donnés par le diagramme d'équilibre.

11.1. POINTS DE TRANSFORMATION



A_{e1} : Température d'équilibre définissant la limite inférieure d'existence de l'austénite. Température de la transformation eutectoïde

A_{e3} : Température d'équilibre définissant la limite supérieure d'existence de la ferrite

A_{cm} : Température d'équilibre définissant la limite supérieure d'existence de la cémentite dans un acier hypereutectoïde

A_{e4} : Température d'équilibre définissant la limite entre le domaine d'existence de l'austénite et de la ferrite δ. Ce point n'a d'importance que pour certains cas particuliers (soudage). Il n'est pas indiqué sur le schéma.

A₂ : Point relativement moins important pour les applications courantes point de CURIE

11.2. MICROSTRUCTURES DES ACIERS

Le diagramme de phase permet de déterminer la nature des constituants susceptibles de se former : il ne permet en aucun cas de prévoir la morphologie qui définit la microstructure du métal. Cette microstructure qui dépend des conditions de germination et de croissance des diverses phases est essentiellement fixée par les conditions de refroidissement.

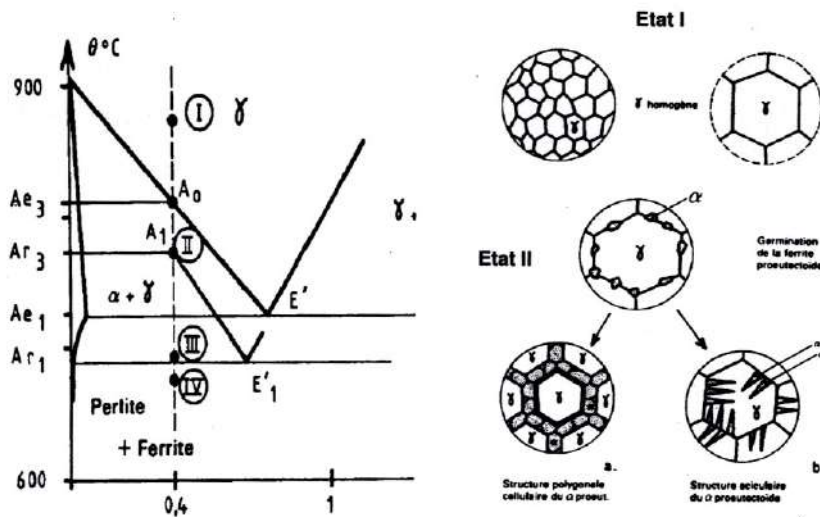
Nous nous contentons de commenter un exemple particulier afin de dégager quelques faits généraux.

En **1** dans le domaine austénitique la structure est caractérisée par un grossissement de grain γ déterminé par des conditions d'austénitisation données.

En **2** lorsque la température atteint AR_3 ($< AE_3$) caractéristique de la vitesse de refroidissement utilisée, la germination de la phase ferritique α commence. Cette germination a lieu en général aux joints de grains austénitiques.

La croissance des cristaux de ferrite dépend de la vitesse de transfert de l'énergie thermique produite par la transformation $\gamma \rightarrow \alpha$ et de la vitesse de diffusion du carbone, en excès par rapport à la limite de solubilité dans la ferrite.

CAS D'UN ACIER A 0,4 % : ACIER HYPOEUTECTOÏDE



Pour des vitesses de refroidissement faibles, et des grains austénitiques petits, les cristaux ferritiques pourront prendre la forme polygonale normale et conduire à une **répartition cellulaire** de la ferrite en a.

Pour des vitesses de refroidissement élevées et des grains austénitiques grossiers, les cristaux ferritiques se développent sous forme de plaquettes, donnant naissance à une **répartition aciculaire** ou de **Widmanstätten** en b. Les structures aciculaires sont caractéristiques des zones surchauffées, au voisinage des joints soudés et dans les aciers moulés bruts de moulage.

APPLICATION DE NOTION DE METALLURGIE

SOMMAIRE

- 1. TENEUR EN CARBONNE DE CERTAINS METAUX FERREUX**
- 2. MÉTAUX NON FERREUX**
- 3. COMPARAISON ENTRE LES METAUX FERREUX ET LES METAUX
NON FERREUX**

12. TENEUR EN CARBONE DE CERTAINS METAUX FERREUX

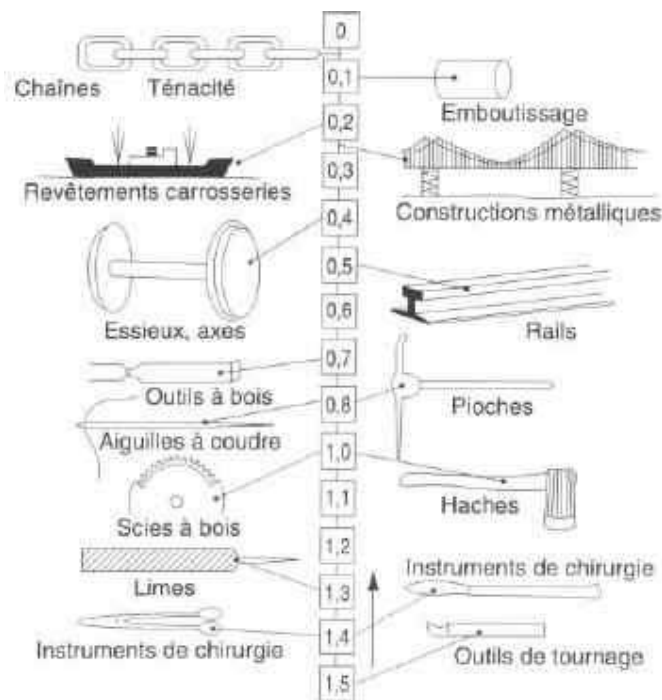
Métaux	Teneur en carbone (%)	Teneur en carbone
Fer	Moins de 0,06	La différence essentielle entre chaque type d'acier réside dans la proportion de carbone qu'il contient si le fer et le carbone sont alliés, dans la mesure où la teneur en carbone ne dépasse pas 1,5%, on obtient les aciers. Par contre, si l'alliage contient plus de 1,5% de carbone, on entre dans le groupe des fontes. Le carbone détermine la dureté et la ténacité des aciers. Plus un acier en contient, plus il est résistant. Cependant, il faut également tenir compte des procédés de production, des autres éléments d'alliage et de la nature du traitement thermique, lesquels contribuent à modifier certaines propriétés physiques des matériaux.
Acier doux	Entre 0,06 et 0,2	
Acier semi-dur	Entre 0,2 et 0,5	
Acier dur (acier à outils)	Entre 0,5 et 1,5	
Fonte	Plus de 2	

12.1. ACIERS DOUX ET SEMI-DURS

Les aciers doux (à faible teneur en carbone) possèdent entre 0,06 et 0,2 % de carbone. Les aciers semi-durs (à moyenne teneur en carbone) en possèdent entre 0,2 et 0,5 %. D'autres éléments, tels que le silicium, le soufre, le manganèse et le phosphore, sont aussi présents dans l'acier en faible quantité. Voici leurs teneurs limites:

- silicium: 0,06 %;
- manganèse: 1,2 %;
- soufre: 0,06 %
- phosphore: 0,06 %.

Applications des aciers au carbone selon leur teneur en carbone



12.1.1.Aciers doux

L'acier doux est le métal le plus courant et le plus largement utilisé dans l'industrie de la transformation des métaux. Il sert à la fabrication d'une multitude de pièces, telles que les boulons, écrous, les rondelle, les articles en tôle. Il constitue environ 85% de la production de l'acier. Il est surtout choisi pour sa malléabilité à froid.

À cause de leur faible teneur en carbone, les aciers doux ne peuvent être trempés par traitement thermique. En revanche, il peuvent être cémenté dans le but d'augmenter leur quantité en carbone en surface. C'est pour cette raison que l'acier doux est parfois appelé acier de cémentation. L'épaisseur de la couche cémentée est habituellement inférieure à 1,2 mm. Après la cémentation, les pièces peuvent être trempées afin de provoquer un durcissement structural en surface. Seule la surface pénétrée de carbone subira cette transformation. Cette formule est utilisée lorsque l'on désire une surface à la fois dure et résistante à l'usure et un noyau tenace.

12.1.2.Aciers semi-durs

Les aciers semi-durs se trempent par traitement thermique, mais dans certains cas, on a recours à la cémentation. Ces aciers offrent une meilleure résistance à la traction. On s'en sert largement comme aciers d'usage général: estampage de clés, marteaux, tournevis, éléments préfabriqués, ressorts, pièces forgées, etc.

12.1.3. Aciers alliés

La trempe d'un métal est souvent exécutée par chauffage puis refroidissement à l'eau. Avec des pièces minces ou de petites dimensions, cela ne pose aucun problème, car les aciers au carbone sont appropriés pour ce genre de traitement. Par contre, avec les pièces de plus grandes dimensions ou plus épaisses, le noyau se refroidit plus lentement que la périphérie lors du refroidissement de la pièce. La dureté est alors répartie de façon inégale. De plus, des variations dimensionnelles inégales sont à l'origine de tensions à l'intérieur des aciers au carbone. C'est pour éliminer ces inconvénients que l'on a développé les aciers alliés.

Composition

Les propriétés particulières des aciers d'alliage sont déterminées par la quantité et les types d'éléments d'alliage qu'ils contiennent. Il faut préciser que le carbone n'est pas considéré comme un élément d'alliage. Les aciers au carbone n'entrent donc pas dans la catégorie des aciers alliés.

Par aciers alliés, on entend des aciers à teneur modérée en éléments d'alliage et qui exigent un traitement thermique pour acquérir les propriétés correspondant à l'usage auquel ils sont destinés. Les alliages sont habituellement employés dans le but d'obtenir des propriétés supérieures. Par exemple, les éléments d'alliage permettent d'obtenir:

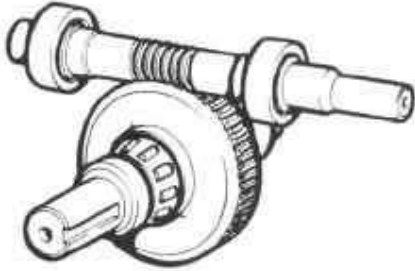
- Une meilleure élasticité;
- Une dureté accrue;
- Une meilleure ténacité;
- Une température critique modifiée (température à laquelle le métal subit une perte de ses propriétés);
- Une résistance accrue à l'usure;
- Une meilleure aptitude à la trempe;
- Une meilleure résistance à l'oxydation.

Les principaux types d'aciers alliés sont les suivants:

- Acier au nickel;
- Acier au chrome;
- Acier au nickel-chrome;
- Acier au nickel-chrome-molybdène;
- Acier au chrome-molybdène;
- Acier au manganèse-molybdène;
- Acier de nitruration (durcissement de la surface par absorption d'azote).

Le phosphore, le tungstène, le cobalt, le silicium, le vanadium et le soufre entrent parfois dans la composition des aciers alliés.

12.2. UTILISATION D'ACIERS ALLIÉS TREMPANT A CŒUR (SANDVICK)



Utilisations

L'utilisation des aciers alliés est reliée à leur degré de trempabilité et aussi à leur type, trempant à cœur ou de cémentation. Ces derniers, qui ne requièrent qu'une surface dure pour l'usage auquel ils sont destinés, servent à réaliser des pièces telles que des engrenages, des arbres, des ressorts et des essieux.

Les aciers de nitruration, qui entrent dans la catégorie des aciers de cémentation, sont utilisés pour la fabrication de pièces d'outils, de matrices, de moules, de boulons et de différentes pièces devant présenter une surface très dure, mais n'étant pas soumises à des efforts excessifs.

Les aciers trempant à cœur connaissent de très larges applications, mais on les choisit souvent lorsque la profondeur de trempé ou les propriétés mécaniques sont essentielles. Par exemple, on les utilise pour les pièces d'automobiles et d'avions et les dispositifs de fixation soumis à de durs efforts.

12.3. ACIERS ALLIÉS ET APPLICATION

Catégories d'aciers	Applications
Aciers au nickel nickel 3,50 % nickel 5,00 %	Vilebrequins, bielles, essieux
Aciers au nickel-chrome nickel 0,70 % chrome 0,70 % nickel 1,25 % chrome 0,60 % nickel 1,75 % chrome 1,00 % nickel 3,50 % chrome 1,50 %	Roues d'engrenages, chaînes, goujons, vis, arbres
Aciers au molybdène chrome-molybdène nickel-chrome-molybdène nickel 1,65 % molybdène 0,25 % nickel 3,25 % molybdène 0,25 %	Essieux, cames, pièces forgées
Aciers au chrome à faible teneur à moyenne teneur	Roulements à billes, bielles, ressorts

12.3.1.Alliages

Voici une description des effets de quelques éléments d'alliage sur les aciers.

12.3.2.Carbone

Même si le carbone n'est pas considéré comme un élément d'alliage, il n'en constitue pas moins l'élément le plus important dans la composition d'un acier, puisque c'est lui qui influence la dureté, l'aptitude à la trempe, la ténacité et la résistance à l'usure. Plus on approche de 0,85 % de carbone, plus l'acier est dur et présente une résistance à la traction élevée; par contre, sa ductilité et sa soudabilité sont amoindries. Au-delà de 0,85 % de carbone, l'ajout de carbone ne modifie pas sensiblement la dureté de l'acier, mais cela lui confère une meilleure résistance à l'usure.

12.3.3.Manganèse

Quelle que soit la teneur en carbone de l'alliage, le manganèse en améliore la qualité et le fini de surface. De plus, il augmente la résistance et la ténacité de l'acier, tout en améliorant son aptitude à la trempe et sa résistance aux chocs. L'ajout de manganèse aux aciers servant à la cémentation les rend très résistants à l'usure.

12.3.4.Chrome

Le chrome augmente la dureté, la résistance à la corrosion et à l'oxydation ainsi que la résistance aux chocs. En contrepartie, il diminue un peu la ductilité de l'acier. Le chrome est l'élément essentiel des aciers inoxydables.

12.3.5.Nickel

Le nickel améliore la résistance à la traction et la ductilité de l'acier. Il résiste aux effets de la chaleur et de la corrosion.

12.3.6.Phosphore

On trouve le phosphore en grande quantité dans les aciers d'usinage à décolletage (tournage) rapide ou à faible teneur en carbone, car il améliore les qualités d'usinage. Plus la proportion de phosphore augmente, moins l'alliage est résistant aux chocs. Par le fait même, sa ductilité s'en trouve réduite d'autant.

12.3.7.Soufre

On ajoute du soufre pour améliorer l'usinabilité de l'alliage d'acier. Cependant, plus l'alliage contient de soufre, moins il est facile à souder. .

12.3.8.Silicium

La principale qualité du silicium est de servir de désoxydant lors de la fabrication des alliages d'acier. Il accroît la résistance à la dureté, mais à un moindre degré que le manganèse.

12.3.9.Cuivre

Le cuivre réduit l'usinabilité par forgeage mais n'influence pas le soudage réalisé à l'arc électrique ou par procédé oxyacétylénique. Il améliore la résistance à la corrosion atmosphérique lorsqu'il est présent dans l'alliage dans une proportion supérieure à 0,15 %.

12.3.10.Plomb

Le plomb améliore l'usinabilité de l'alliage dans lequel on le trouve.

12.3.11.Éléments utilisés dans la fabrication des aciers

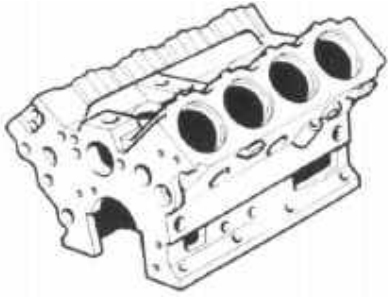
Éléments	Symbole chimique	Effets	Utilisations
Aluminium	Al	Décapant pour éliminer les impuretés et améliorer la grosseur du grain; limite le grossissement du grain.	Fabrication des aciers
Carbone	C	Augmente la dureté.	Aciers moulés à basse, moyenne ou haute teneur en carbone et aciers de construction.
Chrome	Cr	Augmente la dureté et améliore la résistance à l'usure sans fragilité; augmente la ténacité et la résistance à la corrosion.	Aciers inoxydables, outils, turbines aciers de construction pièces de machines, récipients sous pression.
Cobalt	Co	Maintient la dureté du métal porté au rouge.	Fabrication de fourneaux, outils de coupe.
Cuivre	Cu	Augmente la résistance à la corrosion atmosphérique; abaisse la température critique.	Profilés.
Étain	Sn	Utilisé comme revêtement et pour empêcher la corrosion.	Industrie de mise en conserve.
Manganèse	Mn	Affine la structure; augmente la ténacité et la ductilité.	Rails, essieux, barilletts d'armes à feu.
Molybdène	Mo	Durcit et augmente la ténacité des aciers.	Récipients sous pression, moulage pour applications sous pression, pièces de machines, outils.
Nickel	Ni	Résiste aux effets de la chaleur et à la corrosion; améliore la résistance à la traction.	Turbines forgeage industriel pour charpentes à haute résistance, aciers inoxydables, récipients sous pression, résistance à la corrosion.
Phosphore	P	Augmente la limite apparente d'élasticité et la trempabilité.	Aciers faiblement alliés.
Plomb	Pb	Améliore l'usinabilité ajouté à l'étain, il est utilisé pour empêcher la corrosion.	Dans un milieu corrosif.

Éléments	Symbole chimique	Effets	Utilisations
Silicium	Si	Utilisé pour améliorer la résistance à la traction; agit comme désoxydant en général.	Moulage de précision aciers à aimants et pour équipement électrique.
Soufre	S	Améliore l'usinabilité.	Pièces usinées.
Titane	Ti	Agent nettoyant prévient la précipitation du carbone dans les aciers inoxydables.	Aciers inoxydables, aciers faiblement alliés.
Tungstène	W	Augmente la ténacité, la dureté ainsi que la résistance à l'usure à des températures élevées.	Aciers pour outils à coupe rapide, aimants.
Vanadium	V	Donne de la ténacité et de la résistance à la traction résiste à l'adoucissement lors de la trempe, retarde le grossissement du grain à la température critique.	Revêtement de l'acier (galvanisation).
Zinc	Zn	Résiste à la corrosion.	Fabrication des aciers, outils, pièces de machines.
Zirconium	Zr	Utilisé comme désoxydant élimine l'oxygène l'azote et les inclusions d'éléments non métalliques lorsque l'acier est en fusion; structure à grain fin.	Tubes de charpente.

12.4. FONTES

En principe, la fonte est un alliage de fer et de carbone dont les propriétés peuvent être modifiées par l'ajout de petites quantités de silicium, de manganèse, de phosphore et de soufre. La fonte est présente sous toutes les formes de lingots, mais elle est principalement utilisée en fonderie, pour la fabrication de pièces moulées.

Bloc-cylindres (Sandvik)



Grâce à sa teneur élevée en carbone (de 2 à 4 %), la fonte est particulièrement fluide à haute température et peut donc être coulée dans des moules. Toutefois, les alliages ferreux ayant une teneur en carbone comprise entre 1,8 et 2,5 % ne sont pas couramment utilisés. La fonte sert à fabriquer des pièces moulées telles que des pièces d'automobiles, de locomotives et d'équipement agricole.

La fonte résiste nettement mieux à la compression qu'à la traction. Par ailleurs, elle est relativement cassante. Les pièces en fonte comportent ordinairement des surfaces d'ajustage qui sont généralement les seules à nécessiter un usinage. Les procédés de transformation permettent de raffiner la fonte brute en fonte grise, en fonte blanche, en fonte malléable, en fonte nodulaire et en fonte alliée.

12.4.1.Fonte brute

La fonte brute n'a aucune utilisation pratique en raison de sa teneur élevée en carbone. Elle sert surtout à fabriquer d'autres types de fontes et des aciers.

12.4.2.Fonte grise

On appelle fonte grise la fonte faite d'un mélange de fonte brute et de rebuts d'acier. Dans les entreprises, la fonte grise est la plus utilisée pour fabriquer des pièces coulées d'usage général lorsque les considérations de coût sont primordiales. Les surfaces exposées ont une coloration gris sombre à cause de la présence de graphite (carbone cristallisé). Parmi les caractéristiques essentielles de la fonte grise, on note son aptitude à amortir les vibrations, grâce à sa teneur élevée en graphite, ainsi que sa résistance à l'usure. À l'aide d'un traitement thermique, on peut tremper la fonte grise afin d'augmenter sa dureté.

12.4.3.Fonte blanche

La fonte blanche provient de la solidification de la fonte dans des moules en métal, un procédé communément appelé moulage en coquille. Avec cette technique, le refroidissement rapide de la fonte en surface confère aux pièces une surface extrêmement dure. La fonte blanche est donc très résistante à l'usure; cependant, elle est très cassante et fragile.

La fonte blanche n'est pas très utilisée, car il est difficile de la couler et de l'usiner. On l'emploie quand même dans des applications où sa dureté et sa résistance à l'abrasion peuvent être exploitées, par exemple pour la fabrication de broyeurs, de cylindres, de dents de godets d'excavatrices, etc.

La fonte blanche peut être adoucie par recuit (chauffage suivi d'un refroidissement lent).

12.4.4.Fonte malleable

La fonte malléable est habituellement de la fonte blanche recuite. Cette fonte est malléable comparativement à la fonte grise. Toutefois, son degré de malléabilité est loin d'atteindre celui du plomb. Cette fonte présente tout de même une certaine ténacité.

La fonte malléable est utilisée pour des applications requérant de la résistance mécanique, de la ductilité, de la résistance aux chocs et de l'usinabilité. Il existe plusieurs types de fontes malléables, dont les propriétés sont assez différentes. La fonte malléable est utilisée couramment pour fabriquer des pièces telles que des engrenages, des bâtis, des joints de tuyauterie, etc. Certains types de fontes malléables ont des propriétés assez proches de celles de l'acier pour être utilisés dans les situations qui exigent un surcroît de résistance à l'usure.

12.4.5.Fonte nodulaire

Dans la fonte nodulaire, aussi appelée fonte GS (graphite sphéroïdal), le graphite est présent sous forme de petites sphères (nodules), formées par l'addition de magnésium à la fonte avant la coulée. Cela améliore la résistance mécanique, la ténacité et la résistance aux chocs. La fonte nodulaire peut être soumise à des contraintes élevées. Elle peut également être soudée, ce qui la rend comparable à l'acier. Elle est supérieure à la fonte grise à de nombreux égards, sauf en ce qui concerne sa capacité d'amortissement et sa conductibilité thermique. Elle peut être adoucie par recuit ou trempée, partiellement ou intégralement, en coquille ou à l'eau.

Parmi les utilisations typiques de la fonte nodulaire, on trouve les vilebrequins, les bâtis de machines, les pistons, etc.

12.4.6.Fonte alliée

La fonte alliée contient des éléments d'alliage tels que le nickel, le chrome, le molybdène, le cuivre ou le manganèse en quantité suffisante pour améliorer certaines propriétés physiques. Habituellement, la teneur en alliage est de 3 % ou plus. Cette addition d'alliage peut améliorer:

- La résistance mécanique;
- La résistance à l'usure;
- La résistance à la corrosion;
- La résistance à la chaleur;
- La capacité d'amortissement des vibrations.

La plupart de ces propriétés sont radicalement différentes de celles des autres fontes. Aussi, la fonte alliée est-elle normalement produite par des fonderies spécialisées.

La fonte alliée est largement utilisée dans l'industrie automobile pour fabriquer des pièces telles que les cylindres, les pistons, les carters et les tambours. On s'en sert aussi pour diverses pièces de machines et divers outils ou d'autres éléments exposés à l'action d'agents abrasifs.

12.5. RESUME

- Le Carbone joue un rôle essentiel dans les métaux ferreux. Il détermine la résistance mécanique et la dureté.
- Le fer possède moins de 0,06 et 0,2% de carbone, avec possibilité de cémentation.
- L'acier semi-dur possède entre 0,2 et 0,5% de carbone, avec possibilité de cémentation ou de trempe.
- L'acier à outils possède entre 0,5 et 1,5% de carbone et est trempable par traitement thermique.
- L'acier inoxydable possède plus de 12% de chrome.
- La fonte possède plus de 2% de carbone.
- Presque aucun alliage ferreux dont la teneur en carbone est comprise entre 1,8 et 2,5 % n'est couramment utilisé.
- Les aciers doux et semi-durs sont de loin les plus utilisés.
- Plus un acier est allié, meilleure est sa qualité.

13. MÉTAUX NON FERREUX

Les deux métaux non ferreux les plus abondants dans le monde sont l'aluminium (si l'on considère l'écorce terrestre) et le magnésium (si l'on tient compte à la fois de l'écorce terrestre et des océans). Il existe un grand nombre de métaux dont l'élément principal n'est pas le fer, mais seulement quelques-uns sont employés dans des applications techniques. Les métaux non ferreux ont les propriétés communes de ne pas être attirés par un aimant et de résister à la corrosion.

13.1. CARACTERISTIQUES DES METAUX NON FERREUX USUELS

Métal	Couleur	Densité	Point de fusion (°C)	Principales propriétés
Aluminium (Al)	Blanc brillant	2,7	660	Léger Ductile Malléable Bon conducteur Forme une couche d'oxyde d'aluminium
Argent (Ag)	Blanc brillant	10,5	950	Malléable Ductile Très bon conducteur
Cuivre (Cu)	Rouge brun	8,9	1083	Malléable Ductile Conducteur Forme une couche de vert-de-gris lorsqu'il est exposé à l'humidité
Étain (Sn)	Blanc	7,3	232	Malléable Ductile Très mou Faible résistance mécanique N'est pas touché par l'eau ou l'air
Plomb (Pb)	Gris bleuâtre	11,3	327	Malléable Ductile Mou Résiste à la corrosion Mauvais conducteur
Magnésium (Mg)	Blanc argenté	1,7	650	Malléable Ductile Résiste à la corrosion Peut brûler Faible résistance mécanique
Nickel (Ni)	Blanc grisâtre	8,9	1455	Malléable Ductile

				Résiste à la corrosion
Zinc (Zn)	Blanc bleuâtre	7,2	419	Cassant (à la température ambiante) Malléable (200 °C) Résiste à la corrosion
Manganèse (Mn)	Grisâtre	7,2	1245	Cassant Très dur Résistant S'oxyde facilement

13.2. ALUMINIUM

Procédé de transformation

La transformation de l'aluminium s'effectue en deux étapes principales:

- Fabrication de l'alumine;
- Transformation de l'aluminium par électrolyse.

La fabrication de l'alumine se fait à partir d'un minerai appelé bauxite. On concasse le minerai et on le sèche à 700 °C, puis on additionne de la soude caustique et on mélange le tout. Plusieurs réactions chimiques ont lieu avant et après la décantation et la dilution du mélange. On procède ensuite à la filtration, au lavage, puis à la calcination à 1300 °C, ce qui, par réaction chimique, donne l'alumine.

La transformation de l'alumine se compare à celle des aciers dans le four à arcs électriques. L'alumine fondue à haute température (1000 °C) par le courant des électrodes est décomposée en aluminium et en oxygène. L'oxygène est consommé par les anodes et dégage du monoxyde de carbone (CO). Finalement, on recueille l'aluminium périodiquement pour en faire des lingots ou des pièces directement moulées.

Saviez-vous que...

Identification et propriétés

L'aluminium est un métal trop réactif avec l'oxygène pour exister à l'état libre. Ce sont ses composés qui sont les plus répandus. Les plus connus sont le mica et l'argile. On trouve aussi de l'oxyde d'aluminium dans la nature sous forme de rubis, d'émeraudes, de saphirs et de topazes. Ces pierres précieuses contiennent de petites quantités d'oxyde de chrome, de titane, de manganèse et de fer qui leur donnent leurs couleurs particulières. On fabrique des rubis artificiels en ajoutant de l'oxyde de chrome à de l'oxyde d'aluminium en fusion, tandis que l'ajout d'oxyde de cobalt donne des saphirs bleus. Ces pierres artificielles sont souvent mieux formées que les pierres naturelles.

L'aluminium est un métal blanc tirant légèrement sur le bleu, dont on obtient facilement un beau fini poli. Il est aussi léger (trois fois plus que le fer) et très malléable. Il conduit la chaleur trois fois mieux que l'acier, mais sa conductivité décroît plus rapidement lorsque la température augmente.

L'aluminium vient au second rang des métaux les plus employés après l'acier. Il est léger, robuste, facile à usiner, souvent économique et il résiste à la corrosion. tout comme l'acier inoxydable, dès l'instant où l'aluminium est exposé à l'air, sa surface se recouvre d'une

pellicule transparente qui le protège contre toute forme de corrosion. L'aluminium n'est pas magnétique, il est bon conducteur de chaleur et d'électricité.

13.3. ALLIAGES

L'usage de l'aluminium pur n'est pas aussi répandu que celui des ses alliages. Les utilisations de l'aluminium pur sont très spécialisées et limitées à certaines industries: emballage et conditionnement des aliments, fabrication de réflecteurs de chaleur ou de lumière, etc. De plus, il ne se coule pas aussi bien à l'état pur que lorsqu'il est allié, et son usinage pose quelques problèmes en raison de sa malléabilité.

Les alliages d'aluminium offrent une résistance très variée. Leur limite d'élasticité peut varier entre 5000 et 7000 lb/po² selon l'alliage.

13.3.1.Magnésium

Les alliages d'aluminium-magnésium peuvent être forgés ou coulés, mais ils ne peuvent subir de traitement thermique, à moins qu'ils ne s'agisse d'alliages coulés et qu'ils contiennent plus de 10 % de magnésium. Modérément tenaces et résistants à la corrosion, les alliages forgés sont utilisés dans la construction navale, pour les tubes d'usage général, les pièces de tôlerie, les structures soudées, etc. Les alliages coulés sont utilisés pour fabriquer des réservoirs et des récipients, des composants d'avions et de bateaux ainsi que des pièces d'architecture.

13.3.2.Duralumin

Le duralumin est un alliage d'aluminium, de cuivre, de magnésium, de manganèse, de silicium et de fer. Très léger, il durcit par vieillissement (durcissement graduel à la température ambiante). Comme il résiste bien à la corrosion, le duralumin est idéal dans les domaines de l'aviation et de l'automobile.

13.3.3.Manganèse

Les alliages d'aluminium-manganèse peuvent être durcis uniquement par travail à froid (forgeage). La plupart de ces alliages se prêtent bien au formage et au soudage. On utilise ce type d'alliages essentiellement pour les ouvrages structuraux, les tôles, les récipients, etc.

13.3.4.Zinc

Les alliages d'aluminium-zinc contiennent, en plus du zinc, d'autres éléments comme le cuivre et le magnésium. On obtient ainsi certains alliages d'aluminium parmi les plus robustes. Le durcissement se fait par vieillissement. Ces alliages sont principalement employés dans l'industrie aérospatiale pour les structures d'avions et pour des pièces soumises à des contraintes élevées.

13.3.5.Silicium



Les alliages d'aluminium-silicium sont très faciles à couper, ce qui permet de réaliser des formes complexes et des pièces à parois minces. On les trouve surtout dans l'industrie automobile: corps de carburateurs, pistons de moteurs, blocs-cylindres, etc. De plus en plus de pièces sont coulées à partir d'alliages d'aluminium en raison de la légèreté de ce métal.

13.3.6.Silicium-magnésium

Les alliages d'aluminium-silicium-magnésium peuvent être soumis à un traitement thermique et ont une extrême résistance à la corrosion. Certains alliages sont employés en général pour la fabrication de boîtes, de petites embarcations, de garde-fous de ponts, de carters, etc.

13.3.7.Magnésium

Le magnésium est produit en grande quantité à partir de l'eau de mer. Il s'agit d'un métal blanc argenté très léger qui ressemble à l'aluminium. Cependant, il s'oxyde facilement et sa surface se couvre alors d'une pellicule grisâtre. Il est modérément résistant aux produits chimiques tels que les acides, l'alcool, le phénol, les hydrocarbures, les huiles, etc. Il risque de s'enflammer lorsqu'il est chauffé à l'air libre. Il n'est donc pas facilement soudable, sauf s'il est allié à du manganèse ou de l'aluminium.

Le magnésium est employé comme désoxydant pour le laiton, le bronze, le nickel et l'argent. En raison de sa légèreté, on l'utilise pour fabriquer des pièces d'avions. Les alliages de magnésium se retrouvent, par exemple, dans les machines à coudre et les machines à écrire.

13.3.8.Cuivre

Le cuivre est vendu sous les mêmes formes que les aciers. Très ductile et malléable, on peut aussi l'obtenir sous forme de fils, de tôles, de tubes, de forgeages et de pièces moulées.

Identification et propriétés

Le cuivre est un métal brun tirant légèrement sur le rouge. Il permet d'obtenir facilement un beau fini poli. Il est assez léger.

Le cuivre vient au troisième rang des métaux les plus utilisés après l'acier et l'aluminium. C'est le premier métal à avoir été utilisé par l'être humain. Ses propriétés sont multiples, mais il se distingue surtout par sa bonne conductibilité électrique. Le cuivre est facile à mettre en forme. Il possède une grande résistance aux intempéries et de bonnes caractéristiques mécaniques. Le cuivre ternit mais ne rouille pas. Il possède néanmoins une faible résistance à certains acides. Une pellicule adhérente se forme sur les alliages de cuivre, les protégeant ainsi contre la corrosion. Tout comme l'aluminium, les alliages sont plus résistants que le métal pur.

Le cuivre à l'état pur est utilisé pour fabriquer des fils électriques, de l'appareillage de communication, de la tuyauterie, des toitures, etc. Lorsqu'il est à l'état pur, il se couvre d'une couche d'hydrocarbonate (vert-de-gris) au contact de l'air humide chargé de gaz carbonique.

13.3.9.Laitons

Identification et propriétés

On reconnaît facilement le laiton à sa couleur passant du rouge cuivré, pour les alliages riches en cuivre, jusqu'au jaune pour les alliages qui contiennent un peu plus de 36 % de zinc, comme c'est le cas des alliages les plus souvent utilisés dans les ateliers d'usinage. On peut facilement obtenir un beau fini lisse.

Le laiton est un alliage de cuivre et de zinc dont la teneur en zinc peut excéder 50 %. Chaque type de laiton présente des caractéristiques particulières. On apporte d'importantes modifications à ces alliages en ajoutant, en faible quantité, des éléments comme le plomb, l'aluminium, l'étain, le fer, le manganèse, le nickel et le silicium. Le laiton possède une bonne résistance à la corrosion et aux contraintes mécaniques, ainsi qu'une ductilité et une malléabilité assez élevées, mais moindres que celles du cuivre et de l'aluminium purs.

Les qualités du laiton font en sorte qu'il peut servir à la fabrication d'accessoires électriques, de raccords, de rivets, de tuyaux, de pièces embouties, de tubes et de tôles. On choisit le laiton à grande ténacité pour les pièces de structures nécessitant une grande résistance.

Le laiton jaune est utilisé dans la fabrication de conduits (radiateurs, systèmes de climatisation, bornes d'accumulateurs, etc.) et de différentes petites pièces coulées. Cet alliage est utilisé lorsqu'on doit obtenir des pièces qui s'usinent bien à faible coût.

Le laiton rouge est utilisé dans la fabrication de couronnes mobiles et de pompes centrifuges, d'accessoires sur les conduites à essence et de transport d'huile, de petits coussinets, etc. Ce laiton est classé dans la catégorie des laitons à décolletage rapide. Il possède d'excellentes propriétés au regard du moulage et de la qualité du fini de surface.

13.4. BRONZE

Il y a quelques années, seuls les alliages de cuivre-étain étaient considérés comme du bronze. Avec le temps et l'exigence d'autres propriétés, la définition du bronze s'est un peu élargie. Les bronzes contiennent d'autres éléments d'addition principaux comme l'aluminium, le plomb, le nickel, le manganèse, etc., et ce terme s'applique aujourd'hui à n'importe quel alliage de cuivre autre que l'alliage de cuivre-zinc (laiton). La couleur des bronzes varie du rouge au jaune, suivant la composition des alliages. Les bronzes sont identifiés selon l'élément principal ajouté au cuivre.

13.5. ALLIAGES



Cuivre-étain

Très peu utilisés, ces alliages sont souvent remplacés par d'autres alliages plus performants. Les bronzes de ce type sont surtout utilisés là où la résistance à la corrosion est importante, comme pour l'équipement marin et les corps de pompes .

13.5.1.Aluminium

Aussi appelés cupro-aluminiums, ces alliages ont généralement une teneur en aluminium inférieure à 10 %, mais ils contiennent souvent d'autres éléments tels que

- Le fer (résistance);
- Le nickel (dureté et résistance);
- Le manganèse (robustesse);
- Le plomb (usinabilité).

Les caractéristiques de ces bronzes, comme la dureté et la résistance, sont excellentes et nettement supérieures à celles du laiton. Leur résistance à la corrosion est également excellente. On emploie ces bronzes dans des applications telles que les engrenages, les outils, les éléments de fixation, les aubes de turbines ainsi que les coussinets dans le cas des alliages contenant du plomb, puisqu'ils ont la propriété d'être autolubrifiants.

13.5.2.Nickel

Ces bronzes ont une teneur en nickel qui varie entre 10 et 30 %. Ils contiennent aussi d'autres éléments d'addition. Le nickel améliore la résistance, la dureté, ainsi que les caractéristiques de résistance à l'usure et à la corrosion. Les alliages de ce type ont des applications diverses, notamment les tubes, les arbres, les paliers et les roulements, les corps de valves, etc.

13.5.3.Silicium

Ces alliages peuvent aussi contenir d'autres éléments d'addition en faible quantité. Ils possèdent une résistance exceptionnelle à la corrosion et représentent un excellent compromis entre la robustesse, la dureté, la résistance et la coulabilité. Ces bronzes sont très utiles dans les industries chimique, pétrolière et marine. On en fait des réservoirs, de la tuyauterie, des paliers, des pignons, des engrenages, etc.

13.5.4.Béryllium

Ces bronzes peuvent contenir jusqu'à 2 % de béryllium en plus d'autres éléments d'addition. Ils sont trempables, de sorte qu'ils peuvent acquérir d'excellentes qualités au regard de la traction et de la fatigue. On s'en sert dans la fabrication des ressorts, des matrices, des filières, des tubes et des appareils à contacts à haute résistance.

13.5.5.Titane

Le titane est un métal blanc et brillant. Le titane et ses alliages se distinguent par les caractéristiques suivantes:

- Très bonne résistance à la corrosion;
- Charge à la rupture élevée;
- Bonnes propriétés mécaniques à haute température.
-

Le titane est aussi résistant que l'acier, tout en étant deux fois plus léger. On l'utilise dans les industries aérospatiale et chimique. De plus en plus, on trouve le titane et ses alliages dans différents secteurs industriels.

13.5.6.Nickel

Le nickel est un métal blanc grisâtre présentant une bonne dureté. Il est malléable et ductile. À l'état pur, le nickel est meilleur conducteur que les aciers. toutefois, lorsqu'il est allié avec du cuivre, du chrome, du fer ou du molybdène, il est moins conducteur.

On utilise le nickel comme élément d'alliage pour augmenter la ductilité, la dureté et la résistance tant des métaux ferreux que non ferreux. De plus, il permet d'augmenter la ténacité à basse température, la trempabilité et la résistance à faible traction. On utilise les alliages de nickel pour produire des pièces devant supporter des températures élevées: résistances électriques d'appareils de chauffage, évaporateurs et échangeurs pour l'industrie chimique, accessoires de décorations lumineuses. L'Inconel et le Monel sont des alliages de nickel couramment utilisés.

L'acier inoxydable est un alliage de nickel, de chrome et de fer.

14. COMPARAISON ENTRE LES METAUX FERREUX ET LES METAUX NON FERREUX

En raison de leurs nombreuses propriétés, les métaux non ferreux rivalisent de plus en plus avec les métaux ferreux et tendent à les remplacer dans bon nombre d'applications.

14.1. RESISTANCE A LA CORROSION

Les métaux non ferreux résistent mieux à la corrosion que les métaux ferreux. Ces derniers, à l'exception des aciers inoxydables, sont grandement attaqués par la corrosion. Chaque année, la corrosion dégrade plusieurs centaines de milliers de tonnes d'acier.

14.2. CONDUCTIVITE ELECTRIQUE

La conductivité électrique des métaux non ferreux est largement supérieure à celle des métaux ferreux.

14.3. CONDUCTIVITE THERMIQUE

En général, la conductivité thermique des métaux ferreux est inférieure à celle des métaux non ferreux.

14.4. FERROMAGNETISME

Tous les métaux ferreux, à l'exception de l'acier inoxydable austénitique, sont attirés par un aimant. Quant aux métaux non ferreux, ils ne le sont pas, à l'exception du nickel et du cobalt.

14.5. DENSITE

L'aluminium, le zinc et l'étain sont plus légers que le fer, tandis que le nickel, le cuivre, l'argent, le plomb et l'or sont plus lourds que le fer.

14.6. COMPORTEMENTS A BASSE TEMPERATURE

Les métaux ferreux (à l'exception des aciers à haute limite élastique, des aciers inoxydables austénitiques et des aciers au nickel) deviennent fragiles et cassants à basse température. Les métaux non ferreux gardent leur résistance mécanique à basse température.

14.7. RESISTANCE MECANIQUE

La résistance mécanique des métaux ferreux est supérieure à celle des métaux non ferreux.

14.8. COUT

En général, le coût des métaux non ferreux est supérieur à celui des métaux ferreux.

14.9. RESUME

Les deux métaux les plus abondants dans le monde sont l'aluminium et le magnésium.

Les métaux non ferreux résistent généralement bien à la corrosion et ne sont pas magnétiques.

L'aluminium est trois fois plus léger et conducteur que le fer. ses alliages sont plus résistants que le métal pur.

En raison de la facilité avec laquelle on peut le couper, l'alliage d'aluminium-silicium permet de réaliser des pièces complexes.

L'alliage d'aluminium-silicium-magnésium a une très grande résistance à la corrosion.

Le cuivre se distingue par sa grande conductibilité électrique. Il ternit mais ne rouille pas. ses alliages sont plus résistants que le métal pur

Le laiton est un alliage de cuivre et de zinc. Il est moins malléable que le cuivre et l'aluminium purs.

Le terme « bronze » s'applique aujourd'hui à n'importe quel alliage de cuivre autre que le laiton (cuivre-zinc).

Les principaux éléments ajoutés au cuivre pour produire différents bronzes sont l'étain (équipement marin, corps de pompes), l'aluminium (engrenages, outils, éléments de fixation), le nickel (tubes, paliers, corps de valves), le silicium (réservoirs, tuyauterie, engrenages).

Le nickel est ajouté aux métaux ferreux et non ferreux pour augmenter leur ductilité et leur résistance ainsi que pour abaisser leur température critique.

Le magnésium ressemble à l'aluminium mais il s'oxyde facilement. En soudage, on utilise surtout les alliages de magnésium, car lorsqu'il est pur, ce métal tend à s'enflammer lorsqu'il est chauffé.

DESIGNATION DES ACIERS

SOMMAIRE

1. HISTORIQUES DES DESIGNATIONS
2. SYMBOLIQUE NF EN 10027.1
3. DESIGNATION NUMERIQUE NF EN 10027.2
4. DESIGNATION NORMALISEE

15. HISTORIQUES DES DESIGNATIONS

15.1. HISTORIQUE DES DESIGNATIONS

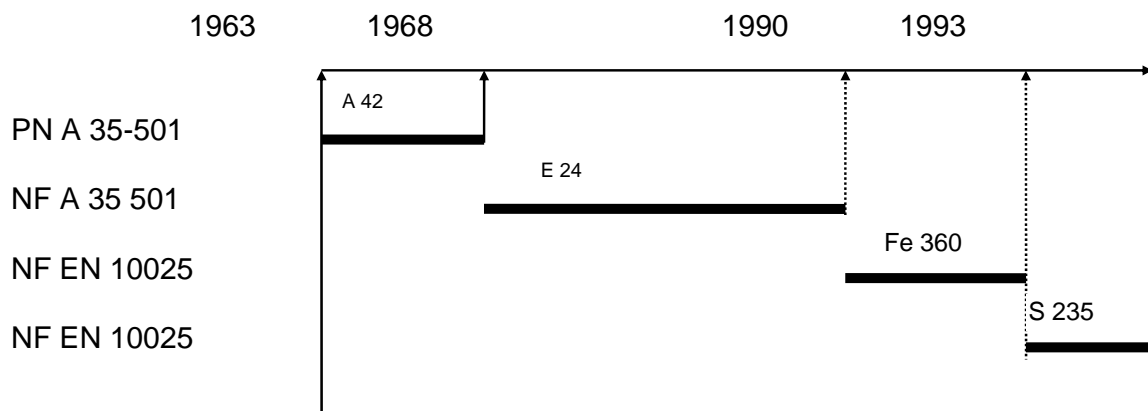
1945 : Apparition des normes AFNOR (NFA)

1965 : Apparition des Euronormes (EU)

1986 : Apparition des premières normes européennes (EN)

1993 : Apparition de la norme européenne de désignation des aciers (EN 10027)

Exemple d'évolution



15.2. REFERENCES NORMALISEES

- EN 10020 - Définition et classification des nuances d'acier
- EN 10027 - Systèmes de classification des aciers
 - EN 10027.1 - Désignation symbolique
 - EN 10027.2 - Désignation numérique
- EN 10079 - Définition des produits en acier

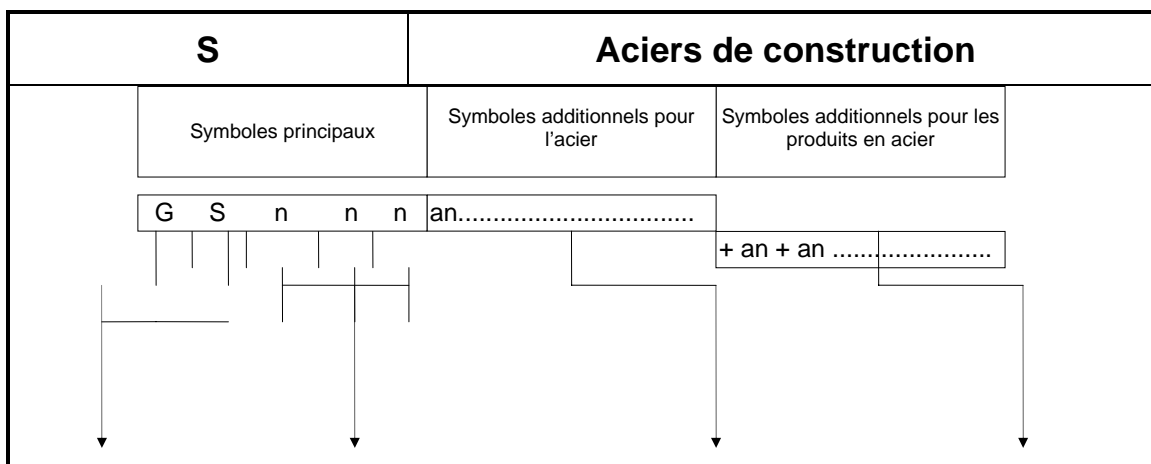
16. SYMBOLIQUE NF EN 10027.1

Les désignations symboliques sont classées en deux groupes principaux :

- **Groupe 1** : aciers désignés à partir de leur emploi et de leurs **caractéristiques mécaniques**
- **Groupe 2** : aciers désignés à partir de **leurs compositions chimiques** et divisés en quatre sous-groupes.

16.1. ACIERS DESIGNES A PARTIR DE LEUR CARACTERISTIQUES MECANQUES

SYMBOLES	SPECIFICATIONS	SUIVI DE :
S	Aciers de Construction	Limite d'élasticité N/mm ²
P	Appareils à pression	Limite d'élasticité N/mm ²
L	Tubes	Limite d'élasticité N/mm ²
E	Aciers de constructions mécaniques	Limite d'élasticité N/mm ²
B	Acier à béton	Limite d'élasticité N/mm ²
Y	Acier à béton précontraint	Résistance traction N/mm ²
R	Aciers pour rails	Résistance traction N/mm ²
H	Produits plats laminés à froid à haute résistance pour emboutissage à froid	Résistance traction N/mm ²
M	Aciers magnétiques	/
T	Acier pour emballage, fer blanc	/
D	Produits plats pour formage à froid	/



Lettre	Caractéristiques mécaniques	Groupe 1	Groupe 2	Pour les produits en acier																																
<p>G - aciers moulés (si nécessaire)</p> <p>S - acier de construction</p>	<p>n n n = valeur minimale de la limite d'élasticité (Re) N/mm² pour gamme d'épaisseur plus faible</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Energie de rupture (J)</th> <th>Température d'essai (° C)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>27</td> <td>40</td> <td>60</td> <td></td> </tr> <tr> <td>JR</td> <td>KR</td> <td>LR</td> <td>20</td> </tr> <tr> <td>JO</td> <td>KO</td> <td>LO</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>J2</td> <td>K2</td> <td>L2</td> <td>- 20</td> </tr> <tr> <td>J3</td> <td>K3</td> <td>L3</td> <td>- 30</td> </tr> <tr> <td>J4</td> <td>K4</td> <td>L4</td> <td>- 40</td> </tr> <tr> <td>J5</td> <td>K5</td> <td>L5</td> <td>- 50</td> </tr> </tbody> </table> <p>M = Laminage thermomécanique N = Normalisé ou laminage normalisant Q = Trempé et revenu G = Autres caractéristiques suivies, lorsque nécessaire, par 1 ou 2 digits</p>	Energie de rupture (J)			Température d'essai (° C)	27	40	60		JR	KR	LR	20	JO	KO	LO	0	J2	K2	L2	- 20	J3	K3	L3	- 30	J4	K4	L4	- 40	J5	K5	L5	- 50	<p>C = Forpage à froid spécial D = Galvanisation E = Emballage F = Forgeage H = Profil creux L = Basse température M = Formage thermomécanique N = Normalisé ou laminage normalisant O = Offshore P = Palplanche Q = Trempé et revenu S = Construction navale T = Tubes W = Résistant à la corrosion atmosphérique an = symbole chimique de l'élément d'alliage spécifié par ex. Cu, avec éventuellement un seul digit représentant 10 fois la moyenne (arrondie à 0,1 %) de la fourchette spécifiée de la teneur de cet élément</p>	<p>Tableaux 1, 2, 3</p>
Energie de rupture (J)			Température d'essai (° C)																																	
27	40	60																																		
JR	KR	LR	20																																	
JO	KO	LO	0																																	
J2	K2	L2	- 20																																	
J3	K3	L3	- 30																																	
J4	K4	L4	- 40																																	
J5	K5	L5	- 50																																	

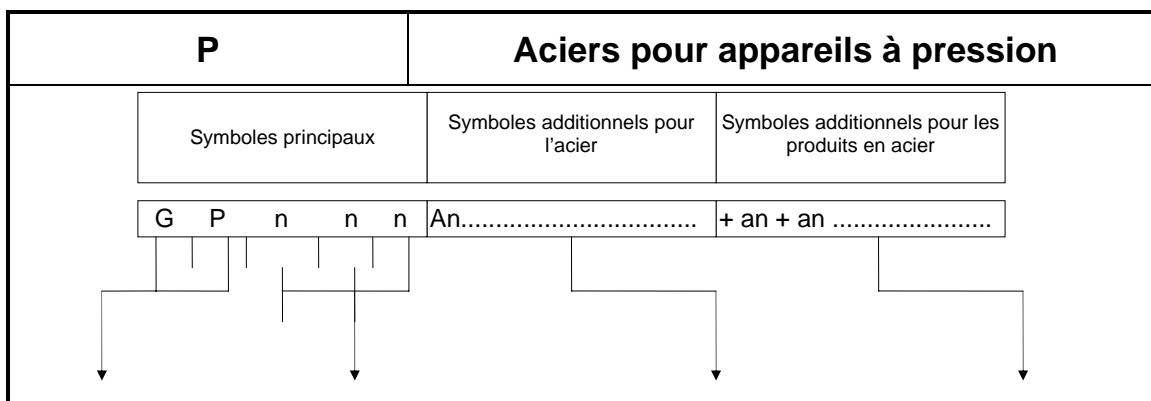
Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
S185 S 355JR S355JO S355J2G3 S355J2G4 S355K2G3 S355K2G4C S355N S355NL S355MC S355NC

E		Aciers de construction mécanique		
Symboles principaux		Symboles additionnels pour l'acier	Symboles additionnels pour les produits en acier	
E		n	n	n an.....
+ an + an				
Symboles principaux		Symboles additionnels		
Lettre	Caractéristiques mécaniques	Pour l'acier		Pour les produits en acier
		Groupe 1	Groupe 2	
E = Aciers de construction mécanique	n n n = valeur minimale de la limite d'élasticité (Re) N/mm ² pour la gamme d'épaisseur la plus faible	G = autres caractéristiques suivies, lorsque nécessaire, par 1 ou 2 digits		Tableau 3

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
E 295 E 295 GC E 335 E 360

B		Aciers à béton		
Symboles principaux		Symboles additionnels pour l'acier	Symboles additionnels pour les produits en acier	
B		n	n	n an.....
		+ an	+ an
Symboles principaux		Symboles additionnels		
Lettre	Caractéristiques mécaniques	Pour l'acier		Pour les produits en acier
		Groupe 1	Groupe 2	
B = aciers à béton	n n n = valeur minimale de la limite d'élasticité (Re) N/mm ² pour la gamme d'épaisseur la plus faible	a = classe d'exigence suivie, si nécessaire par 1 ou 2 digits		Tableau 3

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
B 500 H B 500 N



Lettre	Caractéristiques mécaniques	Groupe 1	Groupe 2	Pour les produits en acier
G - aciers moulés (si nécessaire) P - acier pour appareils à pression	n n n = valeur minimale de la limite d'élasticité (Re) N/mm ² pour la gamme d'épaisseur la plus faible	M = Laminage thermomécanique N = Normalisé ou Laminage normalisant G = trempé et revenu B = Bouteilles de gaz S = Appareils à pression T = Tubes G = Autres caractéristiques suivies, lorsque nécessaire, par 1 ou 2 digits	H = température élevée L = basse température R = température ambiante X = température élevée et basse température	Tableaux 1, 2, 3

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
P 265 B P 265 GH P 355 NH

L		Aciers pour tubes de conduite		
Symboles principaux		Symboles additionnels pour l'acier	Symboles additionnels pour les produits en acier	
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> L n n n an..... + an + an </div>				
Symboles principaux		Symboles additionnels		
Lettre	Caractéristiques mécaniques	Pour l'acier		Pour les produits en acier
		Groupe 1	Groupe 2	
L = aciers pour des tubes de conduites	n n n = valeur minimale de la limite d'élasticité (Re) N/mm ² pour la gamme d'épaisseur la plus faible	M = Laminage thermomécanique N = normalisé ou laminage normalisant Q = trempé et revenu G = autres caractéristiques suivies, lorsque nécessaire, par 1 ou 2 digits	a = classe d'urgence suivie, si nécessaire par 1 digit	Tableaux 1, 2, 3

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
L 360 Na
L 360 Qa
L 360 Ma

H		Produits plats laminés à froid en acier à résistance pour emboutissage à froid		
Symboles principaux		Symboles additionnels pour l'acier		Symboles additionnels pour les produits en acier
Symboles principaux		Symboles additionnels		
Lettre	Caractéristiques mécaniques	Pour l'acier		Pour les produits en acier
		Groupe 1	Groupe 2	
H = produits plats laminés à froid et en acier à haute résistance pour emboutissage à froid	n n n = valeur minimale de la limite d'élasticité (Re) N/mm ² Tnnn = valeur minimale de la limite de la résistance à la traction (Rm)/Nmm ²	M = laminé thermomécaniquement et laminé à froid B = durcissement par vieillissement P = avec phosphore X = biphasé G = autres caractéristiques suivies, lorsque nécessaire, par 1 ou 2 digits	D = revêtement par trempé à chaud	Tableau 2

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
H 420 M

M		Aciers Magnétiques	
Symboles principaux		Symboles additionnels	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block; margin-bottom: 10px;"> M n n n n - n n a </div>			
Symboles principaux		Symboles additionnels	
Lettre	Caractéristiques	Type de produit	Symboles additionnels
M = Aciers magnétiques	nnn = pertes totales spécifiées max en W/Kg x 100 nn = 100 x épaisseur normale en mm	Pour une induction de 1,5 Tesla à une fréquence de 50 Hz A = grains non orientés D = non allié semi-fini (sans recuit final) E = Allié semi fini (sans recuit final) N = grains orientés normaux Pour une induction de 1,7 Tesla à une fréquence de 50 Hz S = grains orientés à pertes réduites P = grains orientés à haute perméabilité	

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
M400 - 50A M140 - 30S M430 - 50D M390 - 50E

R		Aciers pour ou sous forme de rails		
Symboles principaux		Symboles additionnels pour l'acier	Symboles additionnels pour les produits en acier	
R		n	n	n
an.....		+ an	+ an
Symboles principaux		Symboles additionnels		
Lettre	Caractéristiques mécaniques	Pour l'acier		Pour les produits en acier
		Groupe 1	Groupe 2	
R = Aciers pour ou sous forme de rails	nnn = valeur minimale de la limite de la résistance à la traction (Rm) N/mm ²	Mn = haute teneur en Mn Cr = allié au chrome an = symbole chimique de l'élément spécifié, par ex Cu digit représentait 10 fois la moyenne (arrondie à 0,1 %) de la fourchette spécifiée de cet élément G = autres caractéristiques suivies, lorsque nécessaire, par 1 ou 2 digits.	Q = trempé et revenu	

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
R 0900 R 0900 Mn

Y		Aciers à béton précontraint		
Symboles principaux		Symboles additionnels pour l'acier	Symboles additionnels pour les produits en acier	
Y		n	n	n
an.....		+ an + an		
Symboles principaux		Symboles additionnels		
Lettre	Caractéristiques mécaniques	Pour l'acier		Pour les produits en acier
		Groupe 1	Groupe 2	
Y = Aciers à béton précontraint	nnn = valeur minimale de la limite de la résistance à la traction (Rm) N/mm ²	C = Fil étiré à froid H = barres formées à chaud ou précontraintes Q = Fil trempé et revenu S = toron G = autres caractéristiques suivies, lorsque nécessaire, par 1 ou 2 digits		

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
Y 1770 C

T		Fer noir, fer blanc, fer chromé (produits en acier pour emballage)						
Symboles principaux		Symboles additionnels pour l'acier	Symboles additionnels pour les produits en acier					
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">T</td> <td style="padding: 2px;">H</td> <td style="padding: 2px;">n</td> <td style="padding: 2px;">n</td> </tr> </table>		T	H	n	n	+ an + an		
T	H	n	n					
<table border="1" style="margin: auto;"> <tr> <td style="padding: 2px;">T</td> <td style="padding: 2px;">n</td> <td style="padding: 2px;">n</td> <td style="padding: 2px;">n</td> </tr> </table>		T	n	n	n			
T	n	n	n					
Symboles principaux		Symboles additionnels						
Lettre	Caractéristiques mécaniques	Pour l'acier		Pour les produits en acier				
		Groupe 1	Groupe 2					
T = fer noir, fer blanc, fer chromé (produits en acier pour emballage)	H n n n = valeur moyenne spécifiée de la dureté Rockwell HR 30 Tm pour le produit à simple réduction nnn = valeur nominale de la limite d'élasticité (Re) Nmm ² pour le produit à double réduction			Tableaux 2,3 NOTE : Aucun symbole n'est affecté au fer noir				

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
TH 52
T 660

D		Produits plats pour fromage à froid		
Symboles principaux		Symboles additionnels pour l'acier	Symboles additionnels pour les produits en acier	
		an.....	+ an + an	
Symboles principaux		Symboles additionnels		
Lettre	Caractéristiques mécaniques	Pour l'acier		Pour les produits en acier
		Groupe 1	Groupe 2	
D = Produits plats pour emboutissage à froid	<p>Cnn = laminé à froid, suivi de 2 digits</p> <p>Dnn = laminé à chaud pour fromage direct à froid suivi de 2 digits</p> <p>Xnn = produit dont les conditions de laminage ne sont pas spécifiées, suivi de 2 digits</p>	<p>D = pour revêtement par trempé à chaud</p> <p>EK = pour émaillage à froid conventionnel</p> <p>ED = pour émaillage direct</p> <p>an = symbole chimique de l'élément spécifié, par ex Cu digit représentait 10 fois la moyenne (arrondie à 0,1 %) de la fourchette spécifiée de cet élément</p> <p>G = autres caractéristiques suivies, lorsque nécessaire, par 1 ou 2 digits.</p>		Tableaux 2 et 3

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
D CO3 + 2E

16.2. ACIERS DESIGNES A PARTIE DE LEUR COMPOSITION CHIMIQUE

16.2.1. Aciers non alliés avec une teneur moyenne en manganèse < 1 %

La désignation comprend les symboles suivants :

- la lettre C
- la teneur en carbone x 100

16.2.2. Aciers non alliés avec une teneur moyenne en manganèse ≥ 1 %

- la teneur en carbone x 100
- les symboles chimiques des éléments d'alliage
- les valeurs des teneurs des éléments multipliées par les facteurs donnés ci-dessous.

Eléments	Facteur
Cr, Co, Mn, Si, Ni, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
Ce, N, P, S,	100
B	1 000

16.2.3. Aciers alliés dont la teneur d'au moins un des éléments d'alliage est ≥ 5 %

- la lettre X
- la teneur en carbone x 100
- les symboles chimiques des éléments d'alliage
- les valeurs moyennes des teneurs des éléments arrondies à l'unité la plus proche

16.2.4. Aciers rapides

- les lettres HS
- les valeurs des teneurs des éléments d'alliage dans l'ordre suivant :
 - Tungstène (W)
 - Molybdène (Mo)
 - Vanadium (V)
 - Cobalt (Co)

Désignation	Lettre	% Carbone	Symboles chimiques	Facteur
Aciers non alliés	C	x 100		
Aciers non alliés avec Mn > 1 % et teneur d'éléments < 5 %		x 100	Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	x 4
			Al, Be, Cu, Mo, Ti, Ta	x 10
			Ce, N, P, S	x 100
			B	x 1000
Aciers alliés Teneur d'éléments > 5 %	X	x 100	Cr, Mo, Ni, etc	x 1
Aciers rapides	X - HS		W - Mo - V - Co	x 1

Exemple :

- C 45 = aciers non alliés avec 0,45 % de carbone
- 45 Cr 20 = aciers non alliés ayant 0,45 % de carbone et 5 % de chrome
- X 3 CN 1810 - acier allié ayant 0,03 % de carbone et 18 % de chrome et 10 % Nickel.

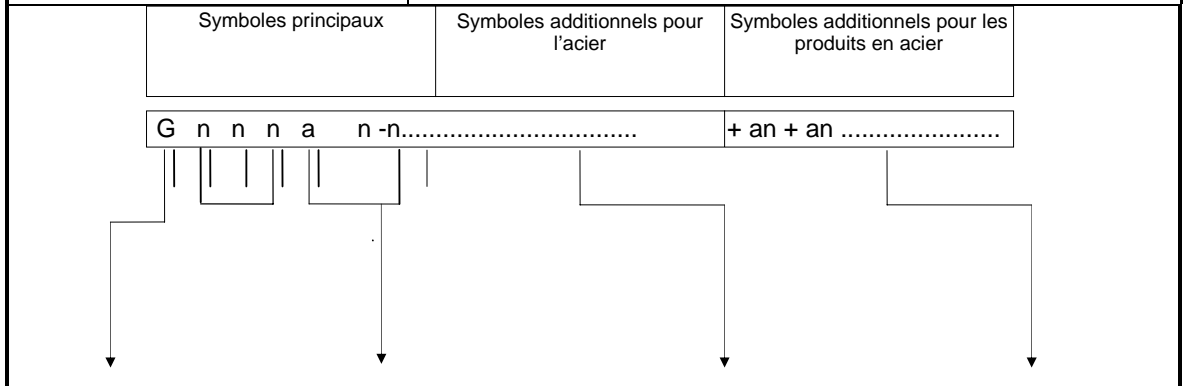
C		Aciers non alliés (à l'exclusion des aciers de décolletage) avec une teneur moyenne en manganèse < 1 %		
Symboles principaux		Symboles additionnels pour l'acier	Symboles additionnels pour les produits en acier	
G C n n n		an.....	+ an + an	
↓ ↓ ↓ ↓ ↓		↓ ↓ ↓ ↓ ↓	↓ ↓ ↓ ↓ ↓	
Symboles principaux		Symboles additionnels		
Lettre	Caractéristiques mécaniques	Pour l'acier		Pour les produits en acier
		Groupe 1 3)	Groupe 2	
G = acier modulé (si nécessaire) C = carbone	nnn = 100 x teneur moyenne spécifiée en carbone. Lorsque la teneur en carbone n'est pas spécifiée sous la forme d'une fourchette, une valeur représentative appropriée doit être choisie.	E = avec une teneur maximale en soufre spécifiée R = avec une fourchette de teneur et soufre spécifiée D = pour tréfilage du fil C = pour formage à froid par ex. frappe ou extrusion à froid S = pour ressorts U = pour outils W = pour fils électrodes G = autres caractéristiques suivies, lorsque nécessaire, par 1 ou 2 digits	an = symbole chimique de l'élément d'alliage spécifié, par exemple Cu avec éventuellement un seul digit représentant 10 fois la moyenne (arrondie à 0,1 %) de la fourchette spécifiée de cet élément.	Tableau 3

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
C 35 E
C 35 R

HS		Aciers rapides		
Symboles principaux		Symboles additionnels pour l'acier	Symboles additionnels pour les produits en acier	
H S n - n.....		+ an + an		
Symboles principaux		Symboles additionnels		
Lettre	Caractéristiques mécaniques	Pour l'acier		Pour les produits en acier
		Groupe 1 3)	Groupe 2	
HS = acier rapide	<p>n - n = nombres, séparés par un trait d'union, indiquant la teneur moyenne en % des éléments d'alliage dans l'ordre suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tungstène (W) - Molybdène (Mo) - Vanadium (V) - Cobalt (Co) 			Tableau 3

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
HS 2-9-1-8

Aciers non alliés avec une teneur en manganèse $\geq 1\%$;
 aciers non alliés de décolletage et aciers alliés (à l'exclusion
 des aciers rapides) dont la teneur de chaque élément
 d'alliage est $< 5\%$



Symboles principaux		Symboles additionnels												
Lettre	Caractéristiques mécaniques	Pour l'acier Éléments d'alliage		Pour les produits en acier										
		Groupe 1	Groupe 2											
G = acier moulé (si nécessaire)	nnn x 100 x teneur moyenne spécifiée en carbone lorsque la teneur en carbone n'est pas spécifiée par une fourchette, une valeur représentative appropriée doit être choisie	a = symboles chimiques indiquant les éléments d'alliage qui caractérisent l'acier, suivis par : n - n = nombres, séparés par un trait d'union, représentant respectivement la teneur moyenne en % des éléments multipliée par les facteurs suivants :		Tableaux 1,3										
		<table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Élément</th> <th style="text-align: center;">Facteur</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">Cr, Co, Mn, Si, W</td> <td style="text-align: center;">4</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, V, Zr</td> <td style="text-align: center;">10</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Ce N, P, S</td> <td style="text-align: center;">100</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">B</td> <td style="text-align: center;">1 000</td> </tr> </tbody> </table>		Élément	Facteur	Cr, Co, Mn, Si, W	4	Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, V, Zr	10	Ce N, P, S	100	B	1 000	
Élément	Facteur													
Cr, Co, Mn, Si, W	4													
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, V, Zr	10													
Ce N, P, S	100													
B	1 000													

Designation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10

28 Mn 6

X		Aciers alliés dont la teneur d'au moins un des alliages est $\geq 5\%$			
Symboles principaux		Symboles additionnels pour l'acier		Symboles additionnels pour les produits en acier	
G...X...n...n...n...a...n - n.....		+ an + an			
Symboles principaux		Symboles additionnels			
Lettre	Caractéristiques mécaniques	Éléments d'alliage	Pour l'acier		Pour les produits en acier
			Groupe 1	Groupe 2	
G = acier moulé X = la teneur d'au moins un des éléments d'alliage	nnn = 100 x teneur moyenne spécifiée en carbone. Lorsque la teneur en carbone n'est pas spécifiée par une fourchette, une valeur représentative appropriée doit être choisie	a = symboles chimiques indiquant les éléments d'alliage qui caractérisent l'acier, suivis par : n - n = nombres, séparés par un trait d'union, représentant respectivement la teneur moyenne en % des éléments arrondie à l'unité la plus proche			Tableaux 1, 3

Désignation symbolique conformément à l'EN 10027 - 1 et IC 10
X5 Cr Ni 18-10

TABLEAU 1 : EXEMPLES DE SYMBOLES INDIQUANT DES EXIGENCES SPECIALES

Symbole	Signification
+ C	Gros grain
+ F	Grain fin
+ H	Trempabilité
+ Z 15	Propriété garantie dans le sens de l'épaisseur : striction minimale = 15 %
+ Z 25	Propriété garantie dans le sens de l'épaisseur : striction minimale = 25 %
+ Z 35	Propriété garantie dans le sens de l'épaisseur : striction minimale = 35 %

NOTE : Les symboles sont séparés des symboles précédents par le signe (+). Voir 4.2.3. Ces symboles indiquent des exigences spéciales qui sont normalement des caractéristiques de l'acier. Cependant, pour des raisons pratiques, ils sont utilisés comme symboles pour les produits en acier.

TABLEAU 2 : EXEMPLES DE SYMBOLES INDIQUANT LE TYPE DE REVETEMENT

Symbole	Signification
+ A	Revêtement d'aluminium par immersion à chaud
+ AR	Revêtement d'aluminium par placage
+ AS	Revêtement d'alliage aluminium - silicium
+ AZ	Revêtement d'alliage zinc - aluminium (< 50 % Al)
+ CE	Revêtement électrolytique de chrome/oxyde de chrome (ECCS)
+ CU	Revêtement de cuivre
+ IC	Revêtement inorganique
+ OC	Revêtement organique
+ S	Revêtement d'étain par immersion à chaud
+ SE	Revêtement électrolytique d'étain
+ T	Revêtement d'alliage plomb-étain par immersion à chaud (galvanisation)
+ TE	Revêtement électrolytique d'alliage plomb-étain
+ Z	Revêtement de zinc par immersion à chaud (galvanisation)
+ ZA	Revêtement de zinc-aluminium (> 50 % Zn) par immersion à chaud
+ ZE	Revêtement électrolytique de zinc
+ ZF	Revêtement de zinc-fer par immersion à chaud
+ ZN	Revêtement électrolytique d'alliage zinc-nickel

NOTE : Les symboles sont séparés des symboles précédents par le signe (+)
Pour éviter une confusion avec d'autres symboles, la lettre S peut être utilisée comme préfixe à ces symboles, par exemple : + SA

TABLEAU 3 : EXEMPLES DE SYMBOLES INDIQUANT UNE CONDITION DE TRAITEMENT

Symbole	Signification
+ A	Revêtement d'aluminium par immersion à chaud
+ AC	Revêtement d'aluminium par placage
+ AT	Revêtement d'alliage aluminium - silicium
+ C	Revêtement d'alliage zinc - aluminium (< 50 % Al)
+ C nnn	Revêtement électrolytique de chrome/oxyde de chrome (ECCS)
+ CR	Revêtement de cuivre
+ HR	Revêtement inorganique
+ LC	Revêtement organique
+ M	Revêtement d'étain par immersion à chaud
+ N	Revêtement électrolytique d'étain
+ NT	Revêtement d'alliage plomb-étain par immersion à chaud (galvanisation)
+ Q	Revêtement électrolytique d'alliage plomb-étain
+ QA	Revêtement de zinc par immersion à chaud (galvanisation)
+ QO	Revêtement de zinc-aluminium (> 50 % Zn) par immersion à chaud
+ QT	Revêtement électrolytique de zinc
+ QW	Revêtement de zinc-fer par immersion à chaud
+ S	Revêtement électrolytique d'alliage zinc-nickel
+ T	Revenu
+ U	Non traité

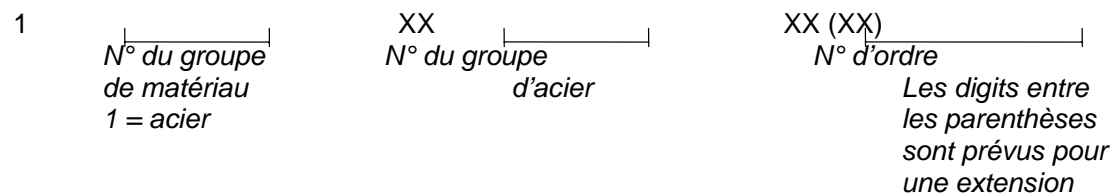
NOTE : Les symboles sont séparés des symboles précédents par le signe (+).
Pour éviter une confusion avec d'autres systèmes, la lettre T peut être utilisée comme préfixe à ces symboles, par exemple : + TA

17. DESIGNATION NUMERIQUE NF EN 10027.2

Ce système est complémentaire à la norme 10027.1. L'application de cette norme est obligatoire pour les nuances d'aciers définies dans les normes européennes. Elle est facultative pour les nuances d'aciers nationales.

Les numéros d'aciers établis conformément à ce système ont un nombre fixe de digits. Ils sont en conséquence mieux adaptés pour le traitement de données que les noms des aciers établis selon la partie 1 de la norme EN 10027.

STRUCTURE DES NUMEROS D'ACIERS



18. DESIGNATION NORMALISEE

18.1. FONTES A GRAPHITE LAMELLAIRE

18.1.1. Désignation numérique

Après le préfixe EN, les fontes sont désignées par le symbole JL suivi d'un code numérique.

Exemple: EN-JL 1010.

FONTES À GRAPHITE LAMELLAIRE		
Numérique	Symbolique	Emplois
EN-JL 1010	EN-GJL-100	Bonne moulabilité - Bonne usinabilité
EN-JL 1020	EN-GJL-150	Bonne résistance à l'usure par frottement
EN-JL 1030	EN-GJL-200	Bon amortissement des vibrations
EN-JL 1040	EN-GJL-250	Bonnes caractéristiques mécaniques et frottantes - Bonne étanchéité (blocs moteurs, engrenages...)
EN-JL 1050	EN-GJL-300	
EN-JL 1060	EN-GJL-350	

18.1.2. Désignation symbolique

Après le préfixe EN, les fontes sont désignées par le symbole GJL suivi de la valeur en mégapascals* de la résistance minimale à la rupture par extension.

Exemple: EN-GJL 100.

18.2. FONTES MALLEABLES FONTES A GRAPHITE SPHEROÏDAL

18.2.1. Désignation numérique

Après le préfixe EN, les fontes sont désignées par le symbole JM ou JS suivi d'un code numérique.

Exemple: EN-JS 1010 (fonte à graphite sphéroïdal)

FONTES MALLÉABLES		
Numérique	Symbolique	Emplois
EN-JM 1010	EN-GJMW-350-4	Malléabilité améliorée (pièces complexes).
EN-JM 1030	EN-GJMW-400-5	
EN-JM 1040	EN-GJMW-450-7	
EN-JM 1050	EN-GJMW-550-4	Bonne résilience.
EN-JM 1110	EN-GJMB-300-6	Bonne usinabilité.
EN-JM 1130	EN-GJMB-350-10	Bon amortissement des vibrations.
EN-JM 1140	EN-GJMB-450-6	Très bonnes caractéristiques mécaniques.
EN-JM 1150	EN-GJMB-500-5	
EN-JM 1160	EN-GJMB-550-4	
EN-JM 1170	EN-GJMB-600-3	
EN-JM 1180	EN-GJMB-650-2	
EN-JM 1190	EN-GJMB-700-2	Bonne résistance à l'usure.

18.2.2. Désignation symbolique

Après le préfixe EN, les fontes désignées par le symbole (GJMW, GJMB, GJS) suivi de valeur en mégapascals* de la résistance minimale à la rupture par extension et du pourcentage de l'allongement après rupture.

Exemple : EN-GJS-350-22

FONTES À GRAPHITE SPHÉROÏDAL		
Numérique	Symbolique	Emplois
EN-JS 1010	EN-GJS-350-22	Bonne résilience. Très bonne usinabilité (vannes, vérins...)
EN-JS 1020	EN-GJS-400-18	
EN-JS 1030	EN-GJS-400-15	
EN-JS 1040	EN-GJS-450-10	
EN-JS 1050	EN-GJS-500-7	
EN-JS 1060	EN-GJS-600-3	
EN-JS 1070	EN-GJS-700-2	Très bonnes caractéristiques mécaniques. Bonne résistance à l'usure. Bonnes qualités frottantes.
EN-JS 1080	EN-GJS-800-2	
EN-JS 1090	EN-GJS-900-2	

sont
la

LES PROPRIETES

SOMMAIRE



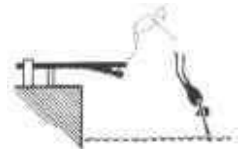
1. PROPRIETES PHYSIQUES DES METAUX



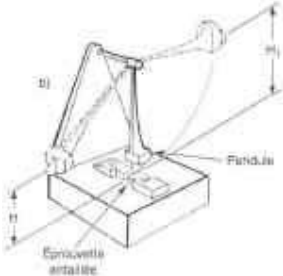

19. PROPRIETES PHYSIQUES DES METAUX

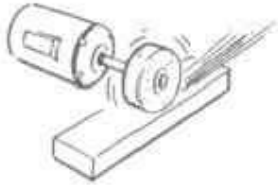
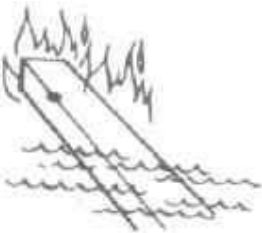
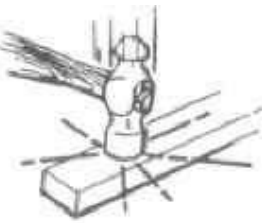
Les métaux se distinguent par des caractéristiques particulières qui déterminent leur soudabilité et leurs utilisations. Aujourd'hui, la plupart des métaux utilisées sont des alliages. Un alliage est un mélange d'un métal de base avec un autre métal dans le but d'améliorer ses propriétés physiques

Les métaux ferreux, qui contiennent du fer. Par exemple, l'acier doux, la fonte, les aciers alliés et les aciers inoxydables sont des métaux ferreux.

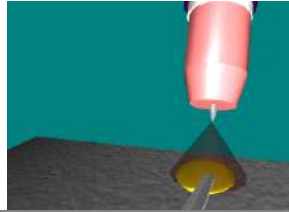
Les métaux non ferreux, qui ne contiennent pas de fer. L'aluminium, le cuivre et le magnésium comptent parmi ces métaux.

<p style="text-align: center;">Fragilité</p> 	<p>Un métal fragile est un métal qui se rompt au lieu de se déformer. Le verre, la fonte, le béton et les céramiques sont d'excellents exemples de matériaux fragiles. Ils ne supportent pas les efforts de pliage et se brisent lors d'un choc ou impact.</p>
<p style="text-align: center;">Ductilité</p> 	<p>Un matériau est dit ductile lorsqu'il peut être étiré, allongé ou déformé sans se rompre. Des métaux comme l'or, le cuivre et l'acier doux sont ductiles.</p>
<p style="text-align: center;">Élasticité</p> 	<p>L'élasticité d'un métal désigne sa capacité à reprendre sa forme, tel un ressort que vous étirez et relâchez. La limite d'élasticité représente le point à partir duquel la pièce est déformée de manière permanente.</p>

<p style="text-align: center;">Dureté</p> 	<p>La dureté d'un matériau est définie comme la résistance qu'il oppose à la pénétration d'un corps plus dur que lui. Par exemple, l'acier est plus dur que l'aluminium, car il est plus difficile à rayer. En d'autres termes, la dureté dépend de la facilité avec laquelle un corps peut déformer ou détruire la surface d'un matériau en y pénétrant.</p>
<p style="text-align: center;">Malléabilité</p> 	<p>La malléabilité est la facilité avec laquelle un matériau se laisse façonner, étendre et aplatir en feuille mince sous un effort de compression. Les procédés de compression sont le forgeage (martèlement) et le laminage (rouleau compresseur). L'or, l'argent, le fer blanc et le plomb sont très malléables. La malléabilité croît avec l'augmentation de la température.</p>
<p style="text-align: center;">Ténacité</p> 	<p>Cette propriété est en quelque sorte le contraire de la fragilité. Connue aussi sous le terme de "résilience", la ténacité est la capacité d'un matériau à résister à la rupture sous l'effet d'un choc. Par exemple, l'acier est plus tenace que la fonte, et la fonte plus tenace que le verre. Les machinistes-outilleurs œuvrant dans la fabrication de systèmes de poinçon et de matrices en acier connaissent fort bien l'importance de cette propriété. Lorsque les systèmes ont pour fonction de découper des plaques d'acier par poinçonnage, il faut que les poinçons résistent bien aux chocs, sans se briser ni s'écailler, étant donné le rythme de production de plus en plus élevé.</p>
<p style="text-align: center;">Résistance à la corrosion</p> 	<p>La résistance à la corrosion désigne la capacité d'un matériau de ne pas se dégrader sous l'effet de la combinaison chimique de l'oxygène de l'air et du métal. Les alliages d'acier au nickel-chrome (aciers inoxydables), d'aluminium-silicium-magnésium et d'aluminium-zinc résistent tous bien à la corrosion.</p>
<p style="text-align: center;">Résistance à l'abrasion</p>	<p>La résistance à l'abrasion désigne la résistance d'un corps dur à l'usure par frottement. Plus un matériau est dur, plus il résiste à l'abrasion. Les aciers à outils (à haute teneur en carbone), les aciers inoxydables et les aciers rapides (aciers</p>

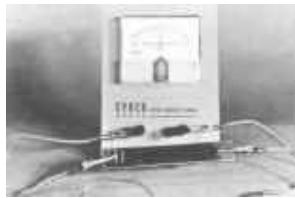
	<p>alliés très durs) présentent une bonne résistance à l'abrasion. Par exemple, pour meuler un acier à outils, on choisit une meule différente de celle qu'on utilise pour de l'aluminium, qui, lui a très peu de résistance à l'abrasion.</p>
<p>Dilatation et contraction thermiques</p> 	<p>D'une manière générale, les matériaux subissent un allongement sous l'effet de la chaleur ; c'est la dilatation. À l'opposé, ils subissent un raccourcissement sous l'effet de froid ; il s'agit de la contraction. Les matériaux ne réagissent pas tous de la même façon sous une même température, car ils ont des coefficients thermiques différents. Par exemple, l'aluminium peut se dilater environ deux fois plus que l'acier sous une même variation de température.</p>
<p>Le magnétisme</p>	<p>Le magnétisme est la propriété des métaux ferreux d'être attirés par les aimants. Seuls les métaux ferreux sont sensibles aux aimants. Les métaux ne contenant pas de fer, comme le cuivre, l'aluminium et le laiton ne sont donc pas soumis aux effets du magnétisme.</p>
<p>Fatigue</p> 	<p>La fatigue est la détérioration d'un matériau soumis à des charges répétées. Ces sollicitations répétées se terminent souvent par une rupture. Même si les forces de sollicitations ne sont pas importantes, elles finissent par provoquer la rupture. Il existe de nombreux exemples de rupture sous l'effet de fatigue. Pensez, par exemple, aux ailes d'avions, aux pièces de transmission, aux vilebrequins, etc. Les charges variables et les conditions de fonctionnement répétitives sollicitent ces éléments constamment.</p>

Point de fusion



Le point de fusion d'un métal est la température à laquelle il passe à l'état liquide sous l'action de la chaleur. Le point de fusion d'un métal détermine en grande partie sa soudabilité. Les métaux dont le point de fusion est bas exigent moins de chaleur pour être soudés.

Conductivité



La conductivité est la capacité d'un matériau de conduire ou de transférer la chaleur ou l'électricité. La conductivité thermique est particulièrement importante en soudage, puisqu'elle détermine la vitesse à laquelle le métal transfère la chaleur depuis la zone thermiquement affecté (ZTA). La conductivité thermique d'un métal permet de déterminer le préchauffage nécessaire et la quantité de chaleur requise pour le soudage. Parmi les métaux usuels, le cuivre possède la meilleure conductivité thermique. L'aluminium possède environ la moitié de la conductivité du cuivre, et les aciers, seulement environ un dixième.

La conductivité électrique est surtout importante lorsqu'il s'agit de souder des métaux grâce à des procédés électriques. Plus la température augmente, plus la conductivité électrique diminue. La conductivité électrique s'exprime généralement en pourcentage en fonction du cuivre.

ESSAIS MECANIQUES

SOMMAIRE

- 1. ESSAI D'EMBOUTISSAGE**
- 2. ESSAIS D'ENDURANCE**
- 3. ESSAI DE FLUAGE**
- 4. ESSAI DE RESILIENCE ET DE FLEXION PAR CHOC**
- 5. ESSAI DE TRACTION**
- 6. ESSAI DE DURETE**

20. ESSAI D'EMBOUTISSAGE

Ils se font à l'aide d'un appareil hydraulique à huile.

Ils consistent à emboutir sans à-coup, une éprouvette bloquée entre un serre-flan et une matrice au moyen d'une bille ou d'un poinçon à tête sphérique, jusqu'à l'apparition d'une amorce de rupture du métal. On mesure à cet instant la profondeur d'emboutissage. Le nombre, exprimant cette mesure en millimètres, constitue *l'indice d'emboutissage*.

Par convention, il y a amorce de rupture lorsqu'apparaît sur l'éprouvette une fissure qui intéresse toute son épaisseur et laisse passer la lumière.

Les résultats de ces essais ne sont pas en relation étroite avec les résultats pratiques de l'emboutissage industriel. Les essais d'emboutissage renseignent sur la plasticité du métal et permettent de faire des comparaisons utiles entre différents échantillons.

20.1. L'ESSAI D'EMBOUTISSAGE PERSOZ

Il est pratiqué sur des tôles d'épaisseur maximale 4 mm.

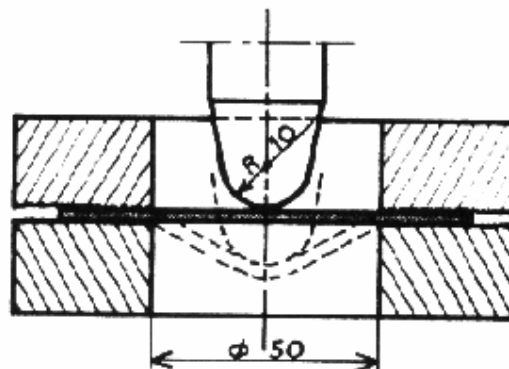
L'éprouvette carrée ([] 90 mm) ou circulaire (\varnothing 90 mm) **est maintenue énergiquement entre les mâchoires striées** de la matrice et du serre-flan.

L'emboutissage s'effectue à une vitesse comprise entre 5 et 20 mm par minute.

La profondeur d'emboutissage exprimée en millimètres au moment de l'amorce de rupture constitue **l'indice Persos I_p** .

FIGURE 1

PRINCIPE DE L'ESSAI PERSOZ



20.2. L'ESSAI ERICHSEN (FIG 2)

Il est pratiqué sur des tôles d'une épaisseur maximale 2 mm.

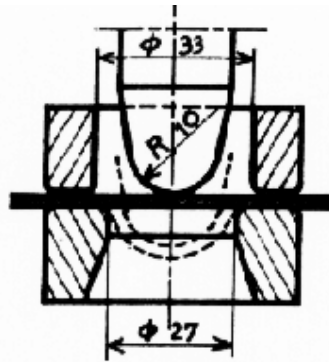
L'éprouvette est constituée par un carré ayant au moins 70 mm de côté. Elle est maintenue, mais non bloquée entre deux bagues avec un jeu initial de 0,05 mm.

L'emboutissage s'effectue à une vitesse comprise entre 5 et 20 mm par minute.

La profondeur d'emboutissage, exprimée en millimètres, au moment de l'avance de rupture constitue l'indice Erichsen I_E .

FIGURE 2

PRINCIPE DE L'ESSAI ERICHSEN



20.3. A FLANS BLOQUES (FIG 3)

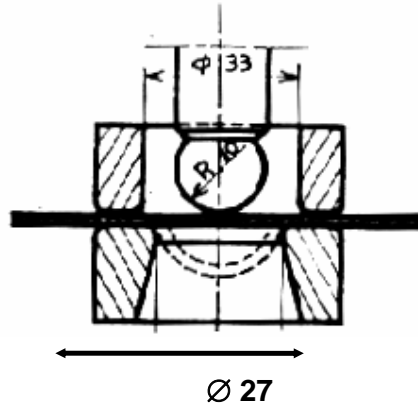
Sensiblement semblable à l'essai Erichsen, il peut s'exécuter sur la même machine. Il en diffère par la forme et les dimensions de la matrice.

L'éprouvette (disque ou carré de diamètre ou côté de 90 mm minimal), **est bloquée énergiquement entre les faces planes et polies** du serre-flan et de la matrice. La force de serrage est d'environ 10 kN.

L'essai doit être exécuté à une température comprise entre 10° C et 40° C.

Le résultat de l'essai (profondeur d'emboutissage) est exprimé par l'indice d'emboutissage IE.

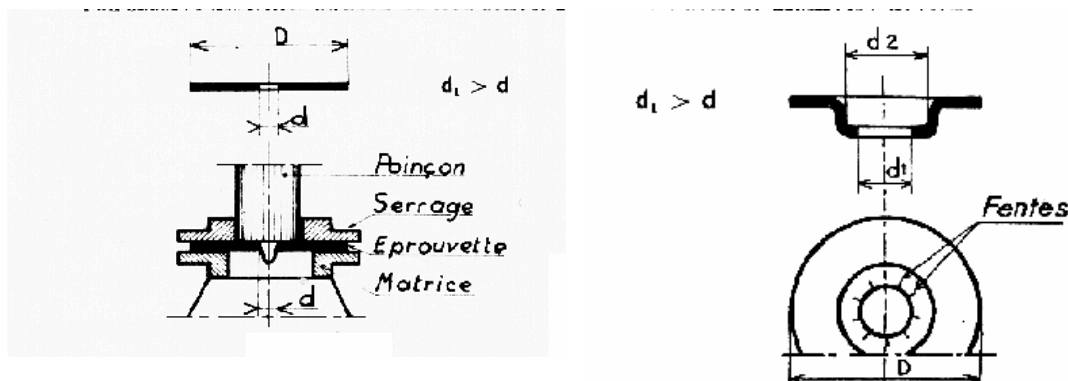
FIGURE 3
PRINCIPE DE L'ESSAI D'EMBOUTISSAGE A FLANS BLOQUES



20.4. ESSAI D'EMBOUTISSAGE KWI

Cet essai diffère des précédents par la forme du poinçon dont la tête est plane et par la préparation de l'éprouvette.

L'éprouvette, percée à un diamètre d , est serrée fortement pour éviter tout glissement sur la matrice (fig. 4 et 5). La méthode consiste à emboutir la tôle sous forme de coupelle cylindrique, de profondeur variable, jusqu'au moment où l'on observe des fentes au bord du trou dont le diamètre devient plus grand, soit d_1 .



La capacité d'emboutissage du métal essayé est fonction de son allongement plastique qui est proportionnel à la différence des diamètres d_1 et d . Il est donné par la relation :

$$\frac{d_1 - d}{d} \times 100$$

21. ESSAIS D'ENDURANCE

Les essais usuels, effectués à vitesse lente donnent des caractéristiques intéressantes, certes mais insuffisantes pour renseigner le concepteur quant à la tenue du matériau soumis à des efforts dynamiques.

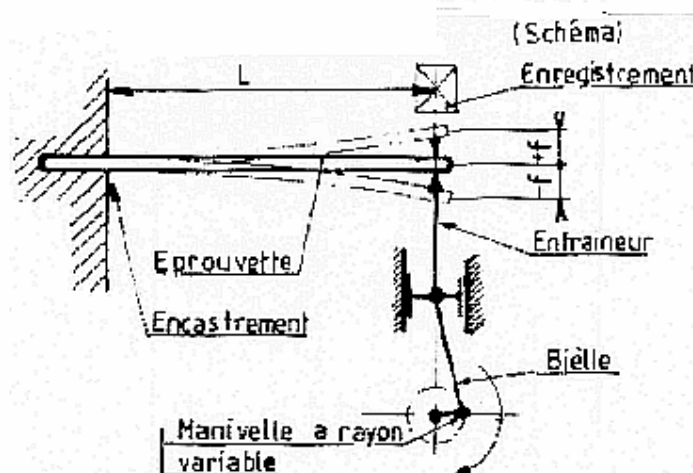
En effet, on constate que des pièces soumises à des efforts variables, se cassent après un certain temps de fonctionnement. Bien que les dimensions des pièces aient été calculées de façon à ce que le matériau constitutif travaille en dessous de la limite conventionnelle d'élasticité, la rupture survient brutalement sans qu'une déformation préalable ne soit visible. On dit que la pièce s'est rompue par fatigue.

De manière à éviter cet inconvénient, des essais spéciaux, les essais de fatigue, sont effectués pour déterminer les caractéristiques des pièces soumises à des efforts variables.

21.1. ESSAI DE FLEXION ALTERNEE (FIG. 1)

Sous l'action de l'excentrique, l'éprouvette, à chaque tour, est sollicitée successivement vers le haut et vers le bas.

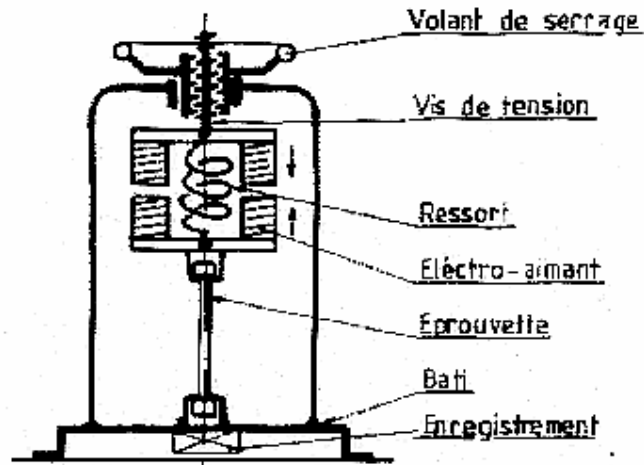
FIGURE 1
FLEXION ALTERNEE



21.2. ESSAI DE FATIGUE PAR CHARGE AXIALE (A03401)

La fig. 2 schématise une machine de traction axiale à effort variable. L'éprouvette est mise sous tension par le système vis-écrou agissant sur le ressort. L'électro-aimant fait varier la tension du ressort de manière continue et par suite l'effort de traction sur l'éprouvette.

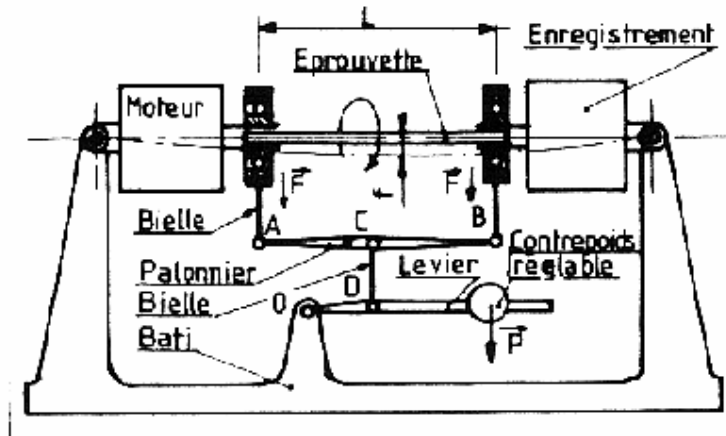
FIGURE 2
TRACTION VARIABLE



21.3. ESSAI DE FATIGUE PAR FLEXION ROTATIVE (A03402)

La fig. 3 schématise une machine de flexion rotative. Sous l'action des contrepoids P , réglable, des forces F sont exercées sur l'éprouvette par l'intermédiaire de la bielle CD et du palonnier AB . L'éprouvette qui tourne à grande vitesse (3000 tr/min) est déformée sous l'action de ces forces.

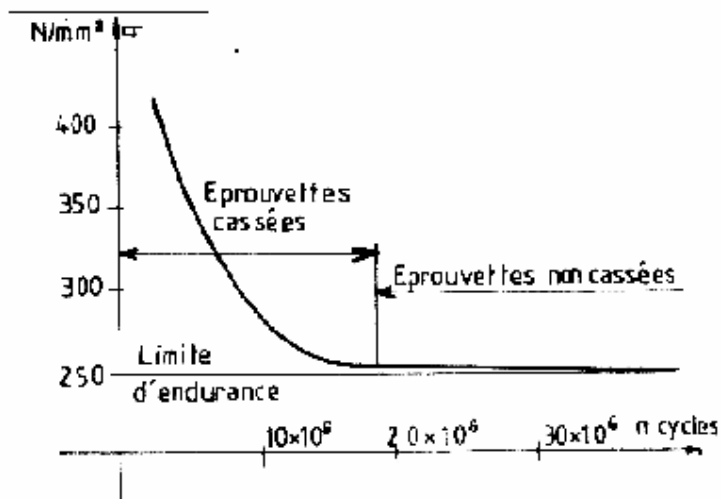
FIGURE 3
FLEXION ROTATIVE (SCHEMA)



21.4. INTERPRETATION DES RESULTATS (FIG 4)

La partie horizontale de la courbe correspond à un nombre d'alternances et une contrainte pour lesquelles il n'y a plus de rupture des éprouvettes. Cette partie caractérise la limite de fatigue.

FIGURE 4
COURBE DE WOHLER



22. ESSAI DE FLUAGE

22.1. DEFINITION DU FLUAGE

Le fluage est une déformation plastique observée au cours du temps, à température et sous charge constantes.

22.2. LES ESSAIS DE FLUAGE

Ils permettent de déterminer le taux de travail auquel peuvent être soumis les matériaux sollicités par des efforts statiques et de définir les valeurs des efforts et des températures admissibles, ainsi que les déformations permanentes acceptables.

L'essai de fluage classique consiste à appliquer à une éprouvette portée à une température maintenue constante, une charge constante et à mesurer l'allongement de cette éprouvette en fonction du temps.

Généralement, l'essai est poursuivi jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

22.3. EPROUVETTE D'ESSAI

Elles sont soit cylindriques, soit plates, c'est-à-dire prélevées dans la tôle.

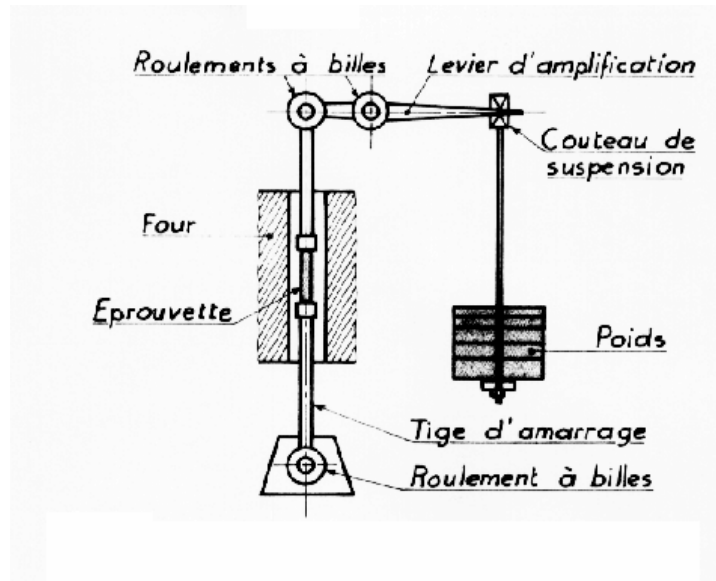
22.4. MACHINES D'ESSAI

22.4.1. Application de la Charge

Pour les charges très faibles avec des températures élevées, la charge est appliquée directement sur l'éprouvette.

Généralement, la charge est appliquée, à l'éprouvette, au moyen de poids, par l'intermédiaire d'un levier amplificateur (amplification variant de 8 à 20) (fig 1).

FIGURE 1
SCHEMA DE PRINCIPE DE L'ESSAI DE FLUAGE



22.4.2. Chauffage

L'éprouvette est chauffée dans un four électrique à résistance équipé d'un régulateur de température dont la longueur est très grande par rapport à l'éprouvette.

22.4.3. Enregistrement de l'Allongement

Il se fait au moyen d'un extensomètre mécanique. Deux palpeurs fixés aux extrémités de l'éprouvette transmettent le mouvement relatif d'une tête par rapport à l'autre à un levier muni d'une plume qui inscrit la courbe d'allongement en fonction du temps, sur un papier fixé sur un tambour. La déformation de l'éprouvette est amplifiée, généralement de 100 fois.

FIGURE 2
COURBE D'ALLONGEMENT EN FONCTION DU TEMPS

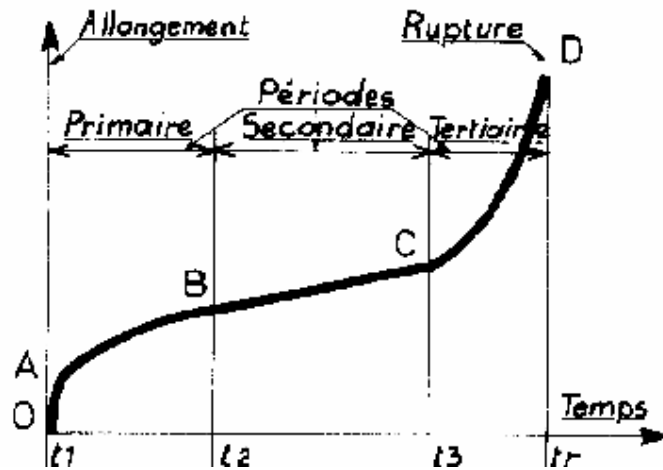
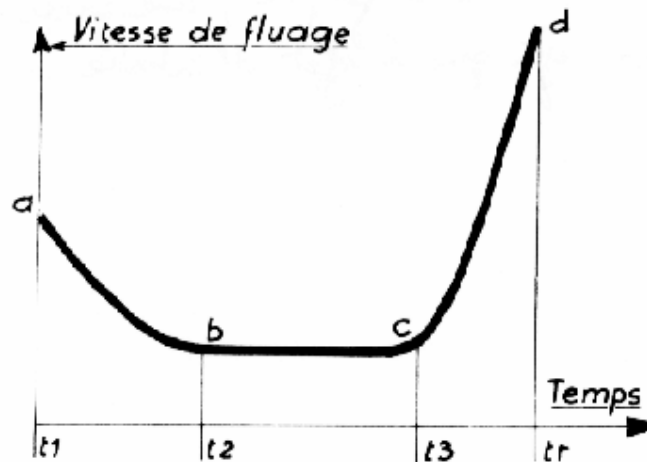


FIGURE 3
COURBE DE LA VITESSE DE FLUAGE EN FONCTION DU TEMPS



22.5. DIAGRAMME D'ESSAI

Sur la figure 2, on remarque :

- la première partie OA correspond à un allongement quasi spontané pendant la mise sous charge, **c'est une déformation élastique** ;
- dans la partie AB, la vitesse de fluage, c'est-à-dire l'allongement par unité de temps, décroît puis reste à peu près constante dans la partie BC ; dans le tronçon CD, la vitesse de fluage augmente rapidement jusqu'à la rupture de l'éprouvette (fig. 3).

La durée de l'essai est d'autant plus courte que la température est plus élevée ou la charge plus importante. Pour un effort faible, le point C peut n'apparaître qu'après plusieurs dizaines de milliers d'heures.

23. ESSAI DE RESILIENCE ET DE FLEXION PAR CHOC

23.1. ESSAI DE RESILIENCE CHARPY DE L'ACIER (NFA 03.156)

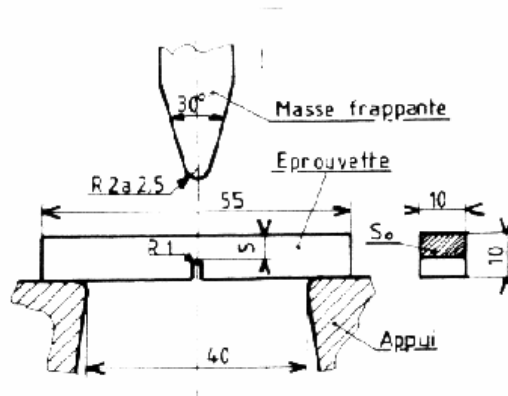
23.1.1.Principe de l'Essai (Fig. 1)

Il consiste à rompre d'un seul coup une éprouvette entaillée en son milieu et reposant sur 2 appuis. On mesure l'énergie de rupture.

23.1.2.Eprouvette

Elle est entièrement usinée : ses dimensions sont données sur la fig. 1.

FIGURE 1 ESSAI DE RESILIENCE
So : Section utile de l'éprouvette



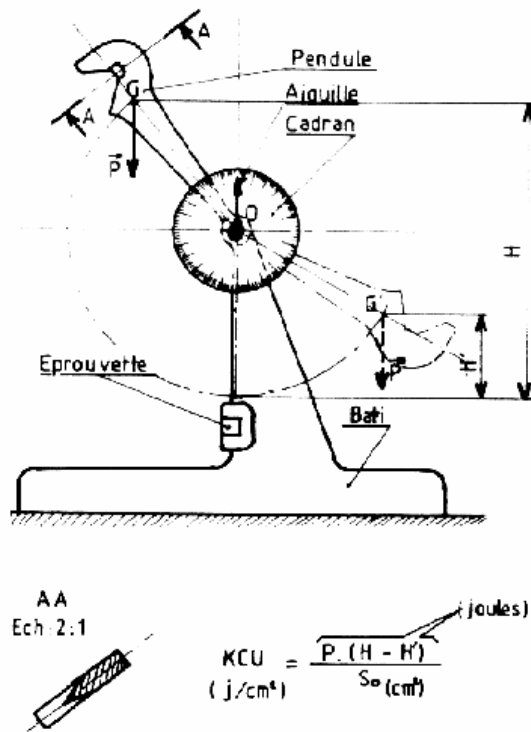
23.1.3.Machine (Figure 2)

La masse frappante constitue un pendule articulé en O sur le bâti.

L'éprouvette est placée sur 2 appuis en partie basse de façon à ce que le plan d'oscillation du pendule coïncide avec le plan médian de l'entaille pratiquée sur l'éprouvette.

Un crochet maintient le pendule en position haute.

L'aiguille est entraînée en rotation par le pendule : elle ne peut revenir en arrière.

FIGURE 2 : Mouton Pendule de Charpy (Schéma)

23.1.4. Conduite de l'Essai

Le crochet relevé, le pendule lâché vient briser brutalement l'éprouvette en continuant sur sa lancée remonte jusqu'en G' en fonction de l'énergie encore disponible. Il oscille et s'immobilise en partie basse. L'aiguille entraînée pendant la descente donne l'angle maximum de déplacement.

23.1.5. Caractéristiques

Energie au départ :

$$W = P \times h$$

Energie résiduelle après rupture :

$$W' = P \times h' = W - W''$$

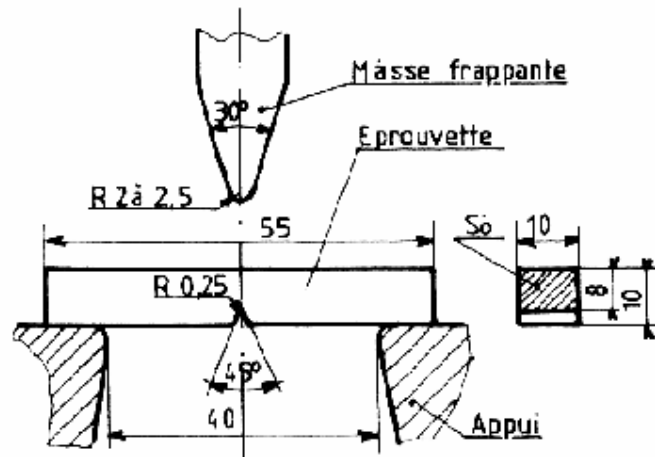
KV énergie absorbée par la rupture = P (h - h')

$$\text{Résilience KCU (joules/cm}^2\text{)} = \frac{KV \text{ (joules)}}{S_0 \text{ (cm}^2\text{)}}$$

23.2. ESSAI DE FLEXION PAR CHOCS DE L'ACIER (NFA 03161)

L'essai est conduit comme celui décrit ci-dessus. L'éprouvette est légèrement différente (fig. 3).

FIGURE 3 Essai de Flexion par choc



Nota : Quel que soit l'essai, résilience ou flexion, ne peut tenir compte des résultats que dans la mesure où il y a rupture de l'éprouvette.

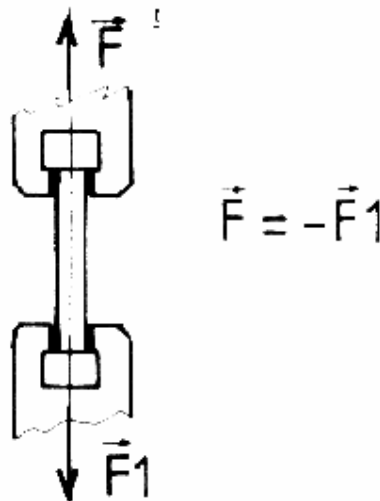
24. ESSAI DE TRACTION

24.1. PRINCIPE DE L'ESSAI (FIG 1)

L'éprouvette, de section circulaire, carrée ou rectangulaire, est soumise à deux forces égales et opposées appliquées suivant son axe.

Sous l'action de ces forces qui croissent progressivement, l'éprouvette s'allonge jusqu'à rupture en vue de déterminer une ou plusieurs caractéristiques mécaniques du matériau étudié.

FIGURE 1
ESSAI DE TRACTION



24.2. EPROUVETTES (FIG 2 ET 3)

Elles comportent une partie calibrée soigneusement polie. Cette zone centrale est raccordée aux extrémités par des congés de rayon R.

Les têtes d'amarrage, non normalisées, sont adaptées aux mâchoires de la machine de traction.

FIGURE 2
EPROUVETTE CIRCULAIRE

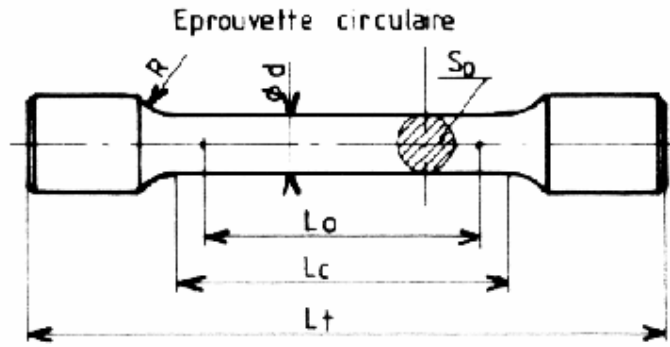
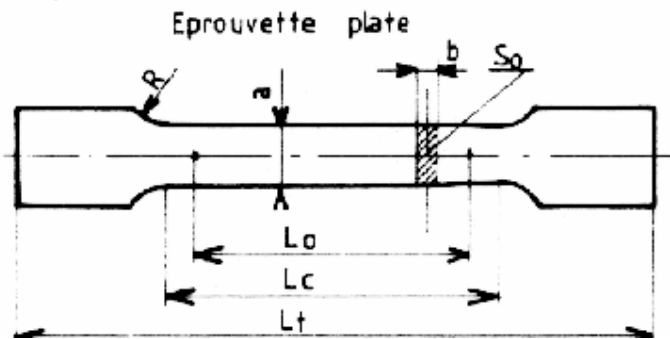


FIGURE 3
EPROUVETTE PLATE



24.3. FORMES ET DIMENSIONS DE LA PARTIE CALIBREE

So : Section circulaire de diamètre d

So : Section rectangulaire $\frac{a}{b} \leq \frac{8}{1}$

Lc : Longueur calibrée :

$$L_o + \frac{d}{2} \leq L_c \leq L_o + 2d$$

Lo : longueur entre repères : il s'agit de la longueur utilisée pour l'étude de l'allongement.

Suivant la puissance des machines de traction les éprouvettes de section circulaire doivent satisfaire à la relation.

$$L_o = k\sqrt{S_o} \text{ avec } k = 5,65$$

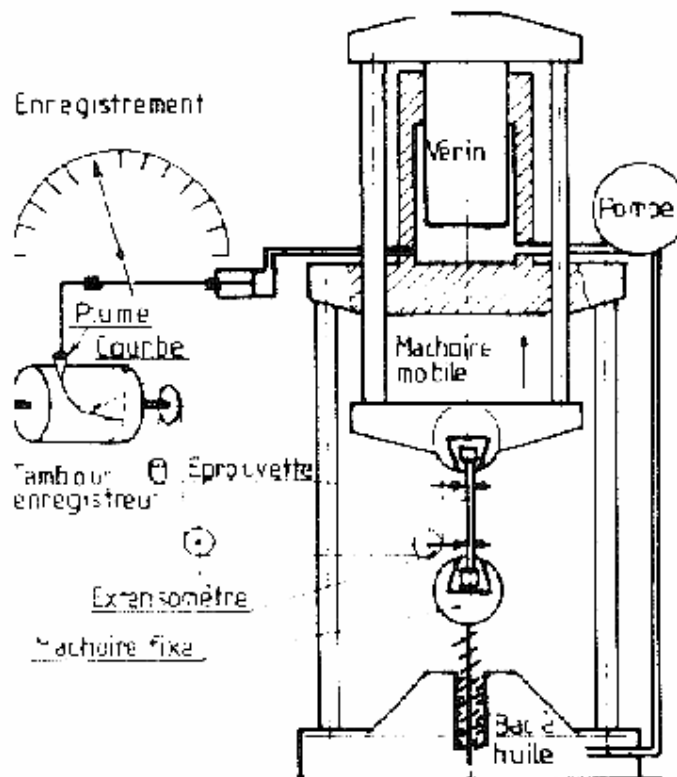
24.4. MACHINE DE TRACTION

Essentiellement deux mâchoires dans lesquelles sont maintenues les têtes d'amarrage de l'éprouvette.

Sous l'action du mécanisme (machines de traction mécaniques) ou sous l'effet de la pression de l'huile (machines de traction à piston) ces mâchoires s'écartent exerçant ainsi les forces de traction suivant l'axe de l'éprouvette.

Des appareils adaptés à la machine de traction (dynamomètre, manomètre, enregistreur) permettent de mesurer et d'enregistrer à tout instant la charge et l'allongement correspondant de l'éprouvette.

FIGURE 4
MACHINE DE TRACTION (SCHEMA)



24.5. CONDUITE DE L'ESSAI (FIG 5)

L'éprouvette est mise en place ①, la charge est appliquée progressivement. Trois périodes sont mises en évidence par le diagramme.

24.5.1. Allongements Élastiques (éprouvette ②)

Si la charge est supprimée, l'éprouvette revient à sa longueur initiale L_0 : les déformations sont élastiques.

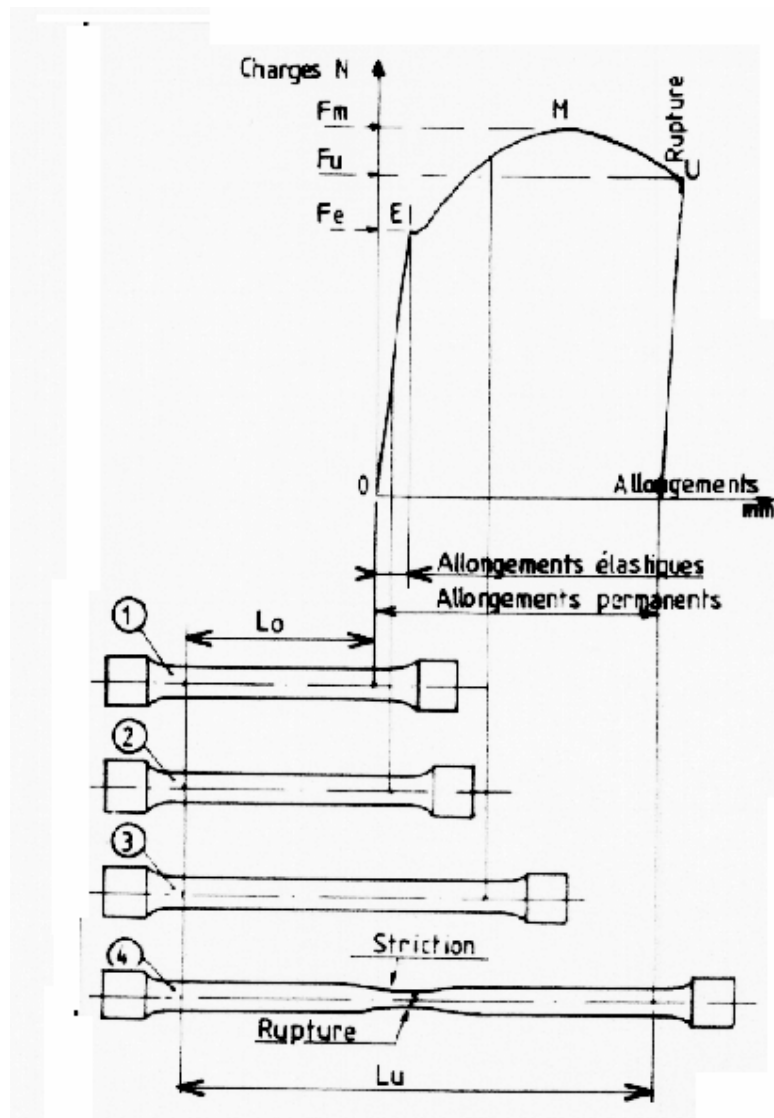
La partie OE du diagramme montre que les allongements sont proportionnels aux charges.

24.5.2. Allongements Permanents (éprouvette ③)

Au-delà d'une certaine valeur de la charge, on constate que les allongements croissent plus vite que les charges. Si on supprime la force de traction, l'éprouvette ne revient pas à sa longueur initiale : il y a déformation permanente.

24.5.3. Striction Rupture (éprouvette ④)

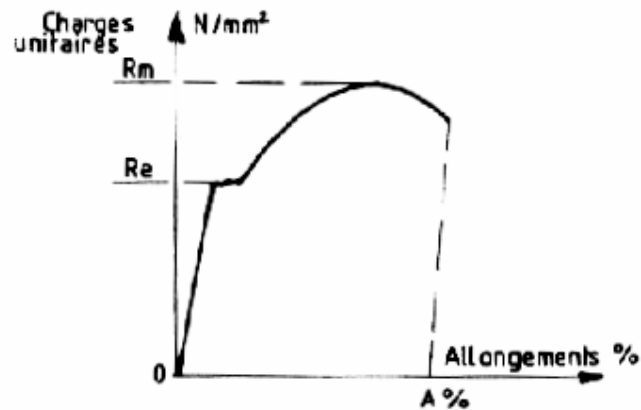
L'essai continue et l'éprouvette se rompt après étranglement. On notera qu'il y a réduction du diamètre tout au long de l'essai : cet étranglement nettement visible est appelé «striction».

FIGURE 5

F_e : charge limite apparente d'élasticité N
 F_u : charge ultime
 F_m : charge maximum
 L_u : longueur ultime (les deux parties sont soigneusement rapprochées pour la mesure) (mm).

24.6. QUELQUES CARACTERISTIQUES (FIG 6)

FIGURE 6
DIAGRAMME DES CONTRAINTES



Rm ou R : Résistance à la traction

$$R_m = R = F_m \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

Re : Résistance élastique

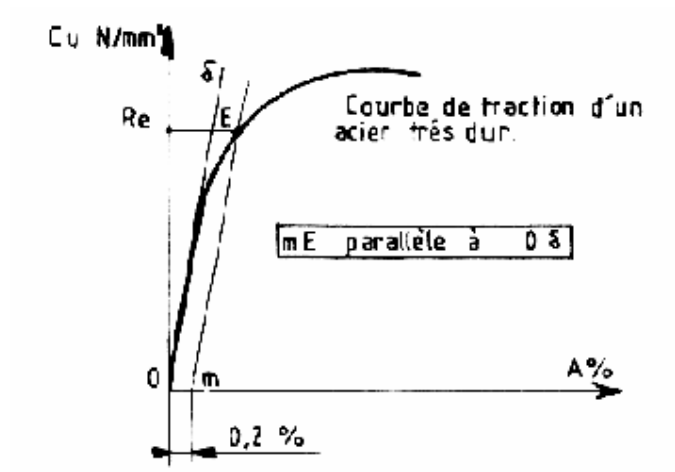
$$R_e = \frac{F_e}{S_0} \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

A % : Allongement en %

$$A \% : \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100$$

Nota : Lors de certains essais F_e et par suite R_e ne sont pas apparents (fig 7). On convient de tracer une parallèle à la partie rectiligne de la courbe pour un allongement de 0,2 %. L'intersection de cette parallèle avec la courbe donne la limite conventionnelle d'élasticité.

FIGURE 7
COURBE DE TRACTION D'UN ACIER TRES DUR



25. ESSAI DE DURETE

Définition :

Les essais de dureté sont des essais de pénétration, ils se différencient en fonction du pénétrateur et de la charge adoptée.

25.1. ESSAI DE DURETE BRINELL DE L'ACIER (NFA 03152)

25.1.1.Principe de l'Essai (Fig 1)

Il consiste à imprimer dans le matériau à étudier, une bille de diamètre D sous l'effet d'une charge F. Le diamètre de l'empreinte qui subsiste sur la surface après suppression de la charge est soigneusement mesuré.

Le dureté Brinell est caractérisée par un nombre donné par le rapport :

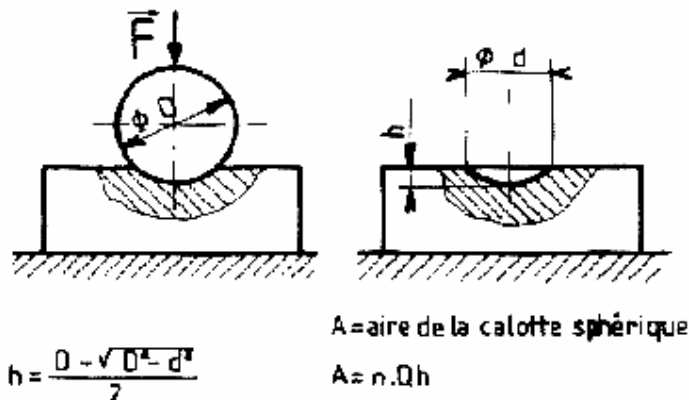
$$\text{Dureté Brinell} = \frac{\text{Charge } (N)}{A(\text{calotte sphérique} - \text{Empreinte})}$$

Pénétrateur

Le diamètre de la bille ne peut être inférieur à 1 mm. Diamètres et tolérances sont fixés par la norme : $\varnothing 10$; 5 ; 2,5 ; 2 ; 1.

Les billes sont en acier trempé ou en carbure de tungstène.

FIGURE 1
DURETE «BRINELL»



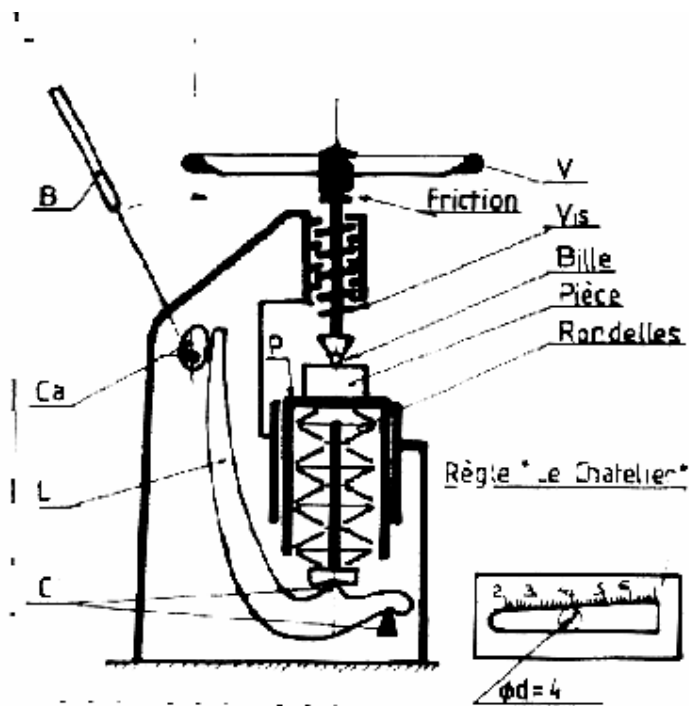
25.1.2. La Machine (Fig 2)

La plus courante est schématisée (fig. 2). L'éprouvette à tester est placée sur le plateau P. L'opérateur amène la bille au contact grâce au volant V agissant sur la vis. Une friction entre la vis et le volant limite l'effort de façon à éviter toute pénétration de la bille due à cette manoeuvre.

L'action sur le bras B, détermine la rotation de la came qui agit sur le levier L.

L'articulé sur les couteaux C, comprime les rondelles «Belleville» qui forment ressort de compression, assurant ainsi la force de pénétration.

FIGURE 2
MACHINE D'ESSAI BRINELL



25.1.3. Conduite de l'Essai

L'essai s'effectue à la température ambiante. La surface de la pièce à étudier doit être lisse et propre : éventuellement pratiquer un meulage sur une surface brute.

La pièce est mise en place et la bille amenée au contact ; en principe, la distance au centre de l'empreinte au bord de la pièce doit être supérieure à 2,5 fois le diamètre de l'empreinte.

Le bras est amené en butée, sans choc, ni vibration, de manière à atteindre la charge d'essai.

Maintenir la charge pendant 10 à 15 s. Dégager la pièce et mesurer l'empreinte soit au microscope soit avec à la règle «Le Chatelier» (fig. 2).

25.1.4. Caractéristiques de l'Essai

D mm : diamètre de la bille

d mm : diamètre de l'empreinte

F N : charge d'essai

A mm² : aire de l'empreinte

HBS : dureté Brinell avec bille en acier trempé

$$HBS = \frac{F}{A} \text{ Exemple 350 HBS}$$

HBW : dureté Brinell avec bille en carbure de tungstène

$$HBW = \frac{F}{A} \text{ Exemple 600 HBW}$$

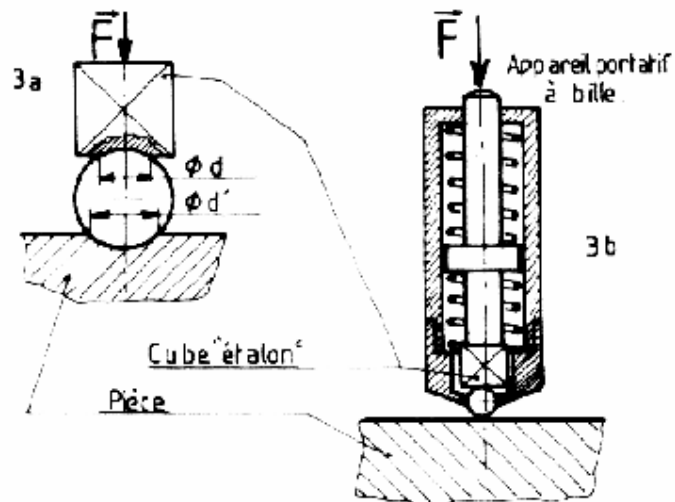
25.1.5. Essai de Dureté Brinell par Comparaison

Principe : (fig 3a)

On interpose entre la bille et la charge un bloc de dureté connue (le bloc étalon). La comparaison entre l'empreinte relevée sur le bloc étalon S et l'empreinte relevée sur la pièce S' permet de déterminer la dureté de cette dernière.

$$H' = H \cdot \frac{S}{S'}$$

L'appareil portatif (fig. 3b) permet des essais de dureté directement sur les pièces quelles que soient leurs dimensions.

FIGURE 3

25.2. ESSAI DE DURETE ROCKWELL DE L'ACIER (NFA 03153)

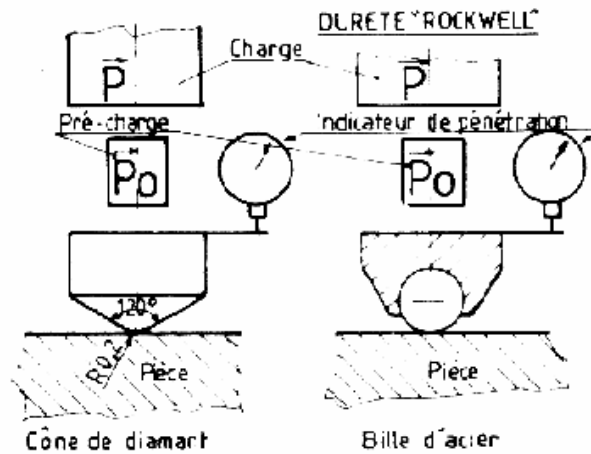
25.2.1. Principe de l'Essai

Il consiste à imprimer en deux temps, un pénétrateur normalisé (cône ou bille) dans des conditions précises et à mesurer l'accroissement rémanent e de la profondeur de pénétration. De cet accroissement, on déduit un nombre appelé dureté Rockwell.

25.2.2. Penetrateur (Fig 4)

- Cône de diamant : essai HRC
- Bille en acier trempé : $\varnothing 3,175$ essai HRE
 $\varnothing 1,5875$ essai HRB et HRE

FIGURE 4
DURETE ROCKWELL



25.2.3.Machine

Elle comporte essentiellement :

- 2 mécanismes permettant d'assurer distinctement la pré-charge P_0 et la charge P (fig. 4)
- Un dispositif indicateur de pénétration constitué par un comparateur

25.2.4.Conduite de l'Essai

Essai avec le cône (fig. 5) Essai avec la bille (fig. 6)

a) Le pénétrateur est amené au contact.

b) La précharge P_0 est appliquée (la couche superficielle est brisée). L'indicateur de pénétration est réglée sur 100 pour l'essai avec le cône ou 130 pour l'essai avec la bille.

c) La charge P est appliquée 1 400 N (cône) ; HRC ; 1 000 N (bille) : MRB ; 900 N ; HRE ; 500 N ; HRF

d) La charge P est supprimée. La suppression des déformations élastiques est constatée sur l'indicateur de pénétration. Le pénétrateur remonte un peu. On lit la valeur de HR sur le cadran du comparateur.

Caractéristiques

$$\begin{aligned} \text{HRC} &= 100 - e \\ \text{HRB} = \text{HRE} = \text{HRF} &= 130 - e \end{aligned}$$

FIGURE 5

ESSAI AVEC LE CONE HRC

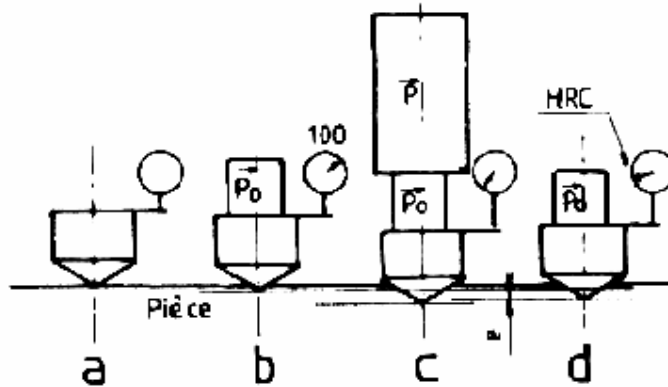
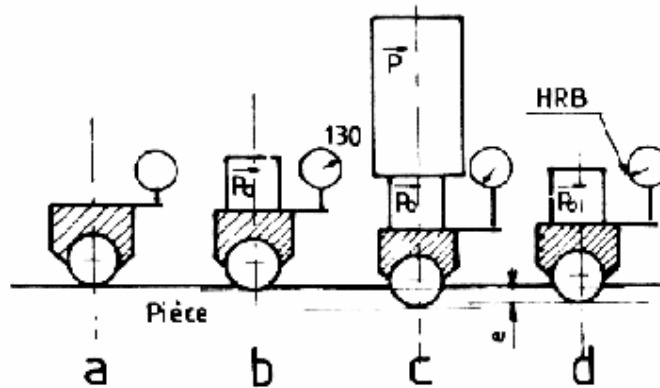


FIGURE 6
ESSAI AVEC LA BILLE : HRB

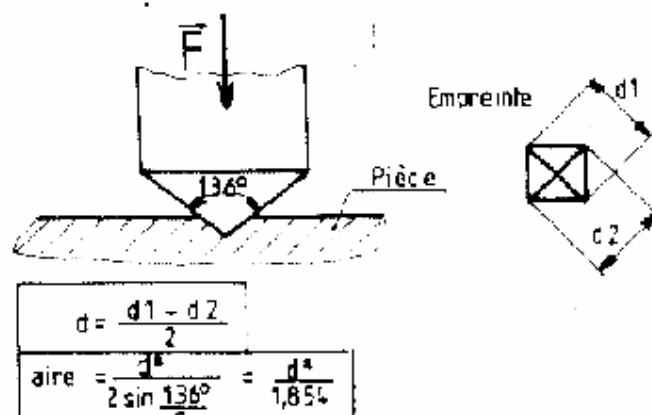


25.3. ESSAI DE DURETE VICKERS DE L'ACIER (NFA 03154)

25.3.1. Principe de L'essai (Fig 7)

Il consiste à imprimer dans la pièce à essayer. Un pénétrateur pyramidal sous l'effet d'une charge F et à mesurer la diagonale de l'empreinte après suppression de la charge.

FIGURE 7
DURETE «VICKERS»



25.3.2. Pénétrateur

Il s'agit d'une pyramide droite à base carrée en diamant. L'angle au sommet (entre deux faces opposées) est égal à 136°.

25.3.3. Caractéristiques

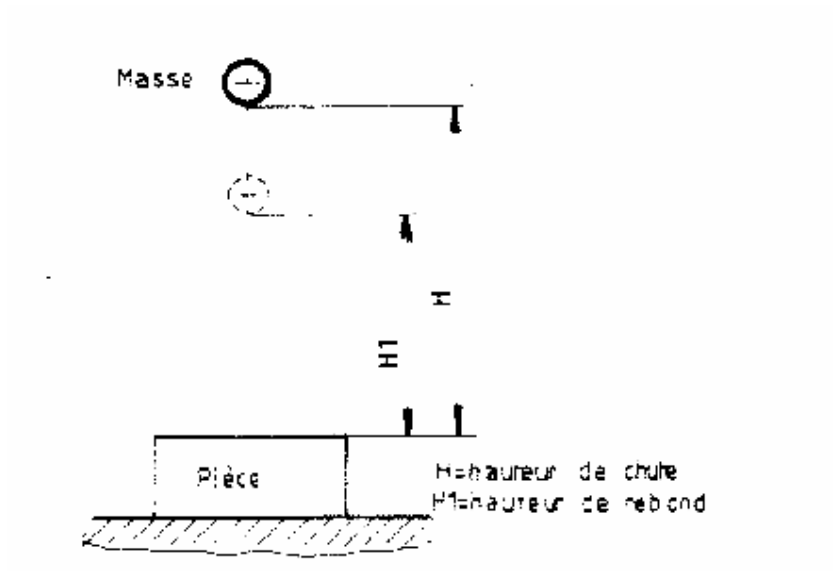
HV = dureté Vickers

$$HV = \frac{F(N)}{\text{Aire empreinte (mm}^2\text{)}}$$

25.4. ESSAI DE DURETE PAR REBONDISSEMENT (FIG. 8)

Une méthode d'essai est basée sur le rebondissement. On laisse tomber un mouton sur la pièce à essayer et on mesure la hauteur de rebondissement. La dureté est fonction de la différence entre H (hauteur de chute) et H_1 (hauteur de rebondissement). Le matériau est d'autant plus dur que $H - H_1$ est petit.

FIGURE 8
DURETE «SHORE»



25.5. REMARQUES RELATIVES AUX ESSAIS DE DURETE

L'essai Brinell laisse sur les pièces une empreinte importante. De plus, il ne peut être utilisé sur des pièces très dures ou pour des épaisseurs minces. On réservera donc l'essai aux essais sur des pièces brutes et assez épaisses : (laminés, barres, etc...).

Par contre, les essais Vickers et Rockwell laissent des empreintes très très petites et peuvent être employés pour les essais sur des pièces usinées, des pièces dures cémentées, trempées (couche superficielle dure) ou pour des épaisseurs minces.

NOTA : Il n'existe pas de comparaison universelle entre les différentes méthodes d'essai. Des valeurs de conversion existent et notamment en ce qui concerne dureté, résistance à la traction. Cette relation est très approximative ; elle ne donne qu'une indication de l'ordre de grandeur de la résistance à la traction.

NOTIONS DE TRAITEMENTS THERMIQUES

SOMMAIRE

- 1. LA TREMPE**
- 2. LE REVENU DES ACIERS**
- 3. LE RECUIT**

26. LA TREMPE

26.1. GENERALITES

La trempe des aciers consiste en un chauffage dans le domaine austénitique, un maintien et un refroidissement suffisamment rapide pour éviter la formation des constituants d'équilibre. On obtient ainsi une phase hors d'équilibre : la martensite, qui donne la dureté maximale pour une nuance d'acier donnée. Pour aboutir à des constituants moins durs, on peut utiliser le réglage de la vitesse de refroidissement ou la trempe isotherme (ou étagée).

Les caractéristiques mécaniques de l'alliage sont modifiées :

- La dureté (H) **augmente** ,
- La résilience (K) **diminue** ,
- La résistance à la traction **augmente** ,
- L'allongement (A%) **diminue** ,

26.2. EXEMPLE :

	AVANT TREMPE		Après trempe à l'eau	
	Rm (en Mpa)	KCU (j/cm ²)	Rm (en Mpa)	KCU (j/cm ²)
Trempe d'une éprouvette en C 22	400	70	730	68
Trempe d'une éprouvette en C 35 E	700	70	1900	25

Aciers trempables contenant 0,22 et 0,35 % de Carbone

Note : Seuls les aciers C peuvent subir une trempe (voir cours futur sur la désignation des aciers)

26.3. TEMPERATURE D'AUSTENITISATION

La température d'austénitisation est fonction de la teneur en carbone de l'acier. Les aciers hypereutectoïdes doivent être chauffés à $AC_3 + 50^\circ \text{C}$ environ, les aciers hypereutectoïdes doivent être chauffés à $AC_1 + 50^\circ \text{C}$.

26.4. TEMPS DE MAINTIEN

Le maintien à la température d'austénitisation doit être conduit jusqu'à l'achèvement des transformations de phases. Ce temps de maintien dépend, en particulier, de la composition chimique de l'acier, de la dimension et de la forme des pièces à traiter.

La détermination du temps est donc surtout une question d'expérience et un compromis.

26.5. REFROIDISSEMENT

En dehors des propriétés des aciers (conductibilité thermique...) et de la configuration des pièces (masse, forme, état de surface), la vitesse de refroidissement dépend essentiellement du pouvoir refroidisseur du bain. Les modes de refroidissement sont très variés : air, brouillard, (air + eau), bains de sels fondus, bains d'huile, eau...

L'eau , pour les aciers contenant moins de 0,48% de carbone

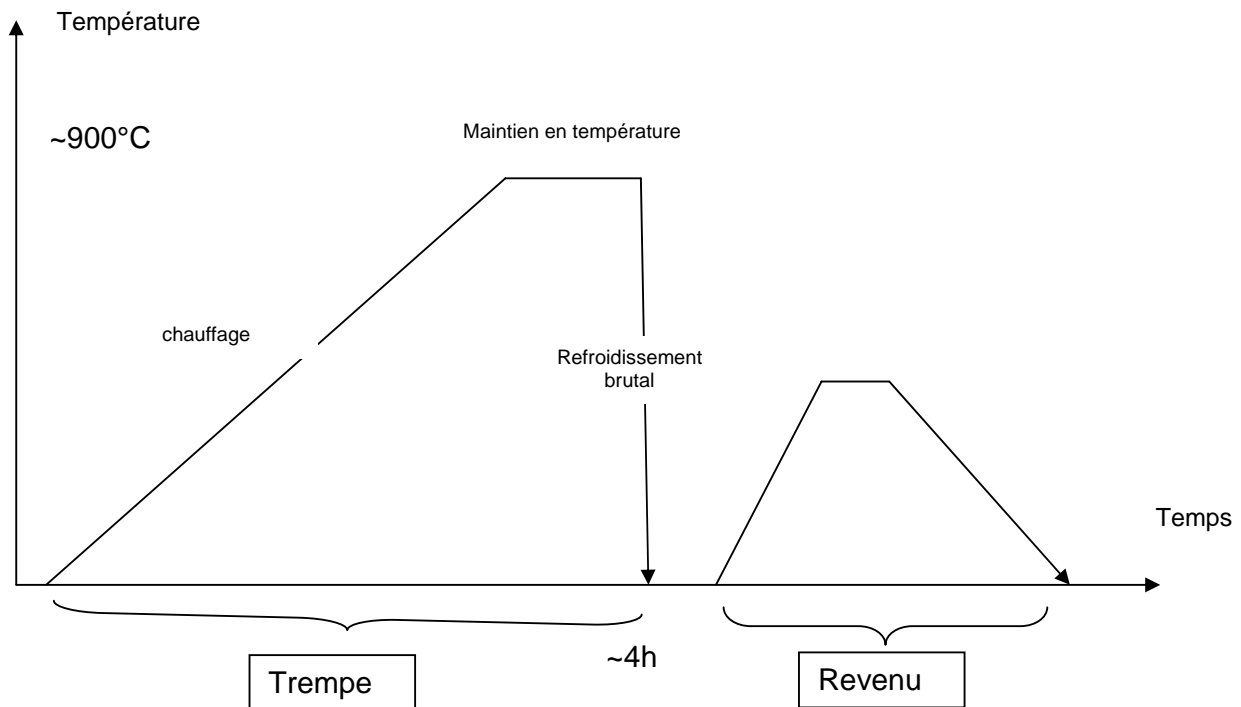
L'huile , pour les aciers contenant plus de 0,48% de carbone

26.6. LES DEFATS POSSIBLES OCCASIONNES PAR LA TREMPÉ

Déformations : qui proviennent généralement d'un chauffage non uniforme (dû à des inégalités de section de la pièce)

Tapures : caractérisées par une rupture du métal résultant des inégalités de température entre les différentes parties de la pièce (principalement aux changements brusques de section)

Manque de dureté : dû à une température de trempe trop basse.



27. LE REVENU DES ACIERS

27.1. DEFINITION

On appelle revenu le chauffage de l'acier trempé à une température inférieure à A_1 , le maintien à cette température et le refroidissement ultérieur. Le revenu est une opération finale de traitement thermique. Son but est l'obtention des propriétés mécaniques requises.

De plus, il supprime partiellement ou totalement les contraintes internes dues à la trempe.

	HRC	KCu
C45 E avant trempe	16	70
C45 E trempé à l'eau	55	25
C45 E après revenu à 550°	32	35

27.2. DIFFERENTS TYPES DE REVENUS

La température de revenu modifie sensiblement les propriétés obtenues, ce qui permet de distinguer trois types de revenu.

27.2.1.Revenu à basse température : 150° C à 200° C

Ce revenu diminue les contraintes internes dues à la trempe, il améliore quelque peu la ductilité sans altérer sensiblement la dureté. C'est le traitement type des aciers à outils.

27.2.2.Revenu à température intermédiaire : 300° C à 500° C

Il s'emploie pour des ressorts de types variés. Il permet d'obtenir une limite d'élasticité maximale et élève quelque peu la ductilité.

27.2.3.Revenu à haute température : 550° C à 700° C

C'est le traitement type des aciers de construction. Il supprime presque totalement les contraintes internes et accroît nettement la résilience. Dans ces conditions, la résistance et la dureté diminuent mais restent encore beaucoup plus élevées qu'après recuit. C'est pourquoi, le revenu à haute température crée un meilleur rapport entre la résistance et la ductilité de l'acier.

27.3. MODE OPERATOIRE DU REVENU

On place les pièces les pièces dans un four. On chauffe lentement.

On refroidit brutalement (mais un peu moins brutalement que la trempe) dans :

- Dans l'huile
- Dans l'air

Voir courbe de température du revenu page précédente

28. LE RECUIT

28.1. DEFINITION

On appelle recuit tout traitement consistant à chauffer l'acier au-dessus de AC_3 , à maintenir la température atteinte pendant un temps suffisant, puis à refroidir lentement le métal jusqu'à l'ambiante.

28.2. BUT

- Supprimer ou diminuer les tensions internes résultant de l'obtention d'une pièce par moulage ou forgeage ou soudure
- Annuler les effets d'une trempe (pour refaire un usinage par exemple)

28.3. DIFFERENTS TYPES DE RECUIT

On distingue plusieurs sortes de recuits :

28.3.1. Recuit d'homogénéisation

C'est un recuit à haute température ($\approx A_3 + 200^\circ \text{C}$) destiné à atténuer ou à faire disparaître les hétérogénéités de composition chimique. Il est suivi d'un refroidissement lent.

28.3.2. Recuit de normalisation

Il s'effectue à une température égale à $A_3 + 50^\circ \text{C}$ à 100°C suivi d'un refroidissement à l'air calme. Il a de multiples effets :

- Homogénéisation
- Affinage et régénération du grain
- Adoucissement
- Détensionnement (ou stabilisation)

28.3.3. Recuit de globularisation (sphéroïdisation)

Il s'obtient en faisant subir à l'acier des oscillations de température autour de A_1 . Il permet de transformer la perlite lamellaire en perlite globulaire présentant de bonnes caractéristiques, notamment une meilleure déformation à froid.

28.3.4.Recuit d'adoucissement

L'opération consiste à chauffer l'acier à une température quelque peu inférieure à A_1 , et après maintien, à le refroidir à l'air. Il a pour objet d'abaisser la dureté du métal et s'applique aux aciers au carbone destinés à l'usinage, l'emboutissage à froid et l'étirage.

28.4. REFROIDISSEMENT

On refroidit très lentement (On laisse les pièces dans le four éteint)

EXERCICE 1

29. INSTRUCTIONS

POUR LE FORMATEUR :

- Le formateur devra adapter les exercices à la séquence en supprimant des terminologies ou des étapes du mode opératoire

30. TRAVAIL DEMANDE AUX STAGIAIRES

Exercice 1 : LA FILIERE FONTE

COMPLETEZ LES ELEMENTS MANQUANTS

Le minerai de fer (oxyde de fer) issu de l'usine d'agglomération et le coke (combustible puissant fabriqué à partir de la houille) sont chargés en couches alternées dans la partie supérieure du Haut Fourneau, dans des proportions de 5 doses de minerai pour 1 dose de coke.

Dans le bas du Haut Fourneau, on insuffle de l'air chaud à presque 1200 °C afin de provoquer la combustion du coke qui va entraîner la fusion du minerai.

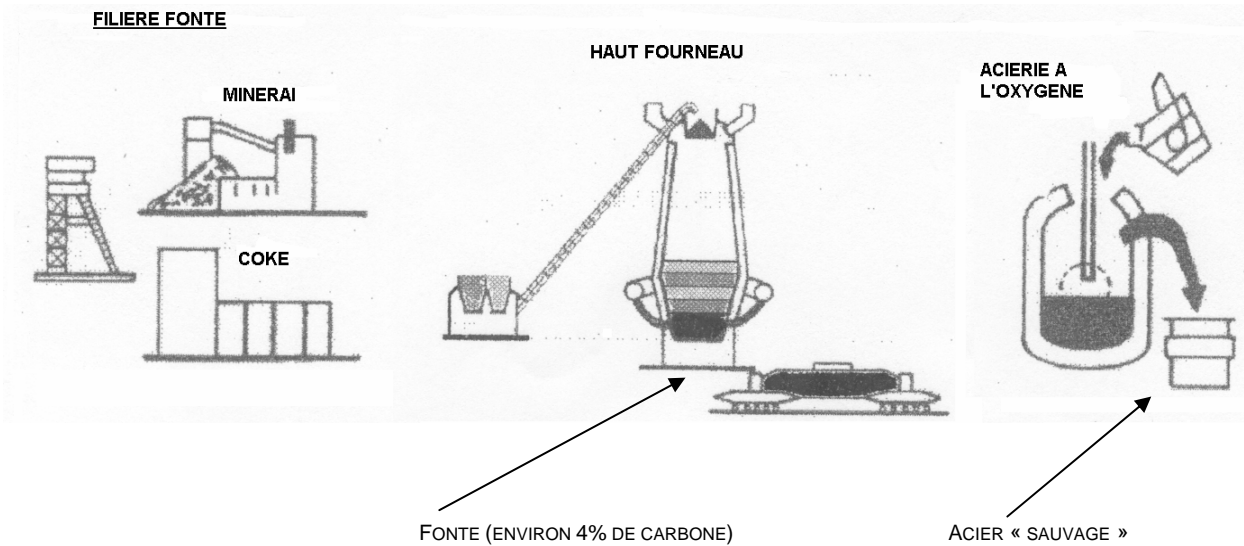
Dans le Haut Fourneau, l'union entre le fer et l'oxygène est brisée par le carbone contenu dans le coke qui a une très grande attirance pour l'oxygène. On a donc isolé le fer.

A la sortie du haut Fourneau, on recueille la FONTE liquide à 1400 °C. La fonte est un mélange de 96% de fer, de 3% de carbone (ce carbone provient de la petite partie de coke qui n'a pas brûlé) et de 1% de résidus. Avec 1 tonne de minerai, on obtient 600 kg de fonte, le reste est transformé en gaz et en résidus liquides qui vont se solidifier (ces résidus sont utilisés par les cimentiers et les constructeurs routiers par exemple...).

La fonte est ensuite transportée à chaud dans des wagons spéciaux jusqu'à l'aciérie, où elle est reversée dans une énorme cuve appelée poche.

Cette poche sera à son tour vidée sur un lit de ferrailles dans un convertisseur. On insuffle ensuite de l'oxygène pour brûler la plus grande partie du carbone et les impuretés contenues dans la fonte. Le bain est à une température de 1600 °C.

A la sortie du convertisseur, on obtient de l'acier sauvage (car à ce stade, il n'est pas à la nuance souhaitée), qui est ensuite envoyé à la station d'affinage.



La filière fonte fournit actuellement 60% de la production.

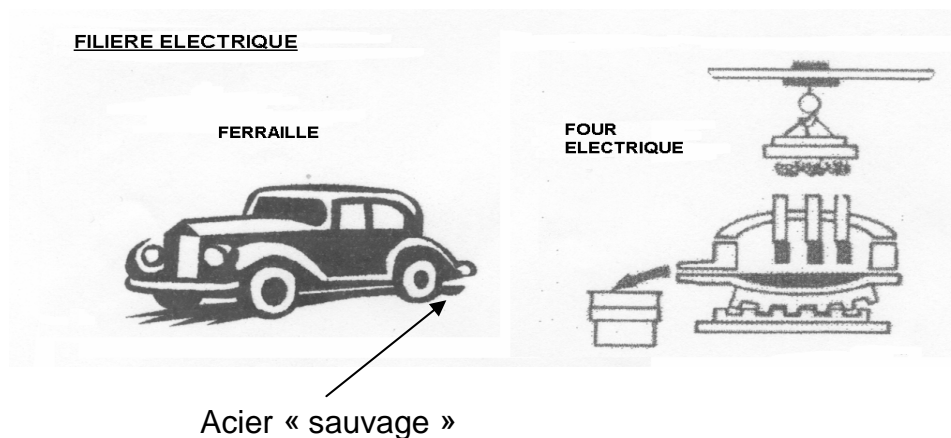
Exercice 2 : LA FILIERE ELECTRIQUE

COMPLETEZ LES ELEMENTS MANQUANTS

Dans cette filière, on transforme directement des ferrailles en acier liquide, par fusion dans un four électrique.

Les ferrailles sélectionnées arrivent à l'aciérie triées et broyées. Elles sont ensuite acheminées dans un panier à ferrailles vers le four à arc électrique très puissant où elles sont fondues. Ces arcs électriques sont produits par 3 électrodes fixées sur le couvercle du four. Ils jaillissent entre les électrodes et la charge de ferrailles à fondre. On insuffle de l'oxygène dans le four afin d'activer la combustion.

A la fin de la fusion, on obtient de l'acier sauvage que l'on coule dans une poche, qui est ensuite dirigé vers l'affinage.



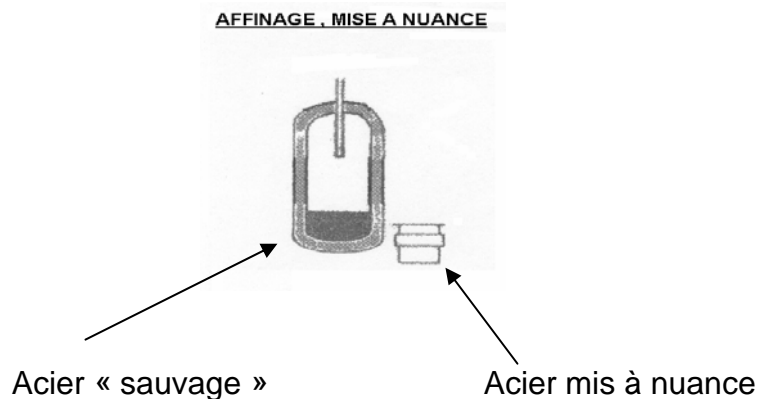
La filière électrique fournit actuellement 40% de la production.

Exercice 3 : AFFINAGE ET MISE A NUANCE

COMPLETEZ LES ELEMENTS MANQUANTS

Dans l'acier sauvage, il reste encore une quantité de carbone parfois trop importante pour certaines nuances d'acier. C'est à la station d'affinage que l'on décarbure (que l'on ôte le carbone excédentaire) en injectant de l'oxygène et de l'argon. Le carbone est évacué sous forme gazeuse (CO, CO₂).

On ajoute ensuite les éléments d'additions (Ex : Cr, Ni, Mn, Mo, Si, etc....) afin d'obtenir la nuance de l'acier recherché.



Exercice 4 : LA COULEE CONTINUE

COMPLETEZ LES ELEMENTS MANQUANTS

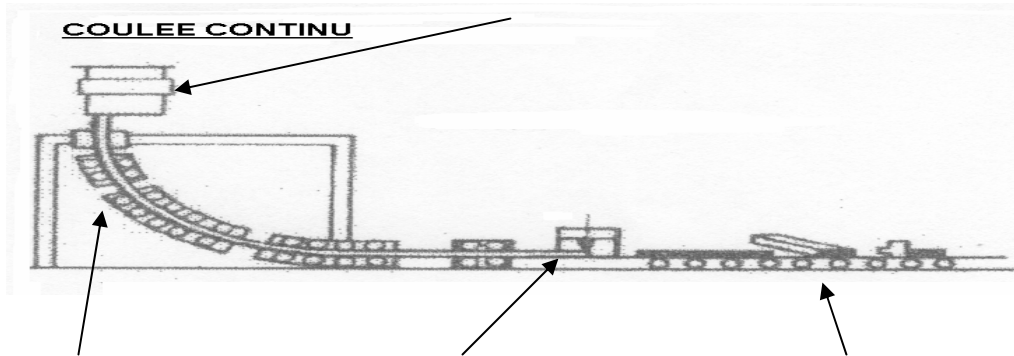
L'acier mis à nuance est encore sous forme liquide, il faut donc lui donner une forme solide, elle est obtenue par coulée continue.

Pour cela, on perce la poche contenant l'acier liquide à 1600 °C. L'acier en fusion s'écoule en continu dans moule sans fond. En le traversant, le flux de métal entre en contact avec les parois refroidies à l'eau et commence à se solidifier.

Le métal moulé descend, guidé par des jeux de rouleaux et refroidit progressivement. Il est solidifié à cœur lorsqu'il arrive à la sortie. Le produit est immédiatement sectionné à la longueur souhaitée.

- On obtient :
- des brames (sections rectangulaires) pour fabriquer des produits plats (plaques, tôles en bobine ou en feuilles)
 - Des blooms ou billettes selon leur grosseur (sections carrés) pour fabriquer des produits longs (fils, barres, rails, poutrelles, profilés divers...).

Acier mis à nuance à l'état liquide.



Parois refroidies. Découpes thermique.

Acier mis à nuance à l'état solide sous forme de

brames, de blooms ou de billettes.

Exercice 5 : LE LAMINAGE

COMPLETEZ LES ELEMENTS MANQUANTS

Les brames, Blooms et Billettes obtenues par coulée continue ne sont pas des formes utilisées telles quelles dans l'industrie, il faut donc leur donner une forme marchande, ces formes sont obtenues par laminage.

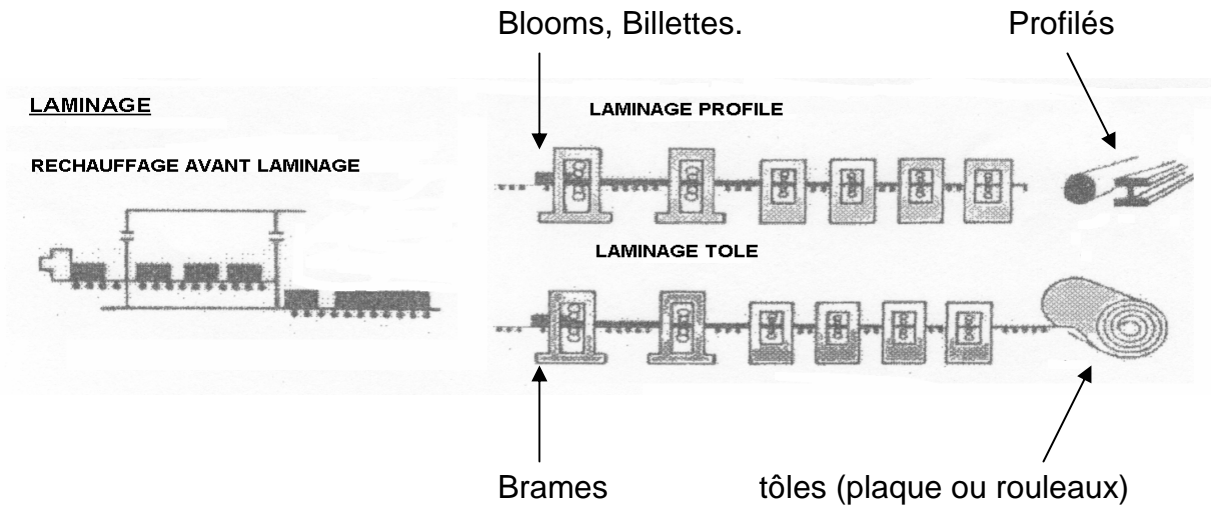
Le laminage est la réduction d'une masse métallique par compression et étirement entre des cylindres.

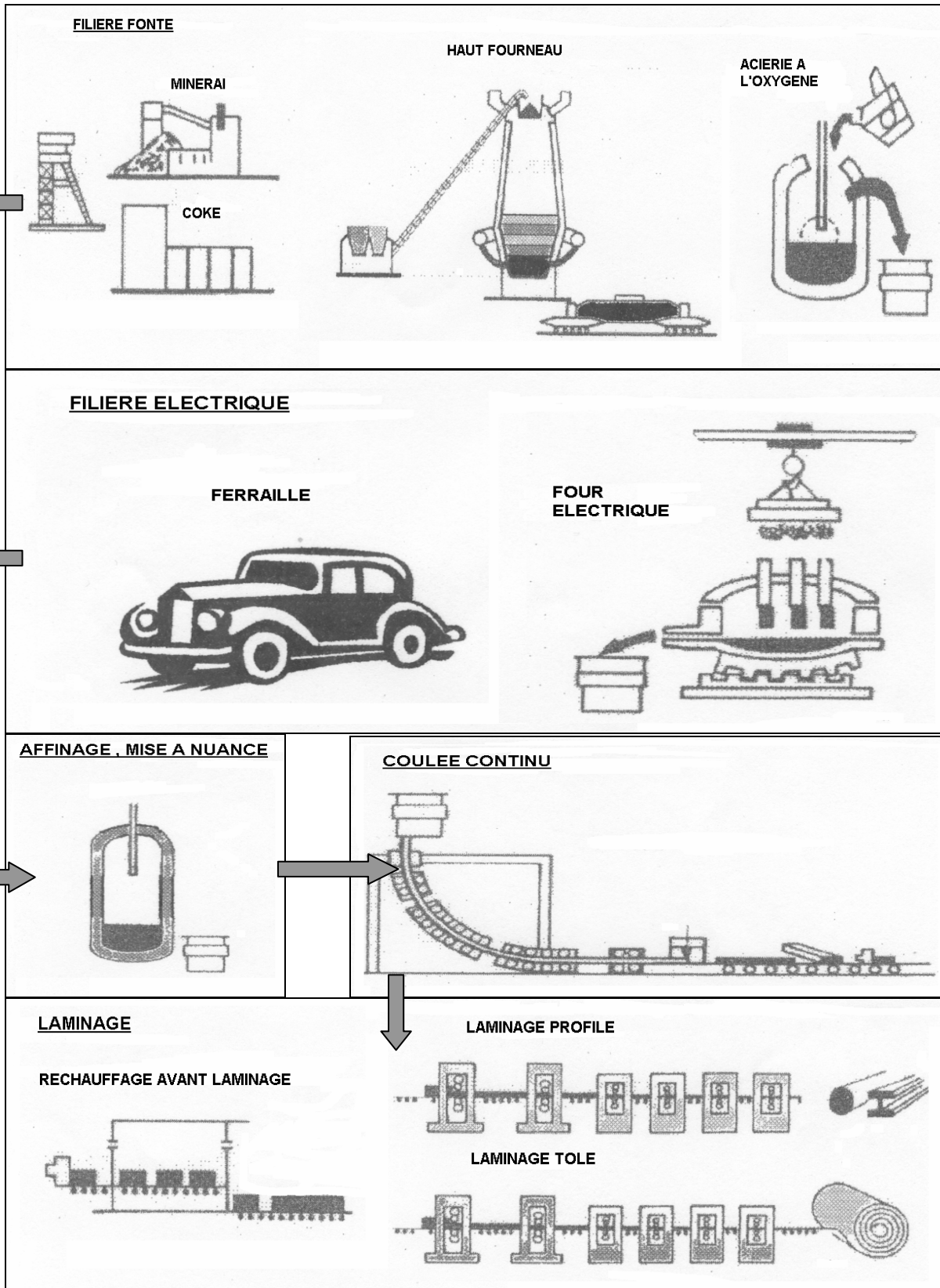
Avant laminage, on réchauffe les ébauches dans un four afin de rendre le métal plus malléable.

L'ébauche passe ensuite entre les cylindres du laminoir par étapes d'écrasements successives et progressives. Le laminage à chaud permet d'obtenir des épaisseurs jusqu'à 1.2 mm ; pour réduire encore l'épaisseur de certains produits, on pratique le laminage à froid afin d'obtenir des épaisseurs minimales de l'ordre de $1/10^{\text{ème}}$ de mm.

Après laminage à froid, on procédera sur certains produits à des traitements de surfaces (Ex : laque, vernis, plastification, revêtues zinc, chrome, etc...).

Dernière opération, les produits sont découpés aux dimensions souhaitées ; après d'ultimes contrôles, tous ces produits (plats ou longs) reçoivent leur certificat de conformité et sont prêts à quitter l'usine.





NOTA : Documents à caractères pédagogiques.

Ces documents ne peuvent pas servir à une fabrication industrielle.

Les normes industrielles évoluant constamment, il appartient au formateur de faire les modifications avec ses apprenants lors des séances de formation.

EXERCICE 2

31. INSTRUCTIONS

POUR LE FORMATEUR :

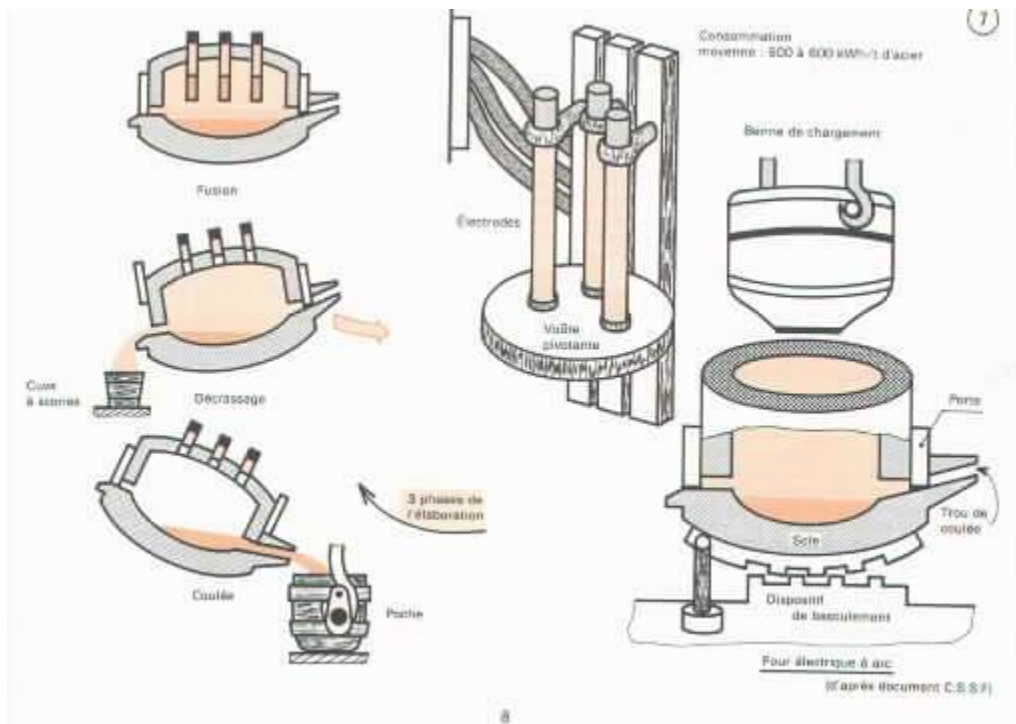
- Le formateur devra adapter les exercices à la séquence en supprimant des terminologies ou des étapes du mode opératoire

32. TRAVAIL DEMANDE AUX STAGIAIRES

Exercice 1 : MARCHE D'UNE OPERATION

Complétez les éléments manquants

Les fours d'une capacité de 5 à 250 tonnes sont alimentés sous des tensions de 100 à 200 V, l'intensité pouvant atteindre 50000 A par électrode. La sole et les parois latérales sont garnies de revêtements de dolomie (basique) qu'on réfectionne périodiquement. L'utilisation des parois refroidies à l'eau se généralise et permet, entre autres, d'augmenter la durée du revêtement et de réduire la consommation des électrodes. La marche comprend trois étapes:



- a) Fusion: après chargement la fusion commence et dure quelques heures. Au cours de cette étape on ajoute la chaux qui sera nécessaire à la formation du laitier de déphosphoration. En fin de fusion on introduit du minerai de fer.
- b) Oxydations et décrassage: l'oxyde de fer sert de vecteur oxygène pour l'élimination de Si, Mn, C. La déphosphoration peut être très poussée, des laitiers très calcaires pouvant être fondus. En fin d'opération le fer commence à s'oxyder. L'alimentation du four est arrêtée et on procède à un décrassage.
- c) Réductions et additions. L'alimentation étant rétablie, on crée un laitier désoxydant et désulfurant par ajout de ferro-silicium, de chaux et de spath-fluor. On peut réaliser des laitiers Carbures (carbure de calcium) très réducteurs. Au four électrique désulfuration et désoxydation sont très poussées ($S > 0,008\%$, $O > 0,003\%$). Les additions finales sont ajoutées avant coulée.

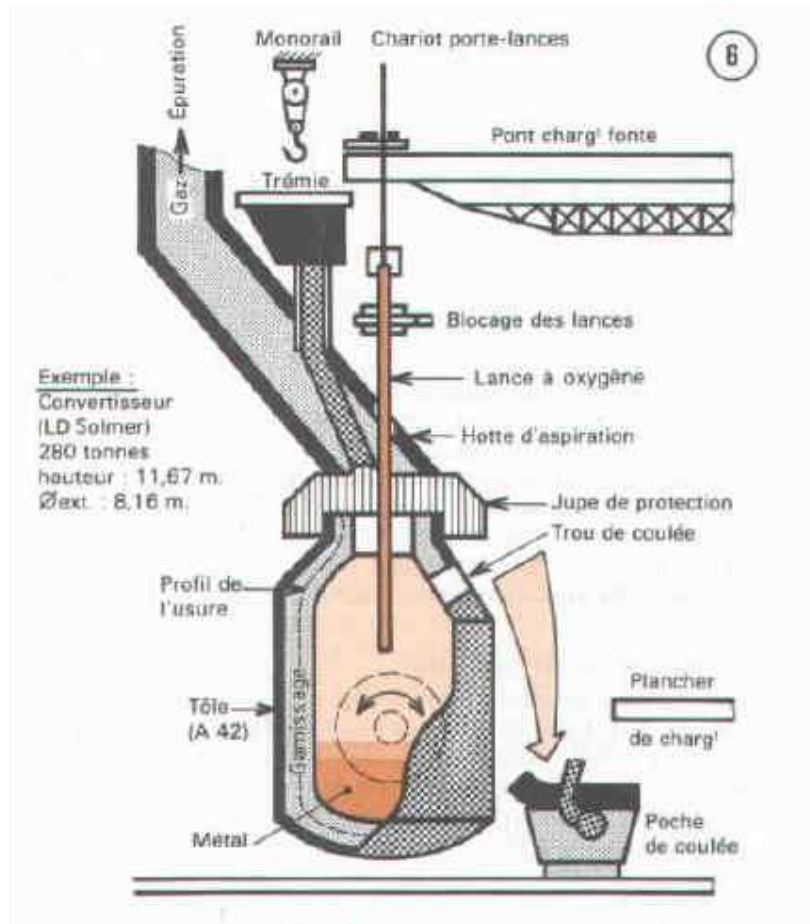
Remarque:

Le four électrique permet l'élaboration sous vide (four à induction sous vide, fours à électrodes consommables en acier). on obtient ainsi des aciers à teneurs minimales en N_2 , O_2 , H_2 et de propreté très poussée (faible densité inclusionnaire). Ces aciers de très haute qualité sont caractérisés par une meilleure limite d'endurance, une valeur élevée de la résistance et une tenue au fluage améliorée. Leur coût est évidemment plus élevé que pour les aciers élaborés classiquement.

Exercice 2 : DEROULEMENT D'UNE OPERATION

Complétez les éléments manquants

Le procédé LD est adapté au traitement des fontes peu phosphoreuses ou hématites, le procédé OLP est adapté au traitement des fontes phosphoreuses.



- **Procédé LD**

La charge est constituée de fonte liquide et de ferrailles et d'une partie du CaO nécessaire.

Le soufflage d'oxygène au cours duquel le silicium s'élimine en premier dure environ 15 min. La décarburation et la déphosphoration ainsi qu'une partie de la désulfuration s'opèrent ensuite, le reste de la chaux étant progressivement ajouté en cours de soufflage. Le débit d'oxygène va de $500 \text{ à } 1000 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Un modèle mis au point par l'IRSID (CALDYN) permet le contrôle dynamique du soufflage en fin d'affinage et permet l'arrêt automatique de celui-ci lorsque la teneur en carbone du bain visée est atteinte: en effet une relation existe entre la vitesse de décarburation du bain et sa teneur en carbone. L'application de ce modèle exige la connaissance du débit des fumées (par venturi) et de leurs teneurs en CO et CO₂ (analyseurs).

Après l'arrêt du soufflage un échantillon est analysé ce qui permet de prévoir les additions à introduire pour atteindre une composition chimique déterminée. Ces additions ont lieu au convertisseur ou en poche lors de la coulée. Outre l'ajustement de composition ces additions ont pour but de désoxyder le bain, riche en FeO.

En effet la présence de FeO donne un produit inforgeable et un dégagement gazeux important de CO (réduction de FeO par C): aciers effervescents.

La désoxydation du bain se fait essentiellement par le manganèse introduit surtout sous forme de ferro-manganèse et selon:



L'oxyde de manganèse est insoluble dans l'acier, l'oxygène n'est en fait pas éliminé du bain, mais il est sous forme d'inclusions de MnO beaucoup moins nocives que FeO.

L'emploi de ferro-silicium ou l'addition d'aluminium à la coulée conduit à des aciers calmés. En particulier l'addition d'Al remplace MnO par Al_2O_3 parfaitement non réductible par le carbone: il ne peut donc y avoir dégagement gazeux lors du refroidissement.

NOTA : Documents à caractères pédagogiques.

Ces documents ne peuvent pas servir à une fabrication industrielle.

Les normes industrielles évoluant constamment, il appartient au formateur de faire les modifications avec ses apprenants lors des séances de formation.

EXERCICE 3

33. INSTRUCTIONS

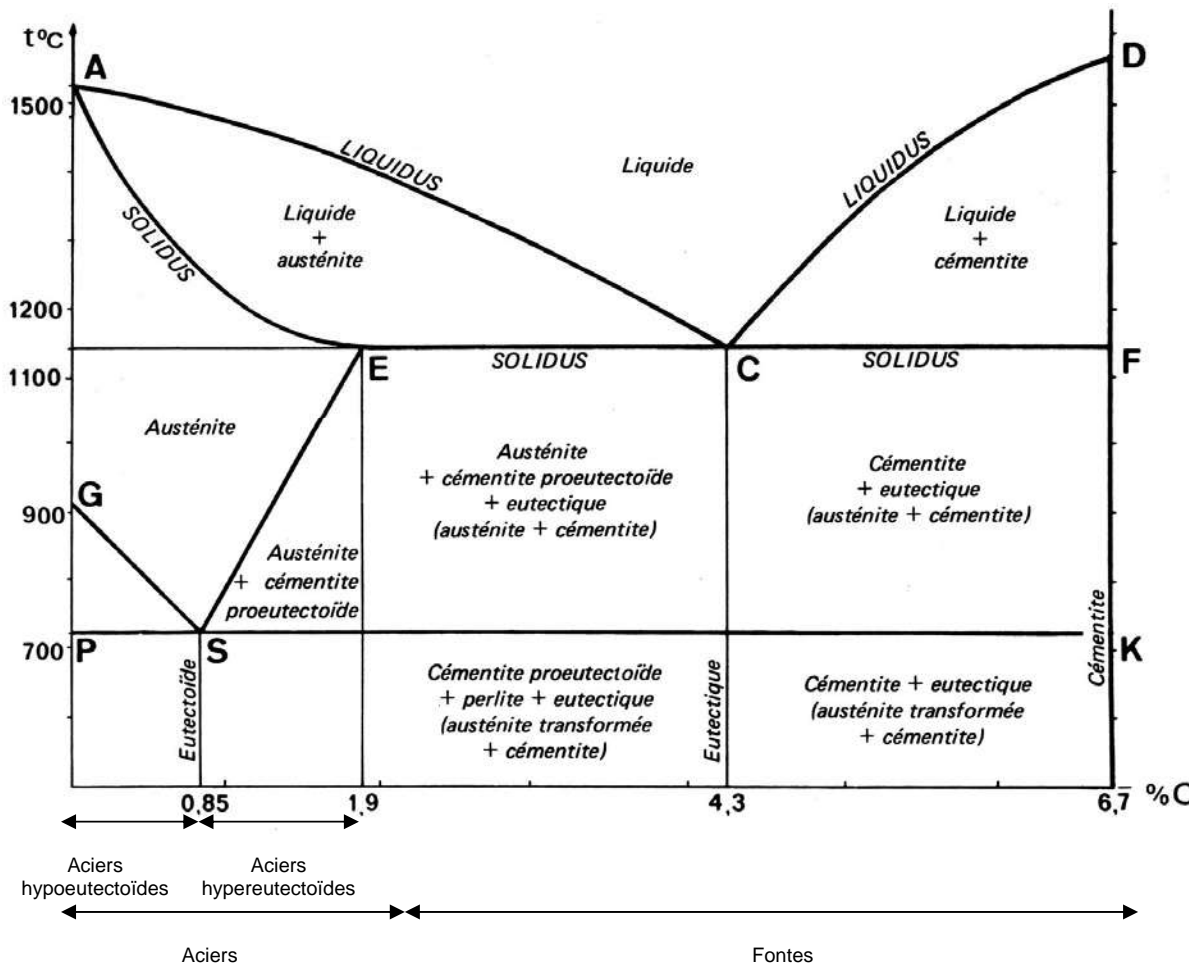
POUR LE FORMATEUR :

- Le formateur devra adapter les exercices à la séquence en supprimant des terminologies ou des étapes du mode opératoire

34. TRAVAIL DEMANDE AUX STAGIAIRES

- A partir du diagramme, indiquez les différentes phases de transformation de l'acier

DIAGRAMME FER-CARBONE



EXERCICE 4

35. INSTRUCTIONS

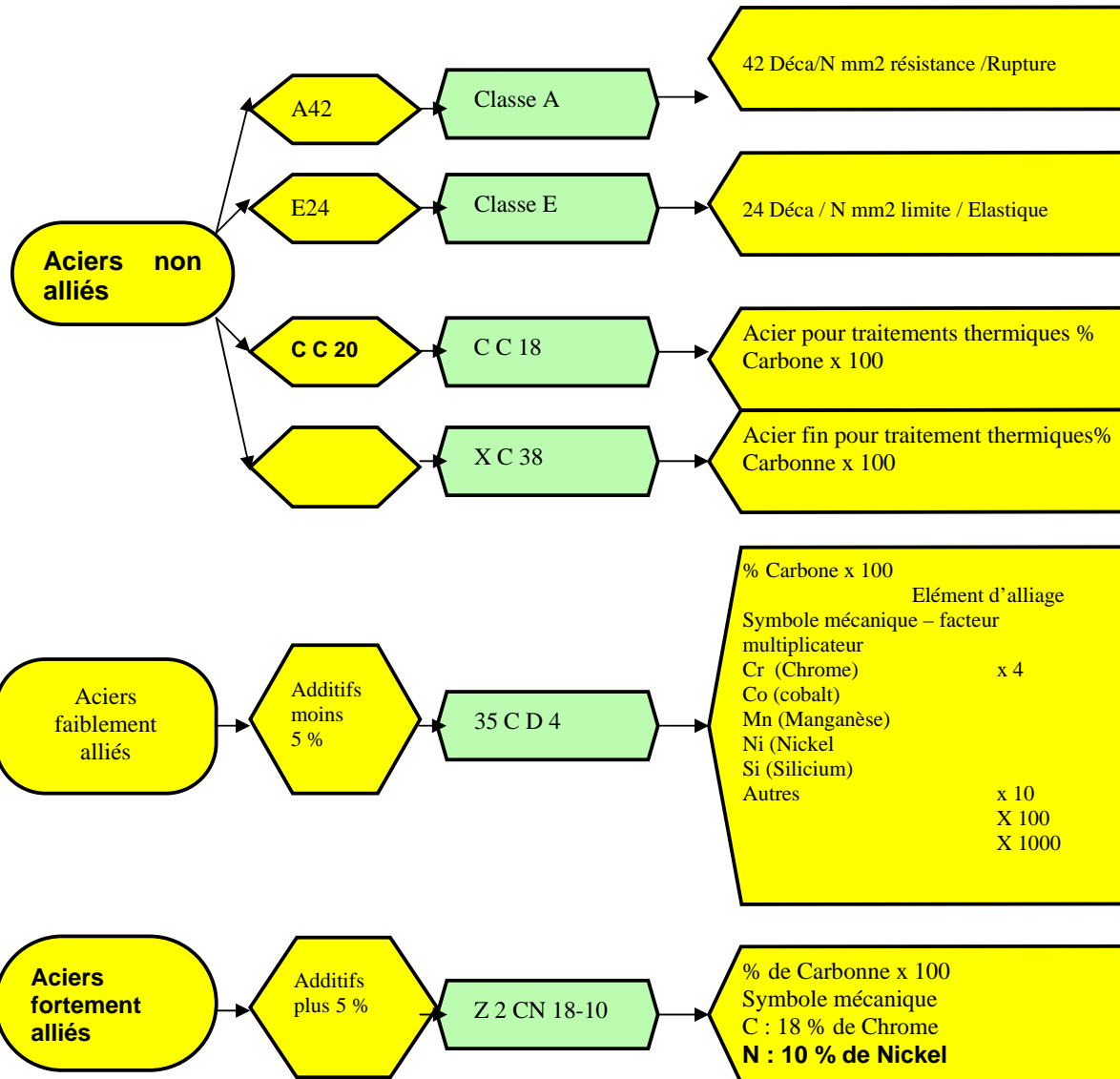
POUR LE FORMATEUR :

- Le formateur devra adapter les exercices à la séquence en supprimant des terminologies ou des étapes du mode opératoire

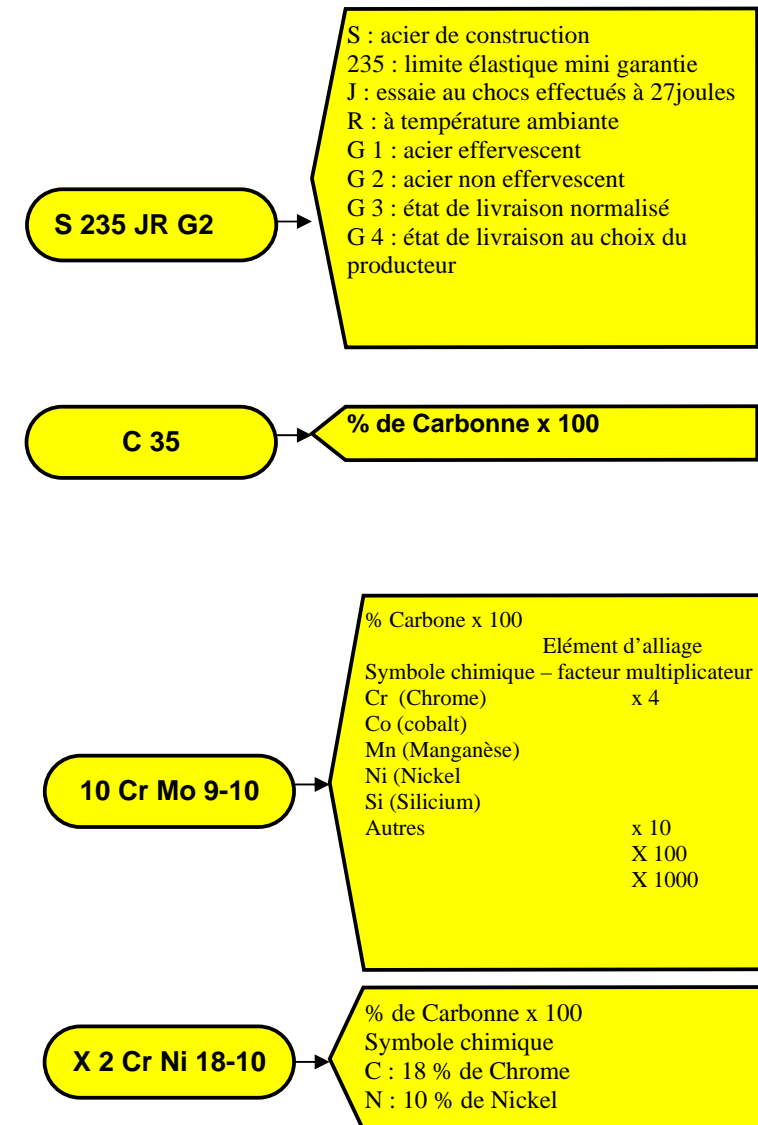
36. TRAVAIL DEMANDE AUX STAGIAIRES

- Complétez les éléments manquants

NORME NFA 35501



NORME EN 10025



EXERCICE 5

37. INSTRUCTIONS

POUR LE FORMATEUR :

- Le formateur devra adapter les exercices à la séquence en supprimant des terminologies ou des étapes du mode opératoire

38. TRAVAIL DEMANDE AUX STAGIAIRES

Exercice 1 : LES TYPES DE MATERIAUX

Complétez les éléments manquants

Les métaux ferreux :

- Fontes
- Aciers.

Les métaux non ferreux

- alliages légers (alpac, duralumin, alliages de magnésium) .
- alliages cuivreux (bronze, laiton) .
- alliages de zinc (Zamak) .

Les matériaux naturels

- bois
- cuir
- caoutchouc
- verre....

Les matériaux artificiels (matières plastiques, agglomérés...) .

Exercice 2 : LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Complétez les éléments manquants

Il est important de connaître les caractéristiques des matériaux utilisés en construction mécanique. Cette connaissance permet à l'agent de choisir les outils et les méthodes adaptés pour son intervention.

Les caractéristiques les plus importantes des matériaux sont :

- **Le prix** :
- **La ténacité** : résistance du matériau à la compression, à la traction, à la flexion
- **La résistance à la corrosion** : aptitude à résister à la corrosion par l'oxygène de l'air et par les agents chimiques (acides, gaz)
- **La dureté** : Résistance à la pénétration par un autre corps
- **La résilience** : Résistance aux chocs,
- **La masse volumique (en kg/m³)** : une faible masse volumique permet un allègement des mécanismes
- **La Conductibilité thermique** : Aptitude à transporter la chaleur
- **La conductivité électrique** : Aptitude à transporter le courant sans perte par effet joule
- **La dilatabilité** : Aptitude à se dilater (augmenter de longueur sous l'effet de la chaleur)
- **La ductilité** : aptitude du matériau à être étiré en fils de faibles sections.
- **La malléabilité** : aptitude à la déformation plastique à chaud ou à froid par choc ou par pression
- **La Fusibilité** : Aptitude d'un métal à passer de l'état liquide lorsqu'on élève sa température.
- **La soudabilité** : Aptitude à l'assemblage par soudage
- **L'Usinabilité** : Aptitude d'un matériau au façonnage par enlèvement de copeaux à l'outil de coupe
- **Le coefficient de frottement** : Aptitude à l'assemblage par soudage

Exercice 3 : LES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES

Indiquez (au crayon de papier) pour chacun des matériaux cités des exemples d'emploi
Indiquez aussi ses caractéristiques les plus intéressantes pour l'industrie (la liste des caractéristiques figure page précédente).

Exemple : Fer blanc

Exemple d'emploi : boîte de conserves

Caractéristiques intéressantes : Prix, malléabilité

a) Acier

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

b) Aluminium

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

c) cuivre

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

d) bronze

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

e) laiton

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

f) zinc

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

g) magnésium

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

h) le diamant

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

i) le bois

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

j) le plastique

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

k) le téflon

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

l) le mercure

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

m) les céramiques(porcelaine, agglomérés,...)

Exemple d'emploi :

Caractéristiques intéressantes :

Exercice 4 : LE PRIX DES MATERIAUX

Complétez les éléments manquants

PRIX RELATIF APPROXIMATIF – MASSES ÉGALES								
Fontes JL (GJL)	0,6	Aciers alliés	2 à 4	Alliages légers	5 à 7	Matières plastiques	PS	2
Acier S 235	1	Aciers inoxydables	2 à 5	Alliages de zinc	2		ABS	4
Aciers C	1,7 à 2	Acier X6 Cr Ni Mo	10	Alliages de cuivre	6 à 20		PTFE	30

NOTA : Documents à caractères pédagogiques.

Ces documents ne peuvent pas servir à une fabrication industrielle.

Les normes industrielles évoluant constamment, il appartient au formateur de faire les modifications avec ses apprenants lors des séances de formation.

EXERCICE 6

39. INSTRUCTIONS

POUR LE FORMATEUR :

40. TRAVAIL DEMANDE AUX STAGIAIRES

Exercice 1 :

Énoncez les processus opératoires des traitements thermiques de : trempe, revenu, recuit.

Trempe :

Revenu :

Recuit :

Exercice 2 :

Déterminez les températures de trempe et revenu

- d'un acier XC 38 pour obtenir : $R_m = 950 \text{ N/mm}^2$ et $KCU = 50 \text{ J/cm}^2$
 - d'un acier XC 48 pour obtenir : $HRC \geq 40$
1. On désire ajouter un trou M 12 (fig. 9) dans un cylindre en XC 65 traité à $1\,500 \text{ N/mm}^2$.

Indiquer le processus retenu pour réaliser cet usinage complémentaire.

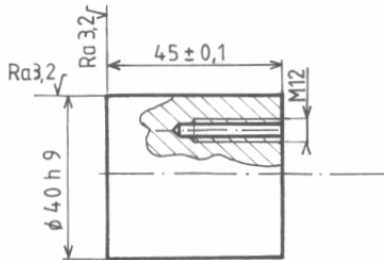


Figure 9.

Nuances	Composition chimique (%)	Trempe E : eau H : huile	Revenu	Caractéristiques mécaniques		A % min.	kCU min. à + 20 °C
	c					Lo = 5 d	J/cm ²
XC 10	0,06-0,12	E 900	200	215 345	340-420 540-830	31 16	
XC 12	0,10-0,16	E 900	200	235 495	370-450 730-1 130	29 11	60
XC 18	0,16-0,22	E 880	200	255 635	410-490 880-1 270	28 8	40
XC 25	0,23-0,29	E 850	550	285 440	470-560 610-780	26 17	80
XC 32	0,30-0,35	E 850	550	315 560	550-640 740-890	23 14	70
XC 38	0,35-0,40	E 850	550	335 615	580-670 800-950	21 12	50
XC 42	0,40-0,45	E 830	550	355 685	630-710 860-1 010	19 11	40
XC 48	0,45-0,51	H 830	550	370 665	670-760 830-980	17 10	30
XC 55	0,52-0,60	H 830	550	430 705	730-880 930-1 130	14 8	

NOTA : Documents à caractères pédagogiques.

Ces documents ne peuvent pas servir à une fabrication industrielle.

Les normes industrielles évoluant constamment, il appartient au formateur de faire les modifications avec ses apprenants lors des séances de formation.