I. Généralité SUR LES ACIERS

I.1.Introduction

Le fer et ces alliages sont les plus utilisés dans l'industrie. Ces derniers comprennent les aciers au carbone, les aciers alliés, les aciers à outils, les aciers inoxydables et la fonte, etc.

L'acier est un alliage fer-carbone dont la teneur en masse du carbone est inférieure à 2%. Les atomes de carbone occupent des sites interstitiels dans la maille de Fer, ce qui conduit à une amélioration des caractéristiques mécaniques. Les caractéristiques chimiques, physiques, mécaniques des aciers peuvent aussi être améliorées en ajoutant d'autres éléments chimiques, tels que le chrome, le nickel, le manganèse, etc. Le chrome par exemple est ajouté à l'acier par soucis d'augmenter la résistance à la corrosion.

I.2.Définition

L'acier est définit comme étant un alliage de fer et de carbone dont la teneur en carbone est inférieure à 2% (voir diagramme Fe-C). Dans l'industrie l'acier est plus utilisé que la fonte, car il possède des propriétés mécaniques relativement bonnes par rapport à ceux de la fonte.

I.3.DIAGRAMME FER-CARBONE

Théoriquement et d'après le diagramme fer-carbone, Les aciers sont des alliages fer-carbone dont la teneur en carbone varie de 0 à 2 %, alors que les fontes sont des alliages fer-carbone dont la teneur en carbone varie de 2 à 6.67%. En pratique, la teneur en carbone dans les aciers ne dépasse pas 1.7%. Les aciers industriels contiennent en effet de nombreux autres éléments comme le manganèse, le silicium, le phosphore et le soufre en proportion relativement faible. La présence de ces éléments en très faible proportions ne modifie que très peu les propriétés fondamentales des alliages fer-carbone et dont l'influence est beaucoup moins forte que celle du carbone. L'étude du diagramme binaire fer-carbone permet de distinguer entre les différentes phases et constituants et par là la relation entre ces derniers et les propriétés des aciers et des fontes dont l'importance technique est primordiale. En

effet, on peut constater l'existence de deux diagrammes fer-carbone : diagramme d'équilibre métastable (fer-cémentite) etdiagramme d'équilibre stable (fer-graphite).

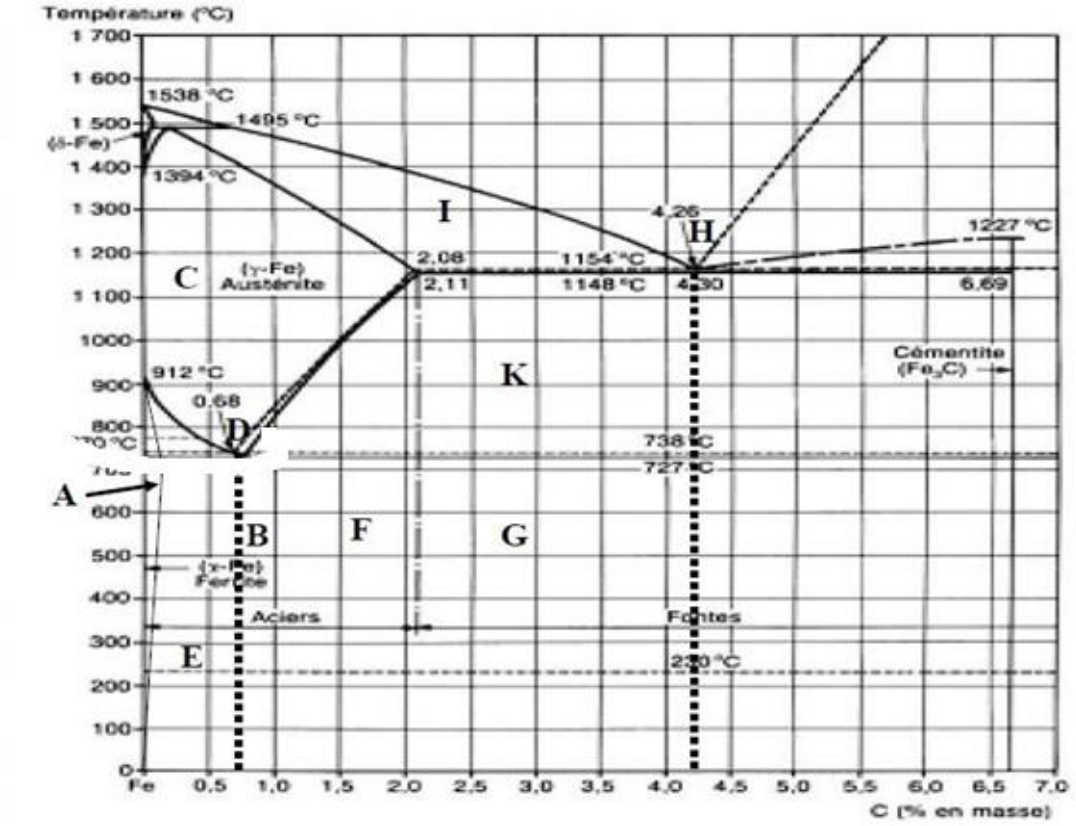


Figure1.1: Diagramme d'équilibre fer-carbone. [1]

1.3.1 La ferrite α :

Domaine marquée A, contient une très petite quantité de carbone. La ferrite est une solution solide de carbone dans le fer alpha. Cette phase contient au maximum 0.02% de carbone à 727°C. Lorsque la température augmente jusqu'à 912°C, la teneur en carbone dans la ferrite tend vers zéro. Aussi, lorsque la ferrite est refroidie à température ambiante, la quantité de carbone diminue.

Tous les aciers et fontes contiennent de la ferrite. Cette phase comporte la même quantité de carbone, quelle que soit la teneur en carbone de l'acier ou de la fonte.

La formation de la ferrite commence dès qu'un acier ou une fonte est refroidie en dessous de 727°C. La structure ferritique est cubique centrée et est à la fois ductile et tenace.

1.3.2 L'austénite γ :

L'austénite est une solution solide de carbone dans le fer γ (domaine C). Cette phase est stable au-dessus de 727°C et en dessous de 1538°C. Dans le cas de l'austénite le fer peut dissoudre jusqu'à 2.11%C à T= 1148 °C. Dans le cas des aciers au carbone l'austénite est localisée à hautes températures. Même si elle ne se forme pas à température ambiante, c'est un domaine important pour effectuer les traitements thermiques des aciers. L'austénite est cubique faces centrées.

1.3.3 La cémentite : Fe_3C

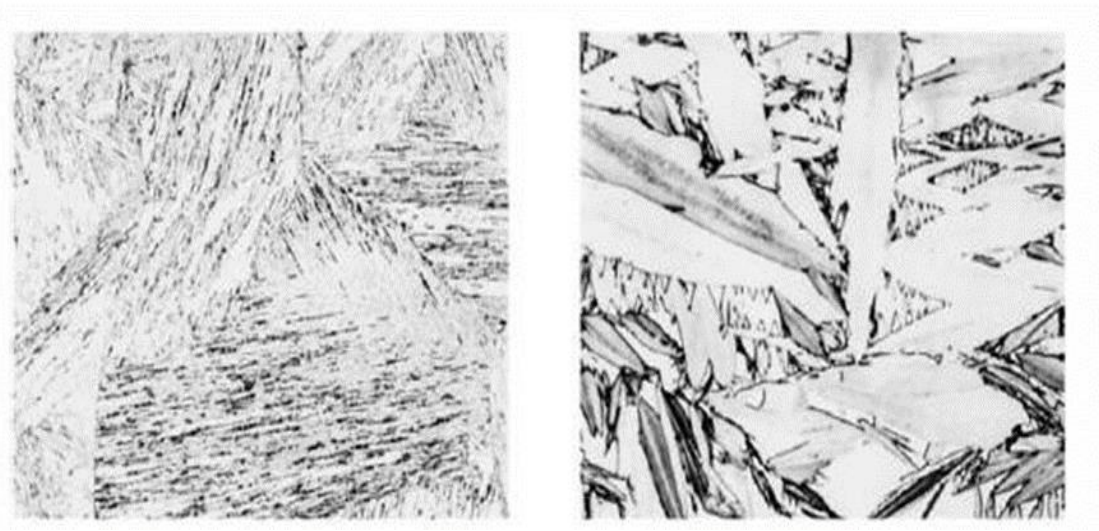
La cémentite pure a la formule moléculaire Fe3C. Elle peut contenir jusqu'à 6.67 %C. La concentration forte en carbone s'accompagne d'une augmentation de la dureté et de la fragilité. La cémentite, avec sa forte teneur en carbone, est dure et fragile. Cette phase est aussi appelée carbure de fer.

1.3.4 La perlite :

La perlite est une combinaison de ferrite et de cémentite. Ces deux phases se trouvent en Couches alternées dans la microstructure.

La perlite pure (ligne B) se forme à727°C, et contient 0.77% C, on trouve de perlite et de la ferrite, dans cette phase le point eutectoïde: D, est un point important sur le diagramme fer-carbone. Il se situe à 0.77% de carbone et 727°C. Le point eutectoide (0.77 %C) désigne une transformation reversible à T = 727 °C, c'est-à-dire γ α +Fe3C (perlite).

Les alliages de fer qui contiennent des teneurs en carbone inferieures au point eutectoide sont appelés aciers hypoeutectoïdes (domaine E). Ceux ayant une teneur en carbone supérieure à celle de l'eutectoïde sont appelés aciers hypereutectoïdes (domaine F).



(a) X200 (b) X 400

Figure 1.2 :(a) Martensite en lattes d'un acier à faible teneur en carbone ; (b) Martensite en plaques d'un acier à haute teneur en carbone [2]

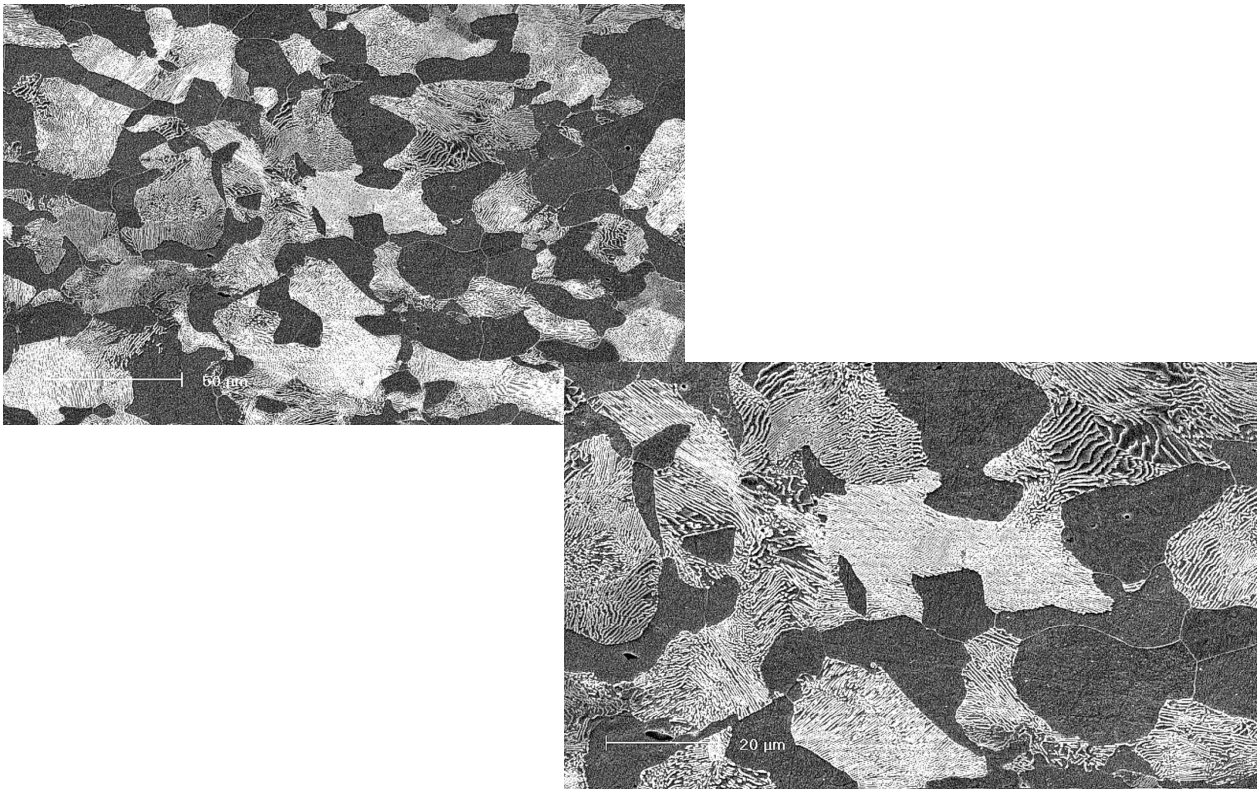


Figure1.3 :microstructure d'un acier contenant 0.48% de carbone [2]

I.4.EXTRACTION DU FER

Définition :

Le fer est l'élément chimique de numéro atomique Z = 26, de symbole Fe.

Le corps simple est le métal et le matériau ferromagnétique le plus courant dans la vie quotidienne, le plus souvent sous forme d'alliages divers. Le fer pur est un métal de transition ductile, mais l'additionde très faibles quantités d'éléments d'additions modifie considérablement ses propriétés mécaniques. Allié au carbone et avec d'autres éléments d'additions il forme les aciers, dont la sensibilité aux traitements thermomécaniques permet de diversifier encore plus ces propriétés. Le fer est extrait du minerai de fer dans un énorme récipient appelé le haut-fourneau. Les minerais de fer tels que l'hématite (Fe_2O_3) contiennent de l'oxyde de fer. L'oxygène doit être retiré de l'oxyde de fer pour obtenir du fer pur. Les réactions dans lesquelles l'oxygène est éliminé sont appelées réactions de réduction.

I.4.1.Extraction du fer

Le carbone est plus réactif que le fer, de sorte qu'il peut pousser ou déplacer le fer de l'oxyde de fer. Voici les équations pour la réaction:

Oxyde de fer + carbone → fer + dioxyde de carbone

$2Fe_2O_3 + 3C \rightarrow 4Fe + 3CO_2$

Dans cette réaction, l'oxyde de fer est réduit en fer et le carbone est oxydé en dioxyde de carbone.

Dans le haut fourneau, il fait si chaud que le monoxyde de carbone peut être utilisé pour réduire l'oxyde de fer à la place du carbone:

Oxyde de fer + monoxyde de carbone → fer + dioxyde de carbone

$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$.

I.4.2. Matières premières pour la réaction

MATIERE PREMIERE	CONTIENT	FONCTION
minerai de fer (hématite)	oxyde de fer	un composé qui contient du fer
coke	CARBONE	brûle dans l'air pour produire de la chaleur et réagit pour former du monoxyde de carbone (nécessaire pour réduire l'oxyde de fer)
calcaire	carbonate de calcium	aide à éliminer les impuretés acides du fer en réagissant avec eux pour former des scories fondues
l'air	l'oxygène	permet au coke de brûler, produisant ainsi de la chaleur et du monoxyde de carbone



Figure 1.4 : coulé de l'acier [3]

I.5.LES DIFFERENTES NUANCES D'ACIERS

I.5.1.classification des nuances d'acier

La norme NF EN 10020 définit le terme « acier » et établit :

- une classification en aciers non alliés, aciers alliés et aciers inoxydables d'après leur composition chimique.
- une classification des aciers non alliés et des aciers alliés en aciers de qualité ou aciers spéciaux, et des aciers inoxydables en fonction des principales classes de qualité définies selon les principales caractéristiques de propriétés ou d'applications.

La classification donnée par la norme, ou la spécification de produit, s'applique automatiquement quel que soit le type d'acier réellement produit, dans la mesure où la composition chimique de celui-ci correspond aux exigences de la norme de qualité en question.

ι.5.2.Règles de désignation des aciers

I.5.2.1.Norme européenne NF EN 10027

La norme européenne EN 10027 relative au système de désignation des aciers s'est substituée aux diverses normes nationales correspondantes. C'est ainsi qu'en France la norme NF A 02-005 a été remplacée depuis 1992 par la NF EN 10027.

Cette norme comporte deux parties :

NF EN 10027-1 : désignation symbolique ;

NF EN 10027-2 : désignation numérique.

- (groupe 1) Les aciers désignés à partir de leurs caractéristiques mécaniques et physiques (aciers pour façonnage ultérieur) ou les aciers désignés à partir de leur emploi (fils, tôles, aciers revêtus, ...)
- (groupe 2) Les aciers désignés à partir de leur composition chimique

I.5.2.1.1.Aciers désignés à partir de leur emploi et de leurs caractéristiques mécaniques et physiques ;

S 235

Le codage est réalisé à partir d'une lettre suivi d'une valeur numérique

E : Acier de construction mécanique Re mini

S : Acier de construction y compris les aciers à grains fins Re mini

H : Acier à haute résistance laminé à froid pour emboutissage à froid Re mini

P : Acier pour appareil à pression Re mini

D : Acier pour formage à froid Degré d'emboutissabilité

N.B. Re = limite élastique en MPa. Il existe aussi d'autres les lettres L, B, Y,etc., Pour plus d'information on se référe à la norme. Dans le cas d'aciers livrés moulés la désignation est précédée de la lettre G (exempleGS 235)

Exemples :

E335 : Acier de construction mécanique ayant une limite élastique minimale de 335MPa.

S 235 : Acier de construction ayant une limite élastique minimale de 235 MPa

Pour tous ces aciers, on peut trouver après la lettre et les chiffres, une série de symboles (lettre ou chiffre) indiquant des spécifications particulières. Par exemple :

S : 320 G D + Z 275 N A C

S : Acier de construction

320 : Désigne la limite élastique minimale Re mini de 320 MPa.

G : Etat de livraison non précisé.

D : Aptitude à recevoir un revêtement au trempé.

Z : Galvanisation à chaud.

275 : Poids de couche 275g/m²

N : Aspect du revêtement normal

A : Qualité de finition améliorée (SKIN PASS)

C : Finition chromatée

On voit qu'il est impératif de se reporter à la norme afin de connaître la signification de tous ces symboles.

I.5.2.1.2.Aciers désignés à partir de leur composition chimique

Nous distinguerons 4 cas **:**

1- Les aciers non alliés avec un pourcentage de manganèse inférieur à 1% à l'exclusion des aciers de décolletage : Sous-groupe 2-1 aciers non alliés sauf aciers de décolletage.

2- Les aciers non alliés de teneur en manganèse supérieure à 1%, les aciers non alliés de décolletage, aciers alliés pour lesquels la teneur d'aucun élément d'addition n'atteint 5% Sous-groupe 2-2 aciers faiblement alliés.

3- Les aciers alliés dont la teneur d'au moins un des éléments est supérieure ou égale à 5%. Sous-groupe 2-3 aciers fortement alliés.

4- Les aciers alliés qui sont utilisé comme aciers d'outillage à coupe rapide Sous-groupe 2-4 aciers rapides.

I.5.3 Les aciers au carbone

On appelle acier un alliage de fer et de carbone dont la teneur en carbone est inférieure à 2% en poids. Cette teneur limite vient de la limite de solubilité du carbone, à haute température, dans la phase cubique à faces centrées (c.f.c) du fer, appelée austénite. Des éléments d'alliages sont généralement ajoutés à un alliage Fe-C afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques et les propriétés des aciers.

ι.5.4 .Classification des aciers

Chaque pays a son mode de désignation des aciers. Le schéma ci-contre indique la désignation européenne selon la norme EN10027. Cette norme distingue quatre catégories :

1- les aciers non-alliés d'usage général (construction) ;
2- les aciers non-alliés spéciaux, pour traitement thermique, malléables, soudables, forgeables, etc. ;
3- les aciers faiblement alliés, pour trempe et revenu ; les éléments d'alliage favorisent la trempabilité et permettent d'avoir des structures martensitiques ou bainitiques, donc des aciers à haute dureté, à haute limite élastique, pour les outils, les ressorts, les roulements, etc. ;
4- les aciers fortement alliés : les aciers inoxydables, les aciers rapides, pour les outils à forte vitesse de coupe comme les forets.

I.5. 4. 1 Aciers non alliés

I.5.4.1. 1. Aciers non alliés d'usage général

Ils sont destinés à la construction soudée, à l'usinage, au pliage, etc. On distingue :

1- le type S qui correspond à un usage général de base (construction de bâtiment…) ;
2- le type P pour usage les appareils à pression ;
3- le type L pour les tubes de conduites ;
4- le type E pour la construction mécanique ;
5- le type R pour les rails.

La désignation de ces aciers comprend la lettre indiquant le type d'acier, suivie de la valeur de la limite élastique (R_e) exprimée en méga pascals (MPa). À noter qu'il s'agit de la valeur à faible épaisseur, les résistances décroissant avec l'épaisseur.

S'il s'agit d'un acier moulé, la désignation est précédée de la lettre G. La désignation peut être complétée par des indications supplémentaires (pureté, application dédiée, etc.).

Exemples :

- S185 (anciennement A33), R_e = 185 MPa
- S235 (anciennement A37, E24), R_e = 235 MPa
- E295 (anciennement A50), R_e = 295 MPa
- GE295, acier moulé, R_e = 295 MPa
- S355 J2 WP (anciennement A52, E36), R_e = 355 MPa, à grain fin et auto-patinable.

I.5.4.1.2 Aciers non alliés spéciaux (type C)

La teneur en manganèse est inférieure à 1 %, et aucun élément d'addition ne dépasse 5 % en masse. Leur composition est plus précise et plus pure et correspond à des usages définis à l'avance.

Leurs applications courantes sont les forêts (perceuses), ressorts, arbres de transmission, matrices (moules), etc.

Leur désignation comprend la lettre C suivie de la teneur en carbone multipliée par 100. S'il s'agit d'un acier moulé, on précède la désignation de la lettre G.

Exemples :

- C45, acier non allié comportant un taux de 0,45 % de carbone ;
- GC22, acier moulé non allié comportant un taux de 0,22 % de carbone.

I.5.4.1.3 Aciers faiblement alliés

La teneur en manganèse est supérieure à 1 % et aucun élément d'addition ne doit dépasser 5 % en masse. Ils sont utilisés pour des applications nécessitant une haute résistance.

Exemples de désignation normalisée :

- 35NiCrMo16 : contient 0,35 % de carbone, 4 % de nickel, du chrome et molybdène en plus faible teneur. Cet acier présente une bonne tenue aux chocs ainsi qu'une haute résistance mécanique jusqu'à 600 °C.
- 100Cr6 : 1 % de carbone et 1,5 % de Chrome. C'est l'acier typique utilisé dans les roulements à billes.

I.5.4.1.4 Aciers fortement alliés

Au moins un élément d'addition dépasse les 5 % en masse, destinés à des usages bien spécifiques, on y trouve des aciers à outils, réfractaires, *maraging* (très haute résistance, utilisés dans l'aéronautique et pour la fabrication de coque de sous-marins), *Hadfields* (très grande résistance à l'usure), Invar (faible coefficient de dilatation).

Un exemple de désignation normalisée est « X2CrNi18-9 » (il s'agit d'un acier inoxydable).

Les aciers rapides spéciaux (ARS, ou *high speed steels*, HSS) font partie de cette famille.

I.5.4.1.5 .Aciers inoxydables

Ces aciers présentent une grande résistance à la corrosion, à l'oxydation à chaud et au fluage (déformation irréversible). Ils sont essentiellement alliés au chrome, élément qui confère la propriété d'inoxydabilité, et au nickel, élément qui confère de bonnes propriétés mécaniques. Les aciers inoxydables sont classés en quatre familles : ferritique, austénitique, martensitique et austéno-ferritique. Les aciers inoxydables austénitiques sont les plus malléables et conservent cette propriété à très basse température (−200 °C).

Leurs applications sont multiples : chimie, nucléaire, alimentaire, mais aussi coutellerie et équipements ménagers. Ces aciers contiennent au moins 10,5 % de chrome et moins de 1,2 % de carbone.



Figure1.5 : Brides en acier inoxydable [4]

I.5.4.1.6 Aciers multiphasés

Ces aciers sont conçus suivant les principes des composites : par des traitements thermiques et mécaniques, on parvient à enrichir localement la matière de certains éléments d'alliage. On obtient alors un mélange de phasesdures et de phases ductiles, dont la combinaison permet l'obtention de meilleures caractéristiques mécaniques. On citera, par exemple :

- les aciers *Dual Phase* qui sont la déclinaison moderne de l'acier damassé, mais où la distinction entre phase dure (la martensite) et phase ductile (la ferrite), se fait plus finement, au niveau du grain[15] ;
- les aciers duplex formés de ferrite et d'austénite dans des proportions sensiblement identiques ;
- les aciers TRIP (*TRansformationInducedPlasticity*), où l'austénite se transforme partiellement en martensite après une sollicitation mécanique. On débute donc avec un acier ductile, pour aboutir à un acier de type *Dual Phase* ;

- les aciers damassés où des couches blanches ductiles pauvres en carbone absorbent les chocs, et les noires, plus riches en carbone, garantissent un bon tranchant.

I.6.LES TYPES D'ACIERS

1.6.1 Aciers de construction métallique

Les constructions requièrent toujours une certaine rigidité et une certaine résistance,si bien que les aciers de construction doivent toujours avoir une résistance minimale. D'un autre côté, ces aciers à résistance supérieure sont moins déformables.
La résistance s'obtient par l'ajout d'éléments d'alliage. Les principaux durcissant sont par ordre d'importance le carbone, le manganèse, le silicium, etc. Plus il y a d'éléments d'alliage, plus le matériau est dur. Les éléments d'alliage ont également une grand incidence sur la compatibilité de l'acier avec le soudage et la galvanisation, si bien quel'on ne peut ajouter indéfiniment des éléments d'alliage.
La nuance la plus répandue est le S235JR.

I.6.2 Aciers hautes limites élastiques (HLE)

Les aciers HLE sont des aciers à haute résistance obtenue par l'ajout d'éléments de micro-alliage (niobium, titane, vanadium, etc…) afin de minimiser l'ajout de carbone, de manganèse, etc. C'est pour cette raison qu'ils présentent une soudabilité supérieure.
Les aciers HLE (par exemple le S355MC) sont utilisés pour les applications où leur sa tous (résistance, déformabilité et soudabilité) peuvent être exploités : transport, levage, etc. Leur utilisation permet souvent une réduction de poids.

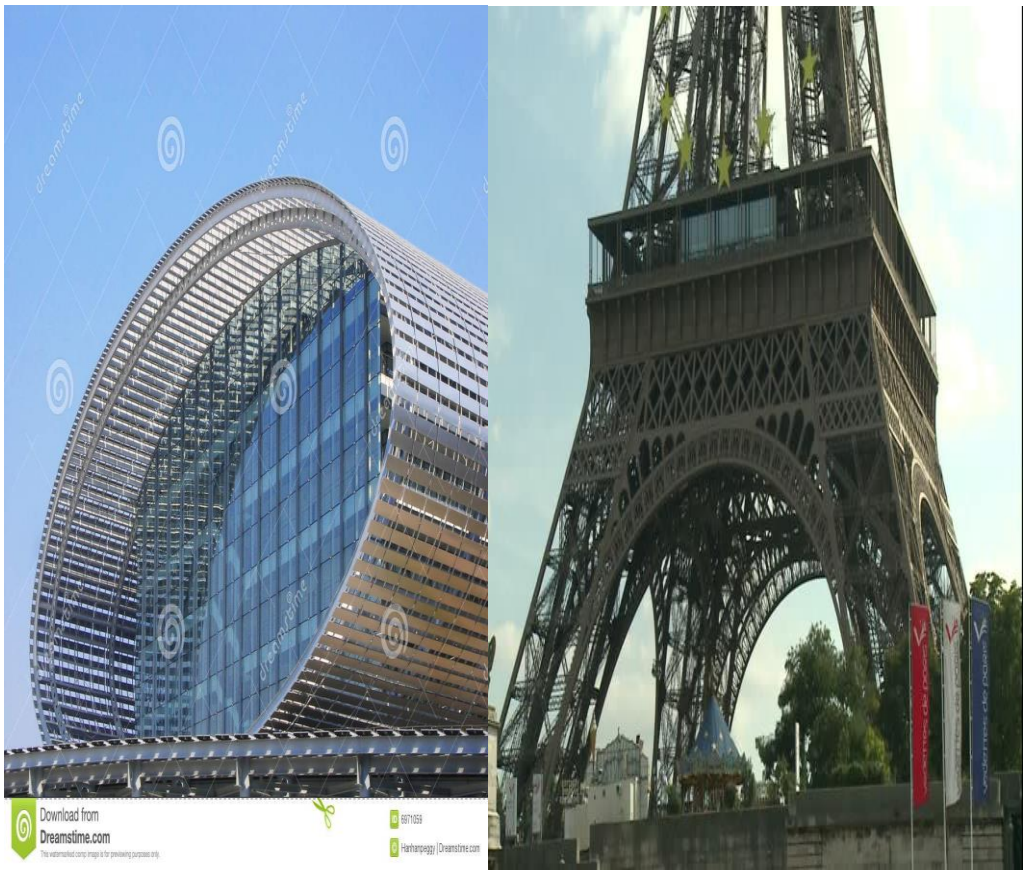
I.6.3.Aciers pour formage à froid

Les aciers pour formage à froid sont disponibles sous la forme de produits laminés à chaud (DD11, etc), laminés à froid (DC01, etc) et revêtus (DX51D+Z275-MAC, etc). Ils possèdent une faible teneur en carbone et sont faciles à déformer et à souder.
En ce qui concerne les propriétés mécaniques, les aciers pour formage à froid et emboutissage doivent répondre aux exigences suivantes :
- une limite d'élasticité Re peu élevée,
- un allongement A% élevé.

ı.6.4.Aciers revêtus métalliques

Pour garantir une longévité accrue à une tôle d'acier dans un environnement agressif, il faut arriver à une meilleure résistance à la corrosion. C'est pourquoi le support en acier reçoit un revêtement métallique.

On utilise surtout du zinc ou des alliages de zinc et d'aluminium pour revêtir les aciers plats. Le revêtement métallique offre une excellente protection contre la corrosion, parce qu'elle repose sur un double principe : l'effet barrière (fermeture physique de la surface de l'acier) et la protection cathodique. Comme le zinc est un métal moins noble que le fer, il « se sacrifiera » au profit de l'acier (se corrodera en premier). Contraire- ment aux oxydes de fer, les produits de corrosion du zinc (« rouille blanche »), forment une couche plus ou moins protectrice et ralentissent sensiblement la poursuite du processus de corrosion.



(a) (b)

(a) -Construction en acier moderne(b) - Tour Eiffel

Figure 1.6. Edifice en aciers.

I.6.5.Aciers à outils alliés

Les aciers à outils alliés ont des propriétés résultant d'une teneur d'au moins un des éléments d'alliage supérieure à une limite spécifique conformément à la norme DIN 10 020. Du coup, il devient possible d'avoir une bonne acceptation de trempe (selon l'alliage également une bonne trempabilité à cœur sur toute la section), une haute résistance à l'usure et/ou une haute ténacité, ce qui rend ces aciers utilisables dans le travail ou la transformation de matériaux comme la tôle ou les matières plastiques. Selon leur température de travail, on distingue les aciers de travail à froid (températures de travail constantes jusqu'à 200 °C), des aciers de travail à chaud (températures de travail constantes > 200 °C) et des aciers rapides (températures de travail constantes jusqu'à 600 °C). Il existe encore une autre distinction, non fondée sur la température mais sur l'application à laquelle on destine l'acier: c'est l'acier pour moulage plastique. Là, les caractéristiques d'un acier répondent aux contraintes du travail du plastique. A priori, tous les aciers à outils et tous les aciers spéciaux de construction habituels.

I.6.6.Aciers rapides

Les aciers rapides sont avant tout utilisés pour les outils devant fournir de très hautes vitesses de coupe (par ex. fraises). Ils sont fortement alliés (avec des éléments générateurs de carbures comme le chrome, le molybdène, le tungstène et le vanadium ou le cobalt pour des contraintes thermiques particulières) et, contrairement aux aciers faiblement alliés, permettent d'obtenir une vitesse de coupe pouvant être jusqu'à dix fois plus élevée car ils présentent une très haute résistance à la chaleur, à l'usure, une remarquable stabilité au revenu ainsi qu'une haute dureté calorique (dureté incandescente). On les appelle aussi aciers HSS (High Speed Steel). Exemple: 1.3343 / AFNOR HS6-5-2C.

I.6.7.Aciers pour moulage plastique

L'acier pour moulage plastique désigne une catégorie d'acier dont les caractéristiques permettent non seulement le travail à froid ou celui à chaud mais, de plus, l'intégration dans les processus de transformation du plastique. Comme les contraintes sont très variées, bon nombre d'aciers à outils et d'aciers spéciaux de construction disponibles sont utilisés pour la fabrication de pièces en plastique. Là, on distingue les outils pour injection (le plastique durcit dans l'outil, par exemple dans un

moule) et les outils pour coulée (dans ce cas, l'acier est en contact continu avec du plastique liquide, par exemple des outils d'extrusion). Les aciers pour moulage plastique doivent être très polissables (haut degré de pureté) en raison de la très haute qualité requise pour la surface du produit fini, résistants à la chaleur, à la pression et à l'usure. Pour la transformation des produits en PVC, ils doivent être également résistants à la corrosion (rouille et acide). Exemple: 1.2316 / AFNOR Z35CD17.

I.6.8.Aciers de traitement

Les aciers de traitement (traiter: trempe et revenu) sont des aciers non alliés et alliés, ayant en général une teneur en carbone comprise entre 0,25 et 0,60 %, particulièrement adaptés à la trempe et affichant des caractéristiques mécaniques précises après le revenu (par ex. une résistance à la traction souhaitée avec une bonne ténacité, qui ne pourrait pas être atteinte en l'état recuit normal). Parfois l'état de livraison est recuit et l'acier sera traité à dessein (par ex. 1.1730 / AFNOR XC48), ou bien l'acier est livré en tant que "prétraité" à l'état déjà traité (Quenched and Tempered, "QT") (ex.: 1.2312 / AFNOR 40CMD8+S).

I.7.Influence des éléments chimiques sur les propriétés de l'acier:

Les aciers sont des alliages de fer et de carbone dont la teneur en carbone est inférieure à 2% outre le fer et le carbone qui en sont les éléments essentiels rentrant dans leur composition, ils se composent de plusieurs autres inclusions ou impuretés constantes ou inévitables telles que Mn, Si, P, S, O, M, H, etc. . . qui influent sur leur propriétés. La présence de ces inclusions s'explique :

- ✓ Soit par la difficulté de l'élimination de certaines d'entre elles lors de l'élaboration (S,P).
- ✓ Soit par leur passage dans l'acier lors de l'opération de désoxydation (Mn , Si).
- ✓ Soit encore par addition en vue d'améliorer les propriétés de l'acier (Cr, Ni, Mo, etc.).

Les fontes contiennent ces mêmes inclusions ou impuretés mais en quantité plus grande. L'influence des éléments chimiques sur les propriétés de l'acier peut être divisée en deux groupes : les éléments chimiques constants et les éléments d'alliages.

I.8.influence d'éléments d'alliage sur les aciers

La fragilité et la plasticité sont les propriétés essentielles de l'acier, le même métal peut être ductile ou fragile suivant :

- La composition chimique.
- L'état de surface.
- Et la température.

Parmi les éléments chimiques, généralement contenus dans les aciers ordinaires, on peut citer :

I. 8.1 .Influence du carbone:

Le carbone influe sur les propriétés mécaniques et sur le nombre de phases présentes dans l'acier. La ferrite une fois associée à la cémentite nous donne la perlite. L'augmentation de la teneur en carbone accroît la dureté, la charge à la rupture et la limite élastique tout en diminuant l'allongement, la striction et la résilience. Notons toutefois que la résistance commence à chuter à partir de 1,2% C. Les propriétés physiques changent aussi et on constate une diminution de la densité, de la conductibilité thermique, de l'induction rémanente, de la permittivité, et l'augmentation de la résistivité électrique.

I.8.2 Influence du silicium :

La teneur en silicium dans l'acier varie de 0,05 à 0,3%, il se trouve en solution dans la phase ferritique. Il a peu d'influence sur les propriétés de l'acier, mais rend toute fois l'acier plus homogène à la coulée, en s'opposant, grâce à son pouvoir réducteur à la formation de soufflures, l'un des défauts les plus fréquents qu'on rencontre après solidification de l'acier. Sa présence en grande quantité permet une bonne désoxydation de l'acier.

I.8.3. Influence du manganèse :

Le manganèse existe en solution dans la ferrite sous forme de MnS et surtout sous forme de carbure Mn_3C associé à la cémentite Fe_3C. Sa teneur dans l'acier varie de 0,2 à 0,8% la présence du manganèse dans l'acier est très souhaitée, car d'une part il

augmente la dureté de l'acier et sa trempabilité et d'autre part il joue le rôle d'antidote du soufre, car le soufre est moins nocif dans la mesure où il se trouve sous forme de MnS et non sous forme de FeS ou de soufre libre

I.8.4 .Influence du phosphore :

Il existe en solution dans la ferrite et provoque un grossissement du grain, ce qui augmente la fragilité de l'acier à froid. En se ségrégant facilement, contribue à l'hétérogénéité de l'acier. Sa teneur doit être limitée entre 0,025 et 0,040%. Le phosphore augmente la limite élastique et la charge à la rupture tout en diminuant la plasticité et la ductilité.

I.8.5. Influence du soufre :

C'est un élément nuisible pour l'acier, il diminue surtout sa forgabilité. Il peut exister sous forme de MnS et de FeS. A froid le soufre conduit également une diminution importante de la résistance mécanique. Sa teneur dans l'acier est limitée entre (0,035 et 0,06%). généralement inférieure à la teneur en en manganèse. Parfois on utilise des aciers de décolletage riches en soufre (0,015 à 0,025) % afin de faciliter la fragmentation des copeaux. Un teneur minimale en soufre (0,02%) est toujours nécessaire pour permettre une bonne usinabilité.

I.8.6 .Influence du niobium :

Il a le même avantage que le titane mais beaucoup moins volatil. Dans le domaine du soudage il le remplace dans les métaux d'apport.

I.8.7.Influence du titane :

Il est caractérisé par un pouvoir carburigène élevé (comme le niobium) et réduit donc la dureté de la martensite. Capture le carbone en solution à haute température et, de ce fait, réduit le risque de corrosion intergranulaire des aciers inoxydables.

I.8.8 Influence du tungstène :

Le tungstène améliore la dureté à haute température des aciers trempés revenus.

I.8.9. Influence du vanadium :

Il augmente la trempabilité, élève la température de surchauffe, provoque une résistance à l'adoucissement par revenu (effet de durcissement secondaire marqué).

I.8.10.Influence de l'azote, de l'oxygène et de l'hydrogène :

L'azote et l'oxygène sont contenus dans un acier sous forme d'inclusions non métalliques fragiles tels que FeO, $Si0_2$, AI_2O_3 (oxydes) et Fe_4N (nitrures)...., de solution solide ou à l'état libre dans les volumes défectueux du métal (retassures, criques etc...).

Les inclusions d'insertion (azote, oxygène), en se concentrant aux joints de grains, forment le long de ces joints des nitrures et des oxydes, en élevant ainsi le seuil de fragilité à froid et en alternant la résistance à la rupture fragile. Les inclusions non métalliques (oxydes, nitrures, scories) étant des concentrateurs de contraintes sont susceptibles de réduire sensiblement, si leur quantité est importante ou s'ils s'accumulent en agrégats, la limite de fatigue est la résilience. L'hydrogène dissout dans l'acier est un élément très nocif qui exerce une forte action fragilante. Absorbé pendant la fusion, l'hydrogène non seulement rend l'acierplus fragile, mais détermine dans les laminés et les grosses pièces de forge la formation des flocons. Les flocons sont des criques très fins et d'une forme ovale ou arrondie qui apparaissent dans une cassure sous la forme de taches ou flocons argentés. Ils altèrent brusquement les propriétés de l'acier. Leur présencerend le métal inutilisable dans l'industrie. La fragilisation par H_2 s'observe souvent lors du soudage, l'hydrogène est alors une source de criques à froid dans le métal d'apport et de base. La coulée et fusion sous vide, diminuent sensiblement la teneur en H2 dans l'acier.

I.8.11.Eléments gammagènes (Ni, Mn)

Ces éléments abaissent le point A_3 et élèvent le point A_4, ce qui donne une extension du domaine de la phase γ et une réduction du domaine de la phase α. La figure 1.7 montre que l'addition de ces éléments fait monter le point A_4 jusqu'à la ligne du solidus. Alors que dans les conditions d'une concentration élevée de l'élément d'alliage le point A_3 descend jusqu'à l'ambiante empêchant ainsi la transformation.

I.8.12. Eléments alphagènes (Cr, W, Mo, V, Al, Si,…) :

Ces éléments abaissent le point A_4 et élèvent le point A_3.Il en résulte que pour une concentration déterminée des éléments d'alliages, les lignes de transformation A_3 et A_4 se rencontrent et le domaine de la phase γ, se trouve complètement fermé, c'est à dire il y a extensiondu domaine de la phase α (ferritique) et un rétrécissement du domaine γ (austénitique). Les alliages de cetype sont dits " ferritique ". Lorsque la transformation **α--γ** ne se produit que partiellement, lesalliages s'appellent semi-ferritiques.

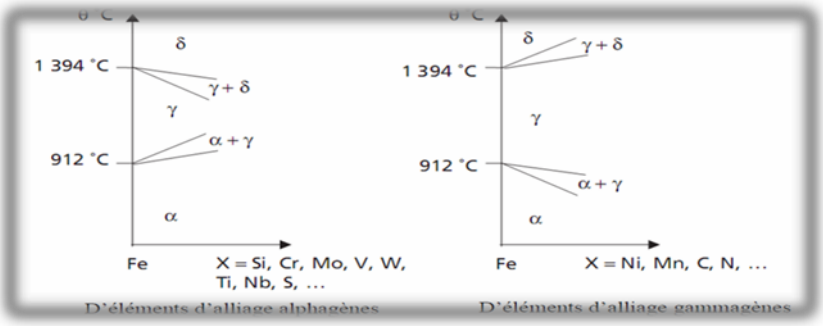


Figure l.7 : Influence des éléments alphagènes et gammagènes sur le diagramme d'équilibre fer carbone [1].

I.9.Comportement mécanique des aciers

Toute structure subit des sollicitations ou actions extérieures qui provoquent des déformations, mais aussi des efforts internes, à savoir les contraintes résiduelles. Les contraintes sont principalement de cinq natures différentes :

La traction, la traction-compression, la torsion,la flexion, la compression et le flambement, le cisaillement, et la torsion.

D'autres phénomènes mécaniques ou efforts extérieurs sont à prendre en considération tels que : la résistance à la « rupture fragile » (résilience) et la résistance à la fatigue (rupture soudaine et endurance).

I.9.1. Essai de traction :

L'essai de traction est l'essai mécanique le plus fréquemment utilisé. Il consiste à soumettre une éprouvette du matériau à étudier à deux efforts F de tension de sens opposés et de même valeurs absolues. La ligne d'action étant confondue avec l'axe de symétrie ou de rotation de l'éprouvette. On mesure instantanément l'allongement Δl, correspondant.

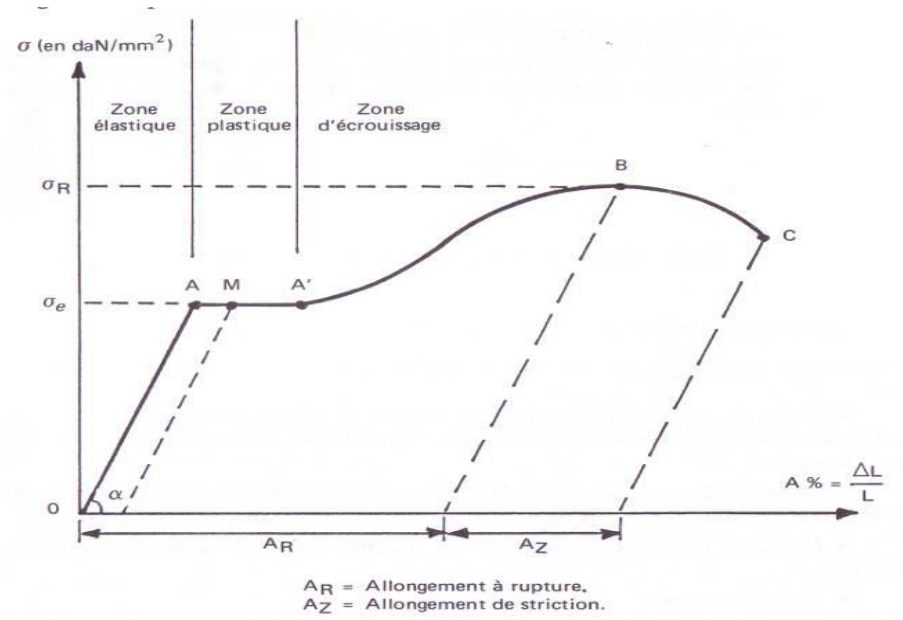


Figure 1.8 : Schématisation l'assai de traction [5].

- OA: zone rectiligne pour laquelle il y a proportionnalité entre la déformation et l'effort appliqué. C'estune zone élastiqueréversible
- AA': palier horizontal, traduisant un allongement sous charge constante. Il y a écoulement du matériau, c'est la zone plastique.
- A'B: la charge croît de nouveau avec les allongements jusqu'au point B. si l'on décharge l'éprouvette dans la zone plastique A'B on constate un allongement rémanent; si on la recharge, on constate un comportement élastique jusqu'à la charge précédente: on a augmenté la limite d'élasticité, le métal a été écroué.
- BC: l'allongement continue, bien que la charge soit décroissante, jusqu'au point C où il y a rupture. Dans cette phase il y a striction: la déformation

plastique est localisée dans une faible portion de l'éprouvette et n'est donc plus homogène.

I.9.2. Essai de traction-Compression

La traction-compression est l'essai le plus couramment utilisé sur les métaux (figure 1.9). Toutefois, les déformations atteintes par ce type d'essai sont limitées par la rupture du matériau (en traction), et par le flambage de l'éprouvette (en compression). Ce type d'essai est donc principalement utilisé pour obtenir une loi de comportement simple et rapide en traction, ou pour solliciter cycliquement le matériau en traction-compression, à faibles déformations, et obtenir une loi de comportement en fatigue.

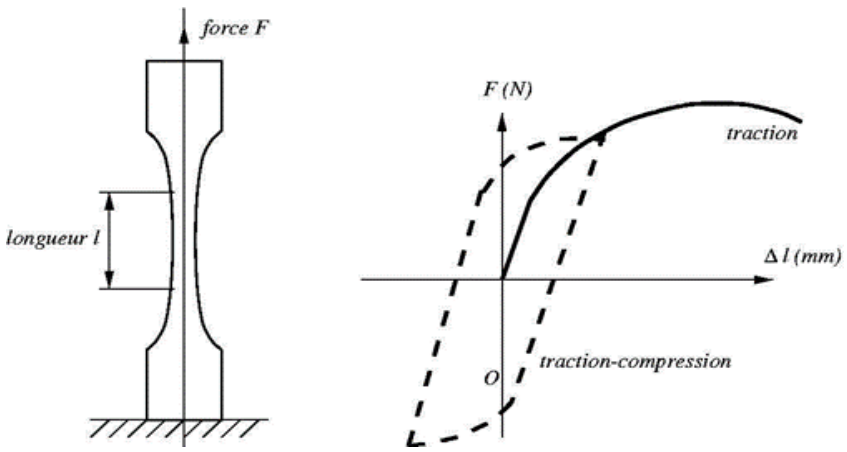


Figure.1.9 Schématisation de l'essai de traction-compression [5].

I.9.3.Essai de torsion

L'essai de torsion (figure 1.10) permet d'avoir accès à une loi de comportement pour de grandes déformations, sans problèmes de frottement entre l'´eprouvetteet l'outil. Cependant, la déformation et la contrainte ne sont pas homogènes le long du rayon de l'éprouvette. On utilise donc parfois un cylindre à paroi mince comme éprouvette.

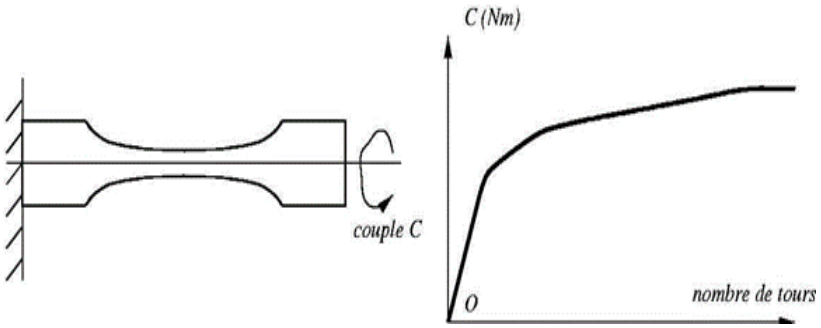


Figure. 1.10 Schématisation de l'essai de torsion [5].

I.9.4. Essai de Flexion

La flexion (figure 1.11) est l'essai le plus couramment employé sur les céramiques. La flexion quatre points permet de solliciter le matériau avec un moment constant entre les deux points d'application de la charge. Comme en torsion, la déformation et la contrainte ne sont pas constantes dans l'´epaisseur de l'´eprouvette.

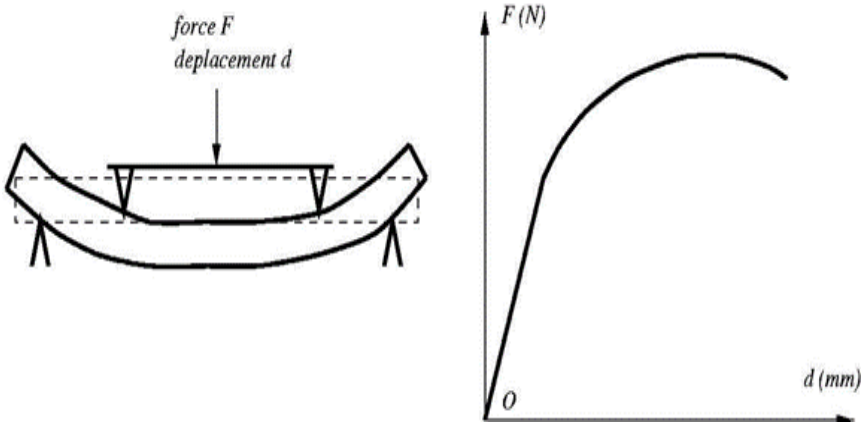


Figure. 1.11 Schématisation de l'essai de flexion quatre points [5].

I.9.5. Essai de compression et de flambement

Les déformations dues à la compression ne jouent pas toujours un rôle déterminant sur les éléments de structure verticaux. En revanche, un phénomène d'instabilité appelé « flambement » apparait à partir d'une certaine charge et en fonction du rapport existant entre la section et la hauteur de l'élément considéré. Le flambe- ment

est une forme d'instabilité propre aux éléments comprimés élancés tels que les poteaux, colonnes, barres comprimées.

Le flambement est possible suivant les deux axes principaux de la section de l'élément. Si les conditions d'appuis sont les mêmes selon ces deux axes, le flambement se fera suivant l'axe présentant l'inertie la plus faible.

Comme pour les phénomènes de flexion, la section de la barre comprimée va jouer un rôle déterminant pour le choix du profil économique. Le profil idéal du point de vue du flambement sera donc le tube rond, profil creux dont la matière est économisée au maximum et dont l'inertie est maximale dans toutes les directions. Les profils en H permettent aussi une bonne répartition de la matière.

I. 9.6. Essai de cisaillement ou effort tranchant

L'analyse des contraintes de compression, de traction et de flexion ne suffit pas pour décrire complètement le comportement des matériaux.

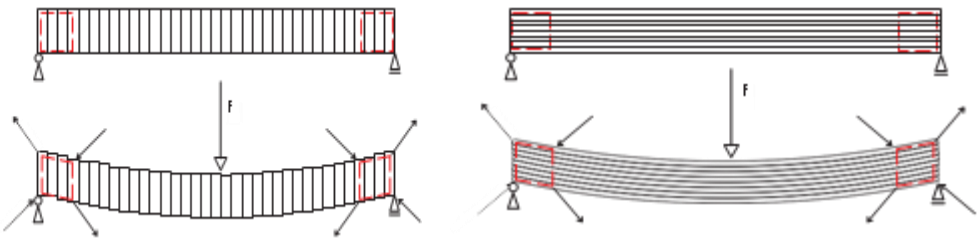


Figure 1.12 : Schémas décomposant la traction et la compression dans une poutre fléchie et montrant le phénomène de cisaillement longitudinal et transversal [5].

I.9.7.La résistance à la « rupture fragile »

L'appréciation de la résistance de l'acier au choc se fait par un essai conventionnel dit « de flexion par choc sur éprouvette bi-appuyée », que l'on appelle essai « de résilience ». Plus le niveau d'énergie nécessaire pour rompre l'éprouvette est important, plus l'acier n'est résistant. L'énergie augmente quand la température augmente.

Le phénomène dit de « rupture fragile » est susceptible de se produire lors- qu'il y a un défaut, une fissure, ce qui arrive plus fréquemment quand le pro- duit est d'une

épaisseur supérieure à 10 mm. Il peut aussi apparaître lorsque la température s'abaisse, exception faite des aciers inoxydables.

Afin de réduire ce risque, il faut évidemment utiliser des aciers conformes aux normes. Mais il faut aussi pour les détails constructifs assurer un changement progressif des épaisseurs, meuler les pieds de cordon de soudure, en bref, assurer une meilleure circulation des efforts sans changement brusque de direction, pour éviter des concentrations de contraintes.

I.10. Fatigue des aciers :

I.10.1.Définition

On entend par fatigue, ou endommagement par fatigue, la modification des propriétés des matériaux consécutive à l'application de cycles d'efforts, cycles dont la répétition peut conduire à la rupture de la pièce. Le danger, bien particulier à la fatigue, est que la rupture peut se produire brutalement pour des contraintes inférieures à la limite d'élasticité macroscopique de la pièce et sans modification apparente de son aspect extérieur. Lors d'un endommagement par fatigue, il est important de distinguer l'amorçage des fissures de leur propagation. Ces deux stades de l'endommagement interviennent à des degrés divers dans les structures. On peut schématiser, comme l'a fait Coffin, ces stades d'endommagement sur un composant. L'amorçage se fera préférentiellement aux endroits où l'on trouve des concentrations de contraintes importantes ce qui entraînera une plasticité généralisée de la zone. La propagation se fera dans une zone de dimension plus grande avec une plasticité réduite dans une zone présentant un état de contrainte globalement élastique. Pour étudier ces deux stades de l'endommagement, deux types d'essais distincts existent : les essais de fatigue amorçage et les essais de fatigue propagation.

I.10.2. L'endommagement par fatigue

La caractérisation de l'endommagement par fatigue dépend également de l'échelle d'observation. Ainsi l'amorçage d'une fissure aura une signification différente pour un ingénieur qui contrôle les composants en service et pour un scientifique qui étudie les matériaux à une échelle plus fine. On peut distinguer des fissures :

Microstructure élément courtes lorsque la taille des fissures avoisine la taille de grain.

• **Mécaniquement courtes** lorsque leur taille est proche de la dimension de la zone plastique.

• **Physiquement courtes** qui ont une taille de quelques dixièmes de millimètre.

• **Macroscopique** dont la taille et de quelques millimètres.

I.10.3.Différentes étapes de l'endommagement

I.10. 3.1.Amorçage

I.10.3.2.Propagation

On va parler sur la fatigue des aciers avec plus de détails dans le deuxième chapitre.