

**François-Xavier GOUDEZEUNE**  
**Jonathan BRUHAMMER**  
**Alexandre PASCUAL**  
**Rebecca DONGRAZI**

**Matinder SINGH**  
**Mickaël BAPTISTA**  
**Charles DESCAMPS**

# Construction Métallique

**T.C.E**

l'école  
d'ingénieurs  
du **CESI**  
centre de Paris

## SOMMAIRE

<b>I. PRESENTATION</b>	<b>5</b>
I.1. HISTORIQUE	5
I.2. POURQUOI L'ACIER ?	5
I.3. ANALYSE FONCTIONNELLE	6
I.4. TERMINOLOGIE	8
<b>II. LES NORMES</b>	<b>9</b>
II.1. NORMES LIEES A LA STABILITE DE L'OUVRAGE	9
II.2. NORMES LIEES AUX ASSEMBLAGES	10
II.3. NORMES LIEES AUX DIFFERENTS PRODUITS UTILISES EN STRUCTURE METALLIQUE	11
II.4. NORMES LIEES A LA MISE EN ŒUVRE	13
II.5. NORMES LIEES AUX ESSAIS ET CONTROLES	13
<b>III. LES PRINCIPAUX MATERIAUX</b>	<b>14</b>
III.1. L'ACIER	14
III.1.1. SES INTERETS	14
III.1.2. SES INCONVENIENTS	15
III.1.3. SA FABRICATION	15
III.1.4. LES NUANCES ET LES QUALITES D'ACIER	19
III.2. L'ALUMINIUM	19
III.2.1. SES AVANTAGES	19
III.2.2. SA PRODUCTION	20
III.2.3. SON RECYCLAGE	20
<b>IV. COUPES ET CONCEPTIONS</b>	<b>22</b>
IV.1. LES PROFILES EN ACIER	22
IV.2. LES ASSEMBLAGES	27
IV.2.1. LES ASSEMBLAGES PAR PROCEDES MECANIQUES	27
IV.2.2. LES ASSEMBLAGES PAR PROCEDES DE SOUDAGE	35
IV.2.3. CHOIX DES DIFFERENTS ASSEMBLAGES	38
<b>V. DIMENSIONNEMENT ET LIAISONS</b>	<b>39</b>
V.1. DIMENSIONNEMENT	39
V.1.1. LA FONCTION	39
V.1.2. LA NATURE DES ACTIONS	39
V.1.3. REGLEMENTS AUX ETATS LIMITES	40
V.1.4. PRINCIPE DE DIMENSIONNEMENT D'UNE POUTRELLE METALLIQUE	40
V.2. LA STRUCTURE HYPERSTATIQUE	42
V.2.1. POURQUOI LA LIMITE PLASTIQUE ?	42
V.2.2. MODELISATION ET ANALYSE	44
V.2.3. CONCLUSION	45
V.3. CHOIX DU SYSTEME PORTEUR D'UN BATIMENT	45

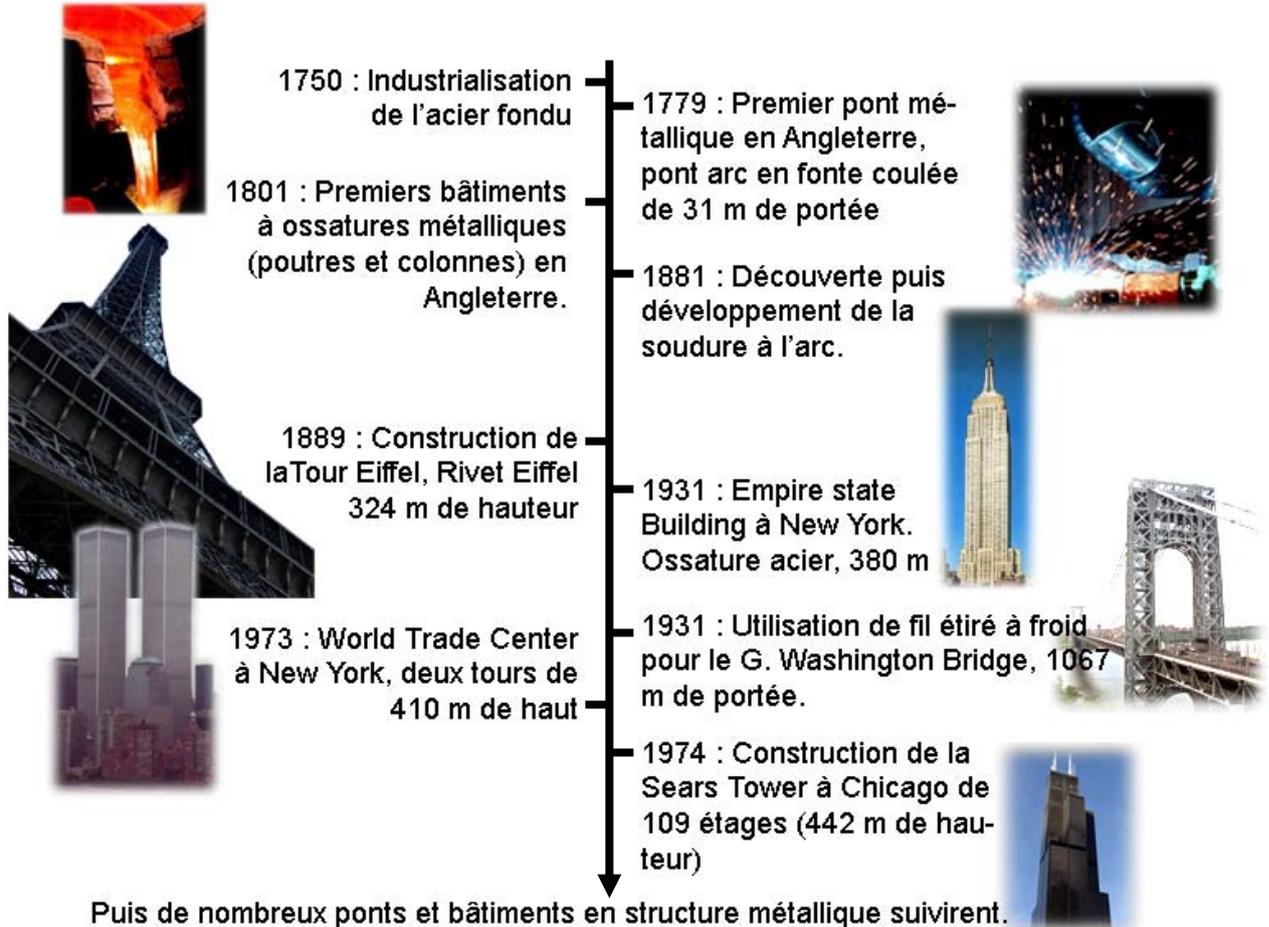
<b>V.4. LES MODES D'ASSEMBLAGE</b>	<b>46</b>
V.4.1. LES ENCASTREMENTS	46
V.4.2. LES ARTICULATIONS	47
V.4.3. LES APPUIS SIMPLES	48
V.4.4. LES JONCTIONS DES POTEAUX	48
V.4.5. RIGIDITE DES ASSEMBLAGES	48
<b><u>VI. PLANIFICATION ET INTERFACES AVEC LA CHARPENTE METALLIQUE</u></b>	<b>50</b>
VI.1. PLANIFICATION	50
VI.2. INTERFACES AVEC LA CHARPENTE METALLIQUE	53
VI.3. LA PROTECTION CONTRE L'INCENDIE	55
VI.3.1. EXIGENCES ET CRITERES	55
VI.3.2. LES DIFFERENTES STRUCTURES	55
<b><u>VII. SECURITE</u></b>	<b>58</b>
VII.1. L'OXYCOUPAGE	58
VII.2. LE SOUDAGE A L'ARC ELECTRIQUE	59
VII.3. STOCKAGE EN USINE	59
VII.4. DECHARGEMENT DES ELEMENTS DE CHARPENTE ET STOCKAGE SUR CHANTIER	60
VII.4.1. LEVAGE ET ASSEMBLAGES DES ELEMENTS VERTICAUX	60
VII.4.2. LEVAGE ET ASSEMBLAGES DES ELEMENTS HORIZONTAUX AUX VERTICAUX	61
<b><u>VIII. QUALITE / ENVIRONNEMENT</u></b>	<b>63</b>
VIII.1. LA NORME QUALITE	63
VIII.2. LE PLAN PARTICULIER DE CONTROLE	64
VIII.2.1. LORS DE LA PHASE D'ETUDE	64
VIII.2.2. EN FIN DE FABRICATION	64
VIII.2.3. LORS DE LA MISE EN ŒUVRE	65
VIII.2.4. LORS DE LA RECEPTION	65
VIII.3. ENVIRONNEMENT	65
VIII.3.1. L'ACIER ET LA DEMARCHE HQE	65
VIII.3.2. L'ACIER : UNE REPOSE PERTINENTE A LA DEMARCHE HQE	66
VIII.3.3. LE TRAITEMENT DES DECHETS SUR UN CHANTIER DE CONSTRUCTION METALLIQUE	69
<b><u>IX. LA MISE EN ŒUVRE</u></b>	<b>71</b>
IX.1. DEROULEMENT DU MONTAGE PAR PHASE	71
IX.2. PREPARATION DU MONTAGE	72
IX.2.1. CHOIX DE LA METHODOLOGIE	72
IX.2.2. PROJET D'INSTALLATION DE CHANTIER	72
IX.2.3. DUREE DE MONTAGE	73
IX.2.4. MOYENS DE LEVAGE	74
IX.3. LIVRAISON DE LA CHARPENTE METALLIQUE	75
IX.3.1. LE TRANSPORT	75
IX.3.2. LIVRAISON	76
IX.3.3. DECHARGEMENT – MANUTENTION DE LA CHARPENTE METALLIQUE	76
IX.3.4. STOCKAGE	77
IX.4. MONTAGE DE LA CHARPENTE METALLIQUE	78

---

IX.4.1.	RELEVÉ DU SUPPORT	78
IX.4.2.	PREASSEMBLAGE DE LA CHARPENTE	78
IX.4.3.	MISE EN PLACE DES ÉLÉMENTS PROVISOIRES	79
IX.4.4.	MONTAGE PROVISOIRE ET REGLAGE	80
IX.4.5.	MONTAGE DÉFINITIF	81
<b>X. LES PATHOLOGIES</b>		<b>82</b>
<hr/>		
X.1.	LA FATIGUE	82
X.2.	LA CORROSION D'UNE SURFACE PEINTE	83
X.3.	LA CORROSION D'UNE SURFACE GALVANISÉE	83
X.4.	LA CORROSION D'UNE SURFACE POURVUE DE FLOCAGE	84
X.5.	LA DÉFORMATION DES ÉLÉMENTS (FLAMBEMENT, DEVERSEMENT)	84
X.6.	LA CORROSION PAR FORMATION D'UNE PILE ÉLECTROCHIMIQUE	85
<b>XI. L'ÉCONOMIE DU LOT</b>		<b>86</b>
<hr/>		
XI.1.	NOTION DE PRIX	86
XI.2.	PRIX DE LA FOURNITURE DES MATÉRIAUX	86
XI.2.1.	ACHAT DES MATÉRIAUX	86
XI.2.2.	PRIX DES MATÉRIAUX	87
XI.3.	COUT DE FABRICATION	88
XI.4.	COUT DE MONTAGE	89
<b>XII. INNOVATIONS</b>		<b>90</b>
<hr/>		
<b>REFERENCES :</b>		<b>93</b>
<hr/>		
BIBLIOGRAPHIE :		93
WEBOGRAPHIE :		93

## I. Présentation

### I.1. Historique

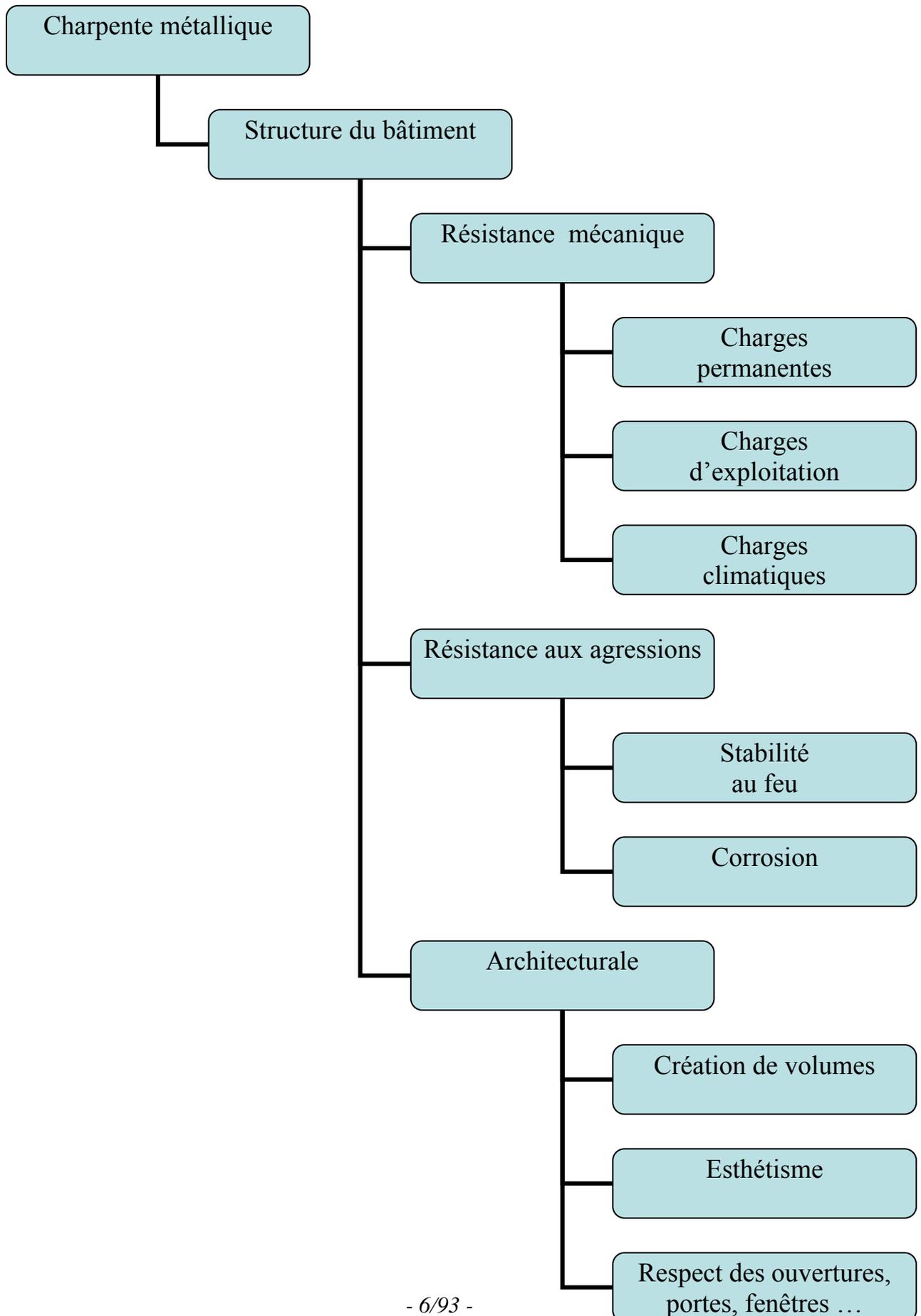


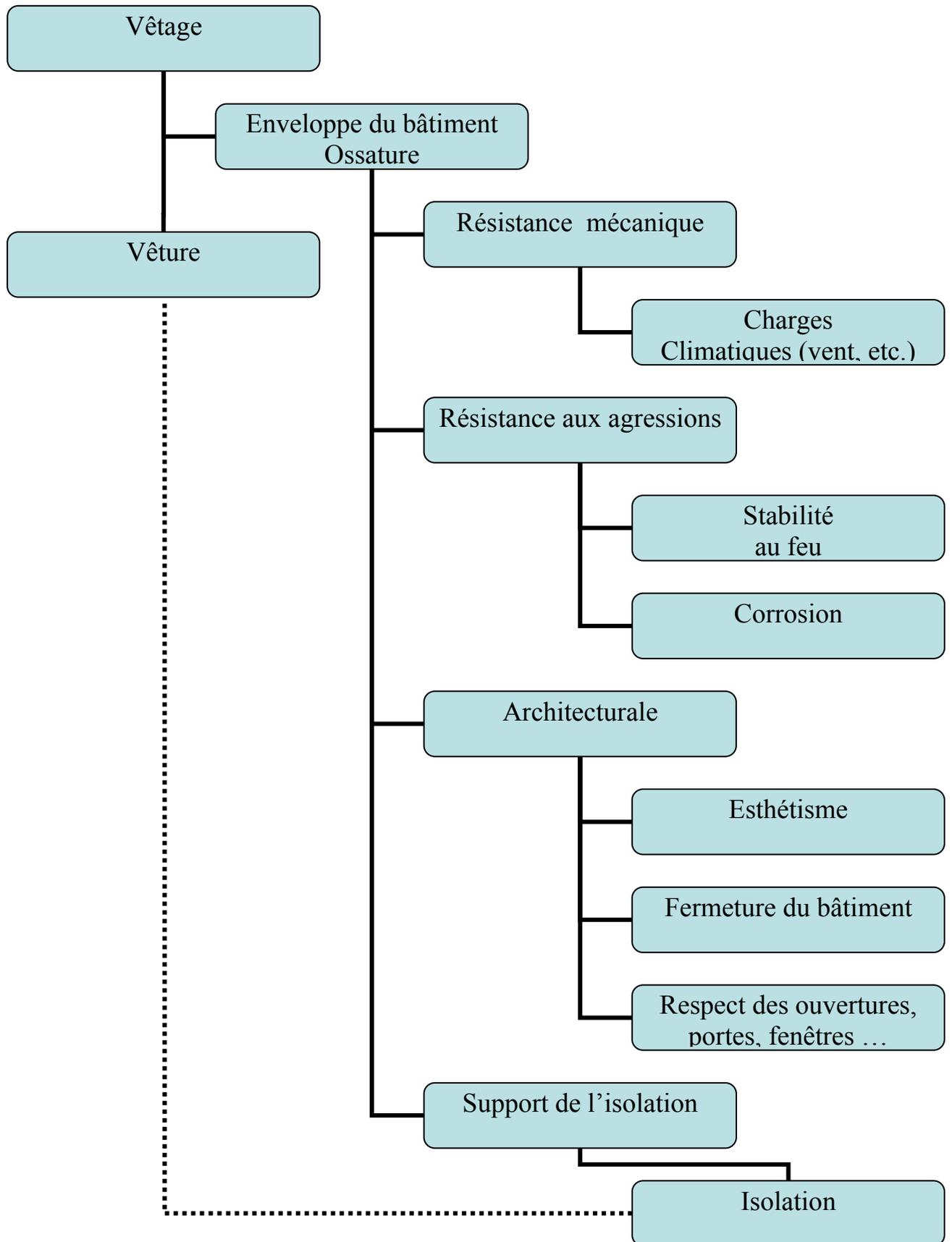
### I.2. Pourquoi l'acier ?

Avantages	Inconvénients
Souplesse architecturale	Psychologique : construction éphémère
Compétitivité	Peu d'inertie thermique
Facilement démontable	Tenue au feu médiocre
Chantier plus propre	De nombreux ponts thermiques
Volume peu encombré, structure élancée	
Extension facilitée	
Construction propre, sans rejet et recyclable	

Compte tenu des différents avantages et inconvénients, les constructions métalliques sont adaptées à des bâtiments de type industriel, tel que des hangars. Le problème de l'inertie thermique est pallié par un système de chauffage de type soufflant.

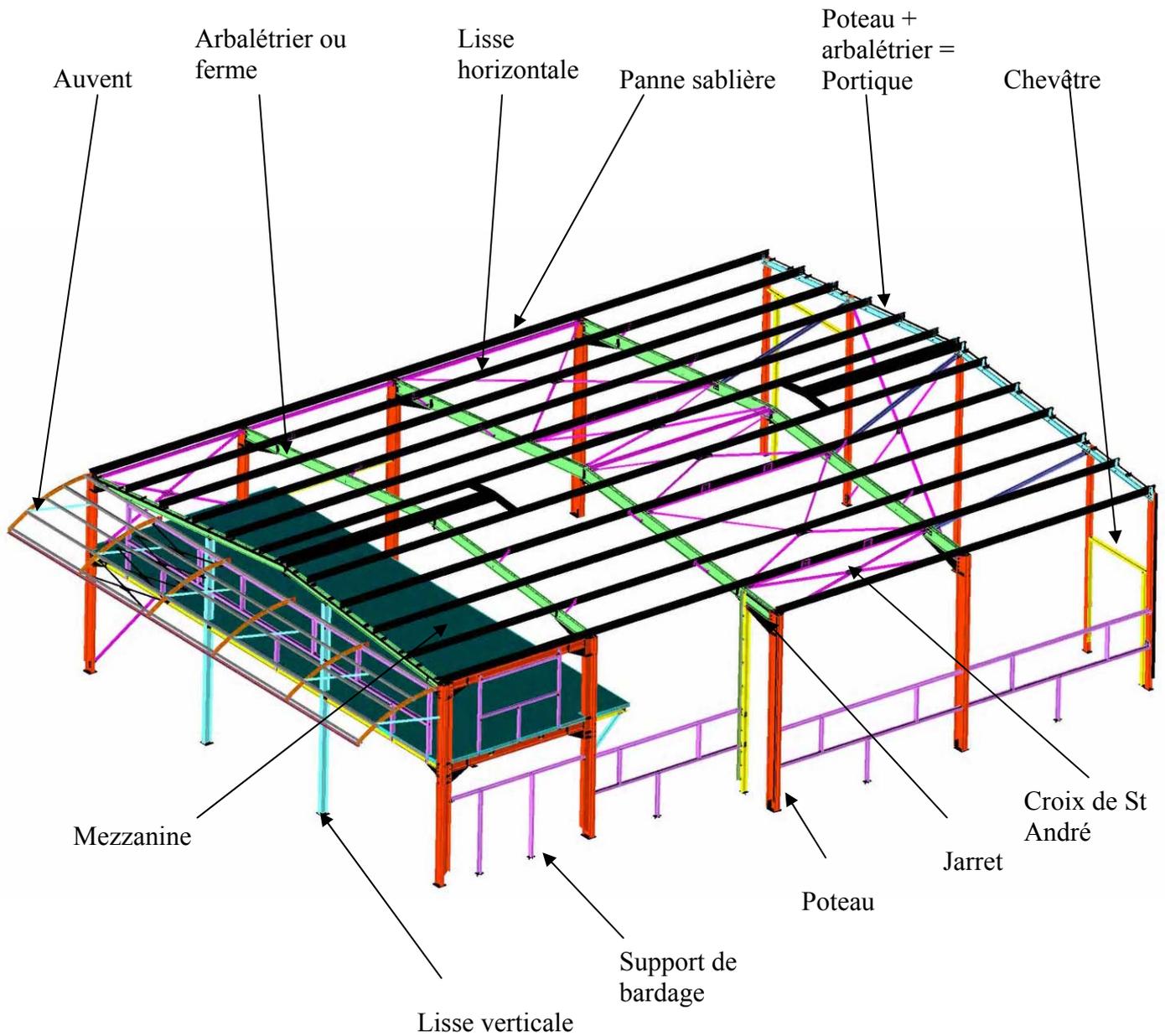
### I.3. Analyse fonctionnelle





## I.4. Terminologie

### Schéma général d'un bâtiment industriel



## II. Les Normes

**La charpente métallique est un mode de construction qui est très règlementé et normé.**

Toutes ces normes et règles sont régies par les Documents Techniques Unifiés suivants :

- DTU 32.1 : Charpente Métallique Acier
- DTU 32.2 : Charpente Métallique Aluminium

Pour être plus précis, nous allons détailler les plus importantes règles et normes qui se rapportent à la charpente métallique acier, car plus courante qu'aluminium.

### II.1. Normes liées à la stabilité de l'ouvrage

• **CM 66 et ADDITIF 80 :** CM 66 est un ouvrage qui énonce les règles de calcul des constructions en acier, dites **règles CM 66**, accompagnées de l'**Additif 80**. Les Règles CM 66 concernent essentiellement les structures à barres constituées à partir de pièces simples ou composées de profils laminés. En prenant uniquement en compte le comportement **élastique** de l'acier, elles ramènent les calculs de contraintes à une contrainte de **référence**, dite contrainte de ruine, qui est la limite d'élasticité de l'acier utilisé. L'Additif 80 introduit les notions de plasticité de l'acier et d'états limites (ELU et ELS), ce qui permet de tirer parti des propriétés élasto-plastiques de l'acier et d'alléger les structures. Cela signifie que le dépassement du seuil d'élasticité est autorisé et que l'additif 80 permet de définir des méthodes de vérification prenant en compte la plastification de l'acier. Ces deux documents réglementent donc la conception et le calcul des constructions métalliques.

• **NV 65/67 et évolution N 84 :** Cette règle permet de prendre en compte les **efforts extérieurs de neige et de vent** pouvant s'exercer sur une structure métallique lors de son dimensionnement. Ces efforts, qui sont calculés par rapport à la situation géographique, ainsi que la morphologie de la structure, ajoutent une charge maximale pour être le plus défavorable possible lors de la vérification de la stabilité.

Ces deux dernières règles ont complètement été reprises dans les EUROCODES qui sont plus récents :

• **EUROCODE 3 :** Cet ouvrage s'applique au calcul des bâtiments et des ouvrages de génie civil en acier. Il concerne les exigences de résistance, d'aptitude au service, de durabilité et de résistance au feu des structures en acier. Cette réglementation est utilisée en accord avec les documents suivants :

- EN 1990 : Base de calcul des structures acier.
- EN 1991 : Actions sur les structures.
- EN, ATE : Produits de construction concernant les structures acier.
- EN 1992 à 1999 : Lorsque des structures en acier ou composants sont concernés.
- EN 1090 : Exécution des structures en acier et en aluminium.

L'EUROCODE 3 est composé de sept chapitres basés sur l'EN 1993 :

• Chapitre 1 : Généralité : règles complémentaires à celles données dans « Bases de calcul des structures » de l'EN 1990.

• Chapitre 2 : Base de calcul : règles complémentaires à celles données dans « Bases de calcul des structures » de l'EN 1990.

- Chapitre 3 : Matériaux : propriétés des produits en aciers de construction faiblement alliés.
- Chapitre 4 : Durabilité : règles générales pour la durabilité.
- Chapitre 5 : Analyse structurelle : analyse de structures pour lesquelles les barres peuvent être modélisées avec une précision suffisante comme éléments filaires.
- Chapitre 6 : Etats limites ultimes : règles pour le calcul des sections transversales et des barres.
- Chapitre 7 : Etats limites de service : règles pour le calcul de l'aptitude au service.

Toutes les normes et règles suivantes portent sur des points traités dans l'EUROCODE et les complètent.

• **NF P 92 – 702** : Cette norme est une règle de calcul mettant en place une méthode de prévision par le calcul du **comportement au feu des structures en acier** et annexe (méthodologie de caractérisation des produits de protection), dit DTU Feu-Acier.

• **DTU P 92-704** : Cette règle, aussi appelée « Règles FPM 88 » met en place une méthode de prévision par le calcul du **comportement au feu des poteaux mixtes** (acier + béton).

• **NF P 06 – 013 ou PS 92** : Cette norme est une règle de construction **parasismique** applicable aux bâtiments, relative à leurs domaines d'application, leurs conceptions et leurs exécutions.

## II.2. Normes liées aux assemblages

• **NF P 22 – 430** : Cette norme concerne les dispositions constructives et le calcul des assemblages par **boulons non précontraints**. Elle s'applique à la construction, au renforcement, ou à la réparation des ouvrages ou éléments d'ouvrage en acier fixes ou mobiles.

• **NF P 22 – 431** : Cette norme concerne les conditions d'exécution des assemblages par **boulons non précontraints** relatives à la norme NF P 22-430.

- Les normes suivantes NF P 22-460 à 469 concernent les **assemblages par boulons contrôlés** :

• **NF P 22 – 460** : Cette norme traite des **dispositions constructives**, ainsi que de la **vérification des assemblages** par boulons contrôlés.

• **NF P 22 – 461** : La présente norme a pour objet de définir une méthode pour la détermination du **coefficient conventionnel de frottement**, servant au dimensionnement des assemblages soumis à des efforts parallèles aux plans des joints.

• **NF P 22 – 462** : Cette norme concerne l'usinage et la préparation des assemblages par boulons contrôlés.

• **NF P 22 – 463** : La norme fixe :

- les 2 classes de qualité, 1 et 2 : nous retrouvons deux types de boulons, les boulons dit normaux et les boulons haute résistance pouvant être utilisés dans la précontrainte.

- Les conditions de stockage des boulons
- L'assemblage des pièces
- Les engins de serrage et d'étalonnage (Clé dynamométrique)
- La protection contre la corrosion

•**NF P 22 – 464** : Cette norme traite du programme de pose des **boulons haute résistance**. Nous y retrouvons les points suivants :

- Classes des boulons, la classe des boulons est définie par 2 chiffres. Le premier chiffre \* 100 donne la résistance à la traction du boulon et enfin le produit des 2 chiffres \* 10 donne la limite d'élasticité
- Précontrainte de calcul
- Méthode de serrage adoptée
- Méthode de contrôle adoptée
- Plan de serrage

•**NF P 22 – 466** : Cette norme traite des différentes **méthodes de serrage** des boulons haute résistance suivante :

- Par couple imposé
- Par rotation contrôlée de l'écrou

Dans cette norme, nous retrouvons également les prescriptions concernant le **pré-serrage** :

- Dans quels cas doit-on effectuer un pré-serrage ?
- Quelles sont les méthodes de pré-serrage et avec quels outils ?

Et enfin elle décrit **les moyens de contrôle** :

- Contrôle du serrage
- Contrôle par desserrage et resserrage
- Contrôle par sur-serrage

•**NF P 22 – 468** : Cette norme est relative aux constructions métalliques qui s'effectuent par assemblages de boulons haute résistance à **serrage contrôlé**. Ce contrôle s'établit par une rotation contrôlée de l'écrou, grâce à la détermination de l'angle de cette rotation.

•**NF P 22 – 469** : Cette norme concerne **l'étalonnage des clés dynamométriques** qui servent au serrage contrôlé des boulons lors d'assemblages en construction métallique.

•**NF P 22 – 470/471/472/473** : Ces normes sont relatives aux assemblages des pièces en acier **par soudure**. Elles concernent les dispositions constructives et les justifications des soudures, leur fabrication, la qualification d'un mode opératoire de soudage, et les étendues des contrôles non destructifs mis en place.

### **II.3. Normes liées aux différents produits utilisés en structure métallique**

•**Norme NF EN 10 – 079** : Cette norme a pour but de répertorier les **produits en acier** selon plusieurs critères : leurs formes, leurs dimensions, leurs aspects et leurs états de surface.

• **AFNOR SIS 055900** : Cette norme est spécifique à **la provenance de l'acier** utilisé dans les assemblages. Cet acier ne devra pas présenter de traces de piquetage ou de rouille plus importantes que celles de la qualité réglementaire (C) indiquée dans cette norme.

• **Norme NF EN 10 – 025** : Cette norme, qui s'identifie en 6 parties, concerne les **produits laminés à chaud** en acier de construction en décrivant :

- Conditions techniques générales de livraison.
- Conditions techniques de livraison des aciers de construction non alliés.
- Conditions techniques de livraison des aciers de construction soudables à grains fins à l'état normalisé/laminage normalisant.
- Conditions techniques de livraison des aciers de construction soudables à grains fins obtenus par laminage thermomécanique.
- Conditions techniques de livraison des aciers de construction à résistance améliorée à la corrosion atmosphérique.
- Conditions techniques de livraison des tôles et larges plats en acier de construction à haute limite d'élasticité à l'état trempé et revenu.

• **Norme NF EN 10 - 113** : Cette norme se compose de 3 parties. Elles concernent les produits laminés à chaud en acier de construction **soudables à grains fins**. Elle s'applique aux aciers obtenus par laminage normalisant et par laminage thermomécanique.

• **NF A 45 - 001 à 010** : Ces normes concernent **le dimensionnement et les tolérances** des produits suivants :

- Ronds laminés à chaud
- Carrés en acier laminés à chaud pour usages généraux
- Plats en acier laminés à chaud pour usages généraux
- Petits fers en U laminés à chaud
- Cornières à ailes égales et inégales en acier de construction

• **NF A 45 - 201/255** : Ces deux normes traitent des dimensionnements et **des produits sidérurgiques laminés à chaud** dans le cas de profilés en **UAP**, c'est-à-dire des poutrelles à larges ailes à faces parallèles.

• **NF A 81 - 301 / 302 / 309** : Ces normes précisent les produits qui sont utilisés pour le **soudage manuel à l'arc** avec électrodes basiques enrobées, pour des aciers non alliés et des aciers à grains fin.

• **NF EN 12499** : La présente norme concerne la **protection cathodique** contre la corrosion des métaux ainsi que des structures métalliques.

• **PN A 91 – 201** : Cette norme décrit la **métallisation** des aciers par projection d'une couche de zinc.

• **NF A 91 – 102** : Cette norme concerne la protection des aciers par **galvanisation**, en définissant une épaisseur du dépôt électrolytique de zinc et de cadmium nécessaire en fonction du degré de corrosion.

• **NF A 91 – 121** : Cette norme est relative aux **revêtements par galvanisation à chaud** sur produits finis ferreux par immersion dans le zinc fondu. Elle précise les spécifications du procédé et les méthodes d'essai.

• **NF A 49 - 700 et NF A 35 - 503** : Ces deux normes sont des **généralités concernant la galvanisation**. Elles ont pour objet de définir les exigences au niveau de l'analyse chimique auxquelles doivent satisfaire les produits sidérurgiques tels que : tôles, larges-plats, laminés marchands, poutrelles, feuillards, profilés à chaud, profils creux, tubes, en acier destinés à être galvanisés par immersion à chaud.

• **Norme NF A 35 – 502** : Cette norme est relative aux aciers de construction à **résistance améliorée** à la corrosion atmosphérique.

## II.4. Normes liées à la mise en œuvre

• **NF EN 1090** : Cette norme concerne les éléments de construction en acier et en aluminium. On y retrouve les **conditions générales de livraison**, les **exigences techniques d'exécution**.

• **NF EN 1011** : Cette norme concerne toutes les **recommandations pour les soudures par fusion de matériaux métalliques** quelque soit leur forme de livraison (par exemple moulés, extrudés, forgés). Elle aborde notamment le soudage à l'arc, le soudage manuel à l'arc, le soudage bout à bout, soudure d'angle, préparation des angles.

• **NF P 22 – XXX** : Ces normes qui sont spécifiques aux assemblages par boulons abordent aussi l'aspect d'exécution.

## II.5. Normes liées aux essais et contrôles

Les aspects d'essais et de contrôles sont traités dans certaines normes qui ont été citées auparavant. Voici les points les plus importants traités :

- Les ouvrages métalliques sont sensibles à la corrosion et doivent être protégés. Il est pour cela nécessaire de prendre des dispositions adaptées lors de la conception, de la construction et de l'exploitation des ouvrages : le phénomène de corrosion concerne tous les acteurs. Il menace la pérennité des ouvrages et engendre des risques sécuritaires importants vis-à-vis des hommes et de l'environnement.
- Les constructions métalliques sont aussi assujetties à la stabilité qui est indispensable. Pour cela, de nombreux essais et contrôles sont mis en place pour tester la résistance des aciers en traction, en compression, en flexion, au flambement, etc, en fonction des types de profilé.
- Les assemblages sont aussi soumis à des essais et des contrôles, notamment pour les assemblages par boulonnage. Le serrage avec une clef dynamométrique est très règlementé.

## **III. Les principaux matériaux**

De manière générale, dans une construction métallique la structure est en acier, alors que la vêtiture et le vêlage sont en aluminium.

### **III.1. L'acier**

L'acier est un alliage à base de fer additionné d'un faible pourcentage de carbone (de 0,050% à environ 2,10% en masse) et d'autres éléments en faible quantité (des impuretés et des introductions volontaires, comme le silicium ou le nickel, ajustables en fonction du résultat recherché).

Acier = Fer + Carbone + Autres éléments

#### **La teneur en Ca est importante**

% Ca < 0,050 => alliage malléable, on parle de **FER**

% Ca > 2,10 => structure fragilisée, on parle de **FONTE**

$0,050 \leq \% \text{ Ca} \leq 2,10$  => plus le pourcentage en Ca augmente, plus la résistance mécanique et la dureté de l'alliage augmentent

Concernant la soudabilité de l'acier, il est à noter que cette dernière augmente avec la baisse du pourcentage en Ca. Il faut donc trouver le juste milieu.

#### **III.1.1. Ses Intérêts**

- Valeurs élevées dans les propriétés mécaniques fondamentales :
  - Résistance aux efforts : module d'élasticité, limite élastique, résistance mécanique
  - Dureté
  - Résistance aux chocs (résilience)
- Très bonne ductilité : capable de subir une déformation importante avant de se rompre sans dégradation dans sa constitution, sans détérioration de sa résistance et de sa rigidité.
- Résistance aux efforts alternés : se déforme de manière semblable en compression et en traction.
- Tenue en fatigue : supporte un grand nombre de cycles et de charges avant rupture.
- Coût d'élaboration plutôt modéré car le minerai de fer est très abondant sur terre (environ 5% de l'écorce) et sa transformation en alliage est assez simple.
- Fort potentiel de recyclage.

### III.1.2. Ses inconvénients

- Mauvaise résistance à la corrosion, mais deux manières de palier à cet inconvénient :

#### 1) Traitement de surface :

- **Peinture**
- **Brunissage** : technique de polissage utilisée en finition.
- **Zingage** : traitement de surface entraînant la formation d'un revêtement métallique de zinc. C'est un recouvrement par écrasement de particules de zinc, ou par déposition électrolytique de zinc, ou par projection de zinc fondu.
- **Galvanisation à chaud** : technique de l'industrie de la métallurgie qui est utilisée pour renforcer une pièce d'acier à l'aide de zinc. Elle consiste à revêtir et à lier de l'acier avec du zinc en immergeant l'acier dans un bain de zinc en fusion.

**NB** : pour qu'une peinture puisse tenir sur du zinc, il est nécessaire de traiter soigneusement la surface au préalable. L'objectif est d'inhiber les réactions chimiques à l'origine de phénomènes de délaminage (pelage des peintures). Pour cela, il faut dépoussiérer et dégraisser la surface, puis appliquer une sous-couche qui servira de support d'accrochage.

#### 2) **Ajout d'éléments inoxydables** :

**Acier inoxydable** = Fer + Carbone + Chrome + Autres éléments

Carbone => maximum 1,2% en masse (afin d'éviter la formation de carbures)

Chrome => minimum 10,5% en masse

Autres éléments => nickel, molybdène, vanadium qui améliorent la résistance à la corrosion.

Avantages : résistance à la corrosion (grâce au chrome qui va s'oxyder et former une peau protectrice, grande résistance mécanique).

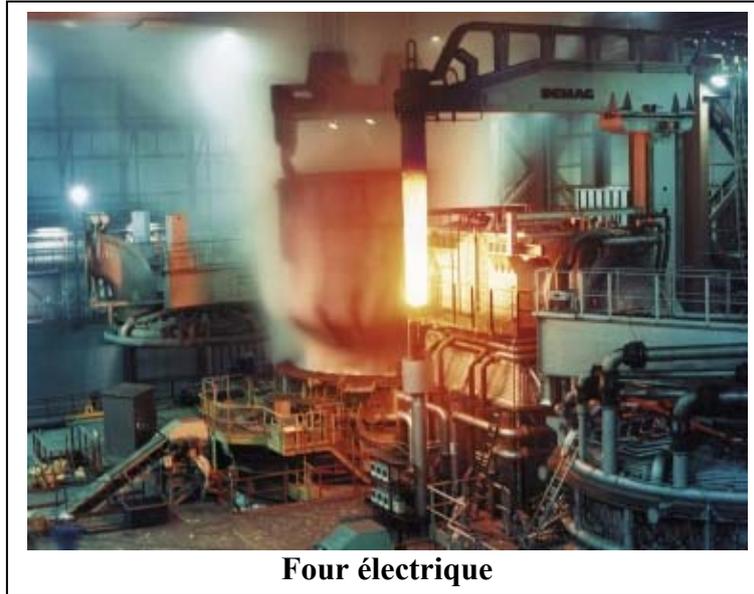
### III.1.3. Sa fabrication

- **Matières premières => Acier liquide**

- **Usine d'agglomération** : Au départ, le minerai de fer possède des propriétés chimiques et physiques qui le rendent inexploitable par le haut-fourneau. Il faut donc le préparer par broyage et calibration en grains qui s'agglomèrent entre eux. Le tout est cuit sous hotte à 1300°C. On obtient un aggloméré que l'on va concasser et calibrer.

- **Haut fourneau** : minerai de fer préparé en usine d'agglomération + coke (carbone presque pur doté d'une structure poreuse et résistante à l'écrasement, utilisé ici en tant que réducteur). On extrait le fer de son minerai → le fer se charge en carbone => on obtient de la fonte.

En parallèle, nous avons aussi le **four électrique**, employé pour les aciers longs et les aciers inoxydables. On y utilise de la ferraille recyclée que l'on va fondre à l'aide d'arcs électriques.



- **Convertisseur à oxygène** : convertit la fonte en acier en brûlant les éléments indésirables (carbone en partie et résidus) grâce à l'insufflation d'oxygène pur. On obtient de l'acier liquide que l'on va verser dans une poche.



- **Mise à nuance** :

Calmage → consomme l'oxygène dissout dans l'acier

Dégazage → décarburation, déshydrogénation

Affinage → ôte les derniers éléments indésirables (phosphore, soufre)

Ajout des éléments d'alliage

- **Mise à température** : mise à la bonne température pour le coulage → 30°C au dessus du liquidus de l'alliage.

▪ **Acier liquide => Demi-produits**

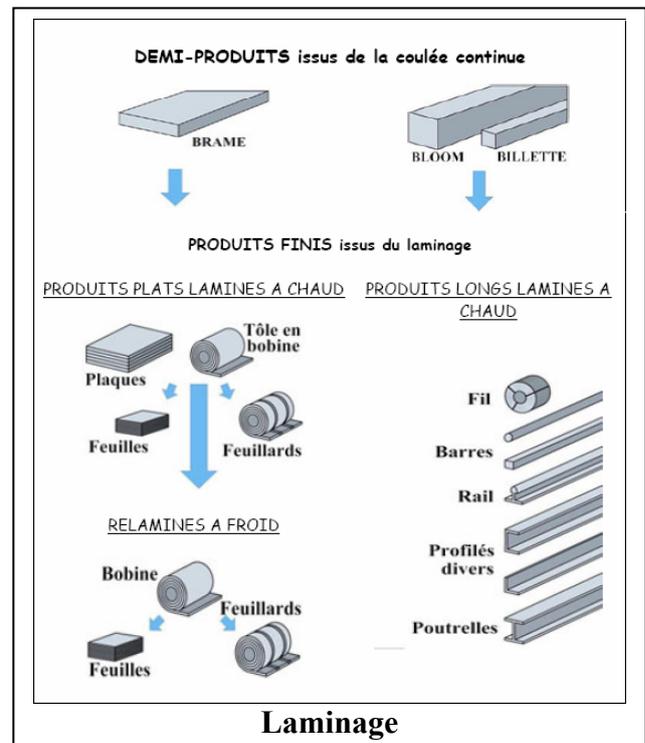
- **Coulée continue** : acier liquide coulé dans une lingotière de forme souhaitée (carrée, rectangulaire ou ronde selon ce que l'on veut fabriquer), puis refroidissement violent à l'eau. On obtient des demi-produits qui vont porter différents noms :

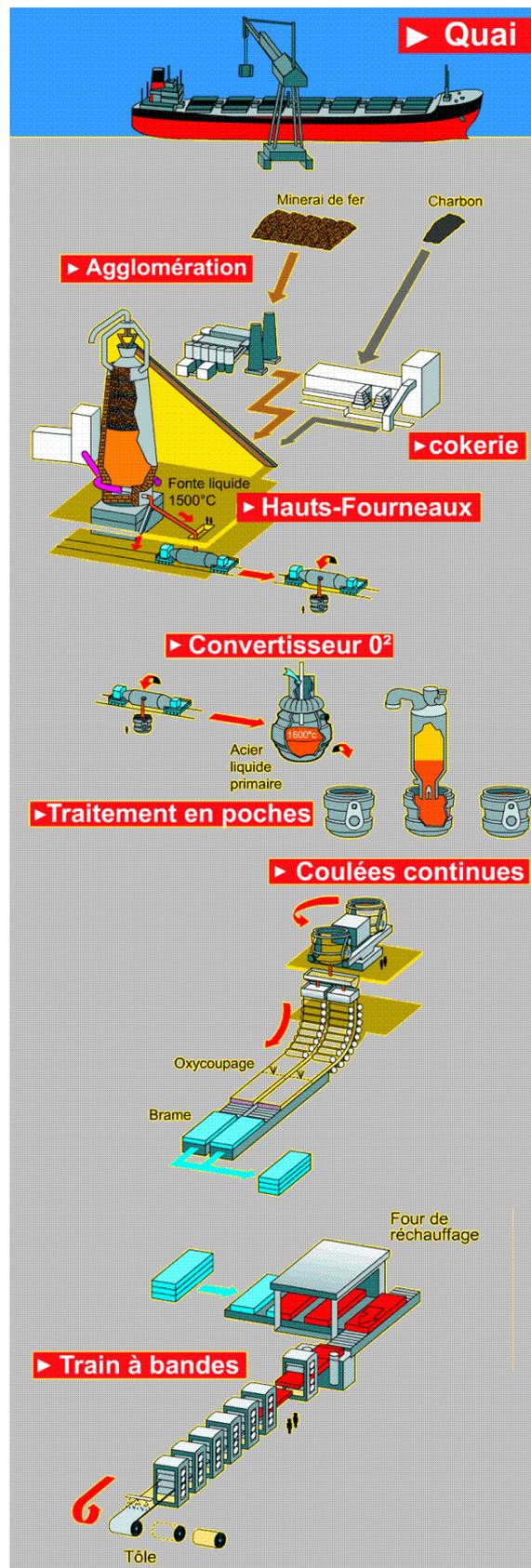
- \_ « Brame », pour les produits plats
- \_ « Blooms » et « Billettes », pour les produits longs de forme carrée



▪ **Demi-produits => Produits finis**

- **Laminage** : mise en forme des demi-produits sous forme de produits finis. A partir des brames, on va pouvoir obtenir des plaques, des feuilles, des bobines, etc. En utilisant les blooms et les billettes, on obtiendra des poutrelles, des profilés, des rails, des barres, des fils, etc.



**Schéma complet du cycle de fabrication :**

### III.1.4. Les nuances et les qualités d'acier

- **La nuance** est définie à partir de la valeur de l'une de ses caractéristiques mécaniques de base : la limite d'élasticité.

Ex : *aciers doux de nuance S 235*

*S* = indique acier pour utilisations structurelles

*235* = valeur minimale de la limite d'élasticité en  $\text{N/mm}^2$  (ou MPa)

Le choix de cette nuance se fait en fonction de la conception des assemblages et des conditions de service du bâtiment.

- **La qualité** d'un acier de construction est désignée en fonction de la soudure et des valeurs de résilience et caractéristiques physiques prescrites.

Ex : *S 355 J0 G3 ou S 355 ML*

- *J* et *K* expriment les valeurs de résilience respectivement de 27 joules et 40 joules.

- *L, M, N* et *W* expriment certaines caractéristiques physiques :

*L* = aciers pour basses températures

*M* = laminage thermomécanique

*N* = laminage normalisant

*W* = acier patinable

- la lettre et le numéro suivants indiquent la température à laquelle a été effectué le test de résilience :

*R* = température de  $+23^\circ\text{C}$  ( $\pm 5^\circ\text{C}$ )

*0* = température  $0^\circ\text{C}$

*2* = température de  $-20^\circ\text{C}$

*G3* et *G4* = état de fourniture à discrétion du producteur

## III.2. L'aluminium

Élément chimique de symbole Al extrait d'un minerai appelé bauxite. C'est un métal argenté.

### III.2.1. Ses avantages

- Bonne résistance à l'oxydation
- Oxydable à l'air  $\rightarrow$  formation d'une couche protectrice imperméable d'oxyde d'aluminium ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- Faible densité (2,7), environ trois fois plus faible que celle de l'acier
- Métal ductile

### III.2.2. Sa Production

On extrait l'alumine ( $Al_2O_3$ ) de la bauxite :

- 1) La bauxite est traitée par solution de soude
- 2) On obtient de l' $Al(OH)_3$ , qui donne de l'alumine par chauffage.
- 3) L'aluminium est extrait par électrolyse.

Il faut 4 à 5 tonnes de bauxite pour extraire 1 tonne d'aluminium.

### III.2.3. Son recyclage

Excellente recyclabilité → il suffit de le fondre.

Cela consomme 95% d'énergie en moins que le cycle de production et permet d'économiser 4 à 5 tonnes de bauxite pour chaque tonne d'aluminium traitée.

### III.2.4. Le thermo laquage

C'est un traitement de surface qui consiste à appliquer une peinture poudre sur une pièce métallique galvanisée. Il faut ensuite cuire au four ce revêtement.

On utilise ce traitement de surface pour remédier au problème de la simple peinture. En effet, quand on peint une pièce métallique, le traitement ne se fait qu'en surface et pas dans toutes les petites cavités du métal. De ce fait, tous les deux ans environ (durée de garantie de la peinture), des traces de rouille apparaissent et il faut à nouveau peindre la surface.

En utilisant le thermo laquage, on protège le métal en profondeur, ce qui donne une durée de vie supérieure à la peinture (10 ans environ).

Concernant le thermo laquage, il existe un label qui garantit une qualité supérieure au produit : le label **QUALICOAT**.

Le but de ces directives est de fixer les exigences minimales qui doivent être imposées aux installations, aux produits finis et aux matières premières. Ces directives doivent permettre de réaliser des produits thermo laqués de qualité supérieure destinés aux applications architecturales quelle que soit la méthode de thermo laquage utilisée.



Tout traitement ultérieur non prévu dans ces directives peut affecter la qualité d'un produit thermolaqué et engage la responsabilité de celui qui le pratique. Les directives sont à la base de l'octroi et du maintien du label de qualité.

	<b>Thermolaquage QUALICOAT</b>
Pérennité	XXX
Tenue de l'aspect	XXX
Eventail des couleurs	XXXX
Uniformité de la teinte	XXXX
Résistance au frottement	XX
Aspect métallique	XX
Mise en forme N.R.	XX
Facilité d'entretien	XXX
Application aux pièces soudées	XXXX

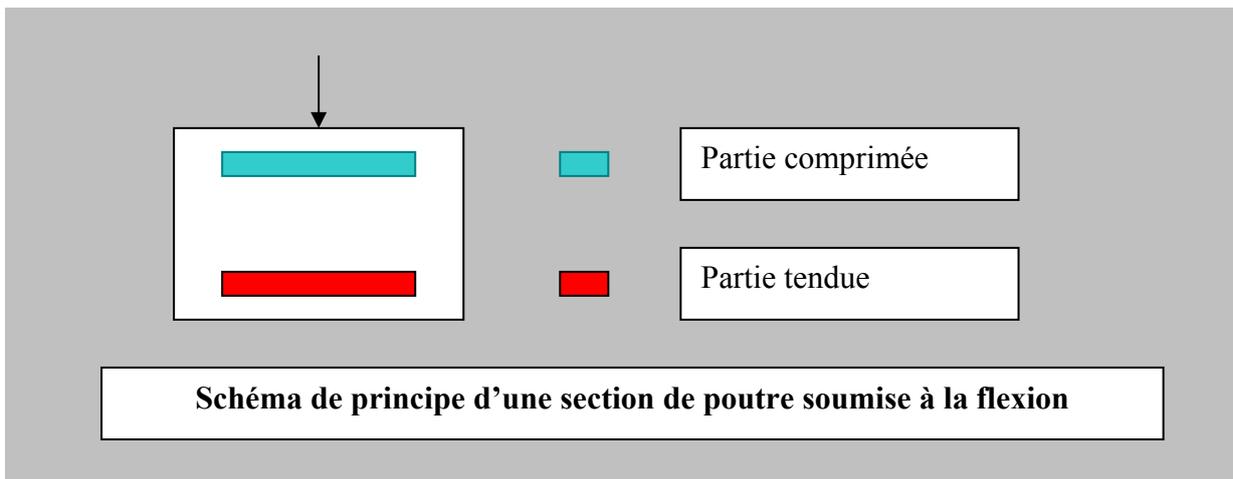
## IV. Coupes et conceptions

### IV.1. Les profilés en acier

#### *Pourquoi utilise-t-on des profilés ?*

Le développement de la production dans le milieu industriel a nécessité des bâtiments de plus en plus spacieux, avec des portées de plus en plus importantes. Les capacités du fer avaient atteints leurs limites. Le profilé en acier est un produit fini, qui est le fruit d'une optimisation de la part des industries sidérurgiques répondant aux exigences nouvelles. En effet, le profilé est un produit garantissant des qualités mécaniques bien définies et facilitant le chiffrage économique (standard).

Considérons une poutre de section quelconque soumise à la flexion. Nous constatons que la partie supérieure est comprimée alors que la partie inférieure est tendue. Le travail du reste de la section peut relativement être négligé.



Cette démonstration explique les sections en I et en H des profilés. Ainsi, les « ailes » représentent les parties travaillant en compression et traction. L'« âme » qui relie ces ailes permet de maintenir une certaine résistance à l'effort de cisaillement (minimum).

#### **A retenir ! :**

A masse égale, une section de type I ou H a une inertie plus élevée qu'une section carrée ou ronde car le calcul de l'inertie prend en compte la distance entre le centre de gravité d'une section et un point quelconque de la section et augmente en conséquence.

$$\sigma_{section} = A / Inertie$$

A coefficient en fonction de la charge.

Pour une section donnée, plus l'inertie est élevée, moins la contrainte dans la section est grande ce qui permet d'augmenter la charge.

### Les critères de choix d'un profilé.

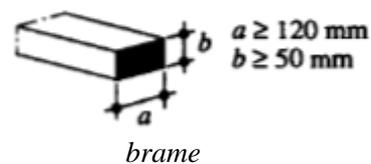
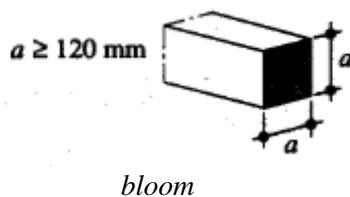
Le choix d'une section de profilé s'effectue selon 3 critères :

- Le rôle **structurel** : L'élément qui transfère les charges par la flexion nécessite un profil creux rectangulaire ou circulaire.
- Le rôle **esthétique** : Visibilité de la structure et des détails d'assemblages et encombrement du volume.

La possibilité de jouer un rôle **secondaire** : Assemblages de gaines et conduits techniques à l'intérieur des profilés.

Une fois en fusion, l'acier est coulé dans des lingotières. On obtient alors des lingots d'acier, qui une fois préchauffés sont introduits dans des laminoirs dégrossisseurs pour obtenir un produit qui est, soit de section carrée *bloom*, soit de section rectangulaire *brame*.

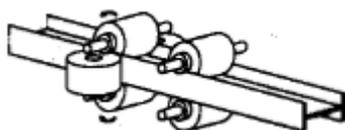
Ce sont des produits semi-finis qui restent inutilisables pour l'utilisateur (industrie).



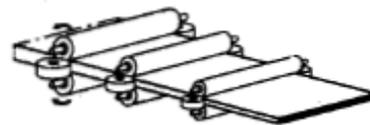
Ce passage dans un laminoir de dégrossissage est une première étape durant laquelle le métal préalablement réchauffé est écrasé par l'intermédiaire de deux cylindres, dont le sens de rotation est opposé. Cela s'appelle le laminage à chaud.

Ce laminage à chaud est complété par un deuxième passage dans un laminoir de finition, qui permet de varier la forme selon le produit fini souhaité.

Ainsi, les profilés sont obtenus grâce à l'usage de cylindres cannelés et les tôles à l'aide de cylindres lisses.

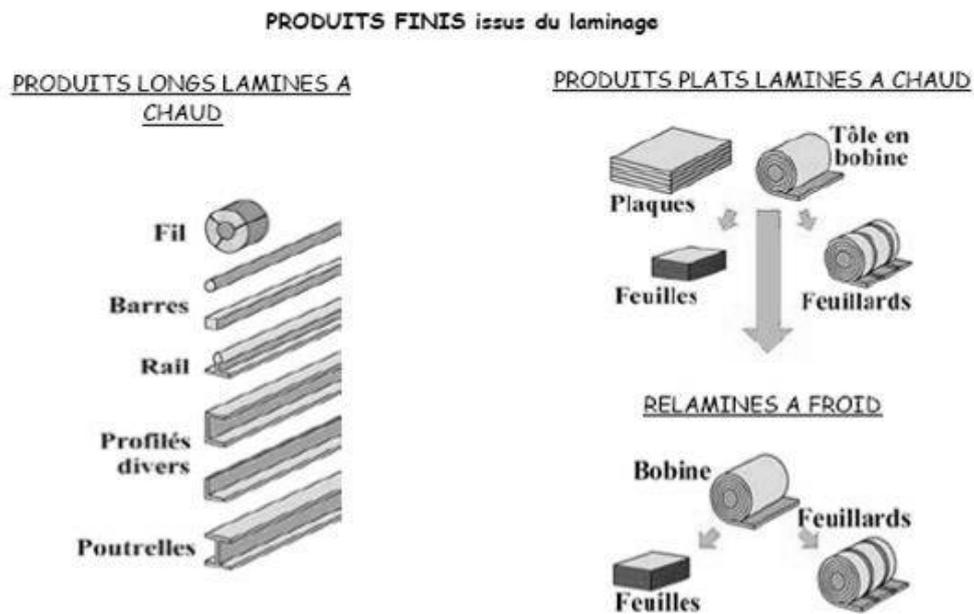


*Train de laminage de profilés*



*Train de laminage continu*

On obtient alors des produits finis.



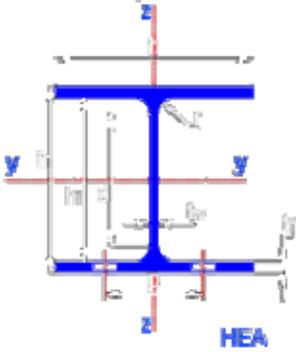
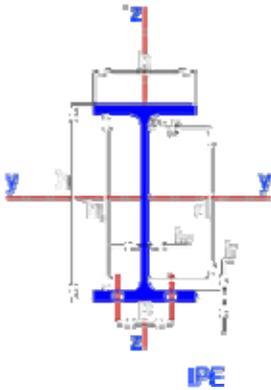
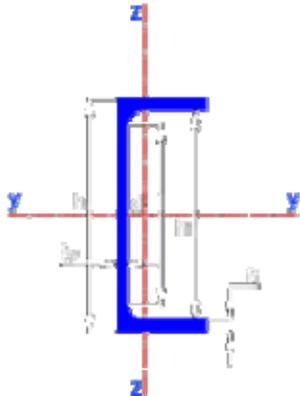
La norme divise les produits finis plats en 3 catégories :

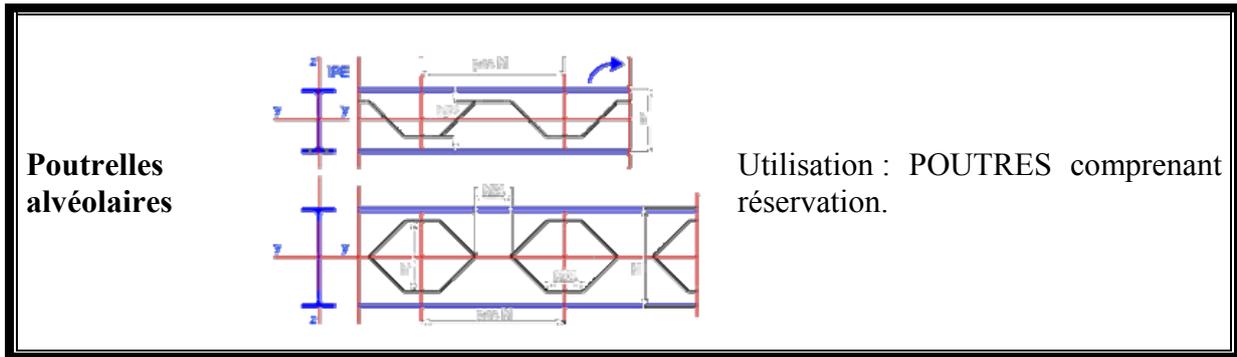
- **Les tôles dites fines** :  $e \leq 3\text{mm}$
- **Les tôles dites moyennes** :  $5\text{mm} > e > 3\text{mm}$
- **Les tôles dites fortes** :  $e > 5\text{mm}$

Certains produits plats peuvent subir, par la suite, un laminage à froid qui permet d'obtenir des épaisseurs inaccessibles à chaud ( $e \ll 3\text{ mm}$ ).

Les produits sidérurgiques utilisés dans le domaine de la construction sont généralement regroupés en trois catégories :

- Les produits longs qui sont sous la forme de barres, profilés, tubes, fils, etc, trouvent leurs usages courants dans la charpente métallique, l'ossature du bâtiment et le support du bâtiment (poutres et poteaux), mais également en fondation associé au béton.
- Les produits plats qui sont sous la forme de bobines, de feuilles, etc, revêtus ou non sont généralement utilisés dans les planchers (bac collaborant, coffrage perdu), en façade (bardage, plateau), et en couverture (couverture sèche, support d'étanchéité).
- Les aciers moulés sont des produits qui ont été coulés dans un moule à matériau réfractaire qui donne une forme et des dimensions définitives.

Désignation	Section	Caractéristiques particulières
HE		<p>Utilisation : POTEAUX</p> <p>Moment d'inertie <math>I_z</math> plus élevé que les profilés en I. HEA, HEB et HEM permettent une progression de la capacité portante.</p>
IPE/IPN		<p>Utilisation : POUTRES et PANNES</p> <p>Poids unitaire faible</p>
UAP/UPN/UPE		<p>Utilisation : POUTRES, éléments secondaires.</p> <p>A hauteur de profil égal avec un I, sa masse est supérieure de 10%</p>
PRS (Poutrelles reconstituées soudées)		<p>Utilisation : Création sur mesure selon besoin.</p> <p>Crée par soudages de profilés I ou H</p>



Désignation	Dimensions						Section A (cm <sup>2</sup> )	Dimensions de construction				Val. statiques		
	G (kg/m)	h (mm)	b (mm)	t <sub>w</sub> (mm)	t <sub>f</sub> (mm)	r (mm)		h <sub>i</sub> (mm)	d (mm)	∅	P <sub>min</sub> (mm)	P <sub>max</sub> (mm)	I <sub>v</sub> (cm <sup>4</sup> )	W <sub>e1,v</sub> (cm <sup>3</sup> )
HEA 120	19,9	114	120	5	8	12	25,34	98	74	M12	58	68	606,2	106,3
HEB 120	26,7	120		6,5	11	12	34,01				60	68	864,4	144,1
HEA 140	24,7	133	140	5,5	8,5	12	31,42	116	92	M16	64	76	1033	155,4
HEB 140	33,7	140		7	12	12	42,96				66	76	1509	215,6
HEA 160	30,4	152	160	6	9	15	38,77	134	104	M20	78	84	1673	220,1
HEB 160	42,6	160		8	13	15	54,25				80	84	2492	311,5
HEA 180	35,5	171	180	6	9,5	15	45,25	152	122	M24	86	92	2510	293,6
HEB 180	51,2	180		8,5	14	15	65,25				88	92	3831	425,7
HEA 200	42,3	190	200	6,5	10	18	53,83	170	134	M27	98	100	3692	388,6
HEB 200	61,3	200		9	15	18	78,08				100	100	5696	569,9
HEA 220	50,5	210	220	7	11	18	64,34	188	152	M27	98	118	5410	515,2
HEB 220	71,5	220		9,5	16	18	91,04				100	118	8091	735,5
HEA 240	60,3	230	240	7,5	12	21	76,84	206	164	M27	104	138	7763	675,1
HEB 240	83,2	240		10	17	21	106				108	138	11260	938,3

Exemple de tableau de caractéristiques des profilés HEA et HEB.

## IV.2. Les assemblages

On appelle « assemblage » la zone d'interconnexion de deux éléments ou plus. Sa fonction principale est de transmettre correctement les efforts entre ces éléments. On distingue deux catégories d'assemblage :

- contacts mécaniques,
- les assemblages par procédés de soudage, qui assurent une continuité entre les pièces métalliques au niveau des joints.

La résistance d'un assemblage est déterminée sur la base de la résistance individuelle de ses composants. Dans le cas où des fixations possèdent des rigidités différentes pour reprendre un effort de cisaillement, on dimensionne généralement la fixation possédant la plus grande rigidité.

La ruine d'un assemblage peut être due à un dépassement des valeurs maximales des efforts à transmettre ou à des phénomènes de fatigue.

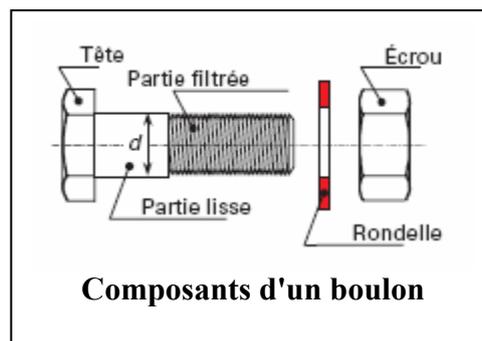
Les phénomènes de fatigue peuvent dépendre de l'acier de la structure ou bien des traitements subis lors de la mise en œuvre des assembleurs.

### IV.2.1. Les assemblages par procédés mécaniques

#### a. Les boulons traditionnels :

Le boulonnage, du fait de sa simplicité de mise en œuvre et de sa possibilité de réglage, est l'un des assemblages les plus utilisés en construction métallique. Il se fait à l'aide de pièces métalliques cylindriques qui permettent d'assembler entre elles les différents éléments d'une charpente, par exemple. Pour cela, des trous d'un diamètre légèrement supérieur à celui des boulons (afin de permettre un certain jeu) sont préalablement percés dans les pièces qui sont à assembler.

Un boulon traditionnel est composé d'une vis, d'un écrou et d'une ou deux rondelles (dans certains cas facultatives). Généralement, la tête de la vis et l'écrou sont de forme hexagonale ce qui facilite le serrage qui se fait à l'aide de clefs.



On distingue deux catégories de boulons traditionnels :

- Les boulons ordinaires :

Ils ne nécessitent pas de précaution particulière lors de leur mise en œuvre.

La qualité d'un boulon est définie par son appartenance à des classes. Ces classes sont fonction de la limite d'élasticité et de la résistance à la traction ultime (ou limite de rupture) du boulon considéré.

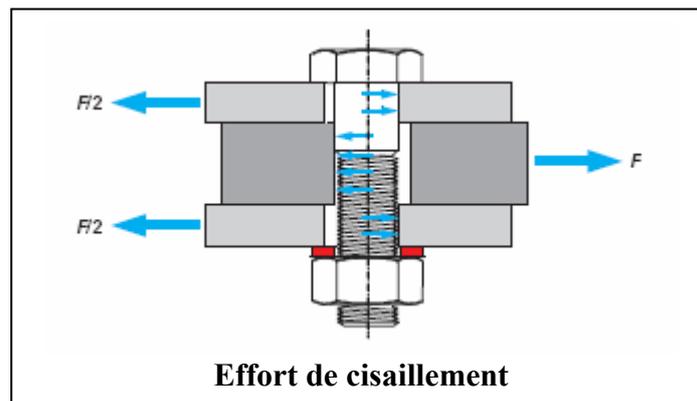
Classe	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
$f_{yb}$ ..... (MPa)	240	320	300	400	480	640	900
$f_{ub}$ ..... (MPa)	400	400	500	500	600	800	1 000

### Valeurs nominales de la limite d'élasticité $f_{yb}$ et de la résistance ultime à la traction $f_{ub}$ des boulons ordinaires

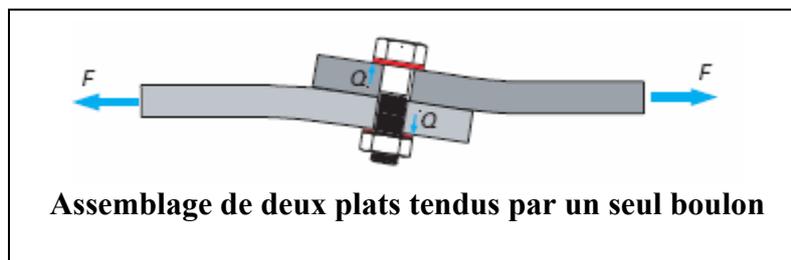
Le premier nombre représente 1/100 de la limite de rupture  $F_{ub}$ , et le produit des deux nombres est égal à 1/10 de la limite d'élasticité  $F_{yb}$  (MPa). Exemple pour un boulon 4.6  $F_{yb} = 4 \times 6 \times 10 = 240$  MPa et  $F_{ub} = 4 \times 100 = 400$  MPa.

#### Transmission des efforts :

Lorsqu'un effort est perpendiculaire à l'axe du boulon (effort de cisaillement), les pièces assemblées doivent pouvoir glisser jusqu'à rentrer en contact avec la tige de la vis. Une pression latérale dans les zones de contact entre pièces et tiges est induite et ces dernières sont cisailées au droit des surfaces de glissement, tandis que les pièces assemblées sont soumises à de la pression seulement aux points de contact.



Dans le cas d'un assemblage de deux plats tendus à l'aide d'un seul boulon, les efforts, qui ont tendance à vouloir aligner les deux pièces, provoquent la rotation du boulon ce qui induit du cisaillement et de la traction dans ce dernier. La tête et l'écrou sont aussi sollicités par des contraintes de flexion locales, ce qui favorise un mauvais comportement à la fatigue. La solution à ce problème est l'utilisation de rondelles.



Lorsque l'effort est parallèle à l'axe des boulons (effort de traction), les pièces assemblées sont soumises à un poinçonnement provoqué par la tête de la vis et l'écrou (ou les rondelles, si celles-ci sont en contact avec les pièces).

### Vérification des boulons ordinaires :

Le tableau suivant permet de calculer les résistances individuelles des boulons selon l'effort auquel ils sont soumis :

Mode de ruine	Boulons	Rivets
Résistance au cisaillement par plan de cisaillement	$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A}{\gamma_{M2}}$ <p>— lorsque le plan de cisaillement passe par la partie fileté du boulon (A est l'aire de la section résistante en traction du boulon <math>A_s</math>) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- pour les classes 4.6, 5.6 et 8.8 : <math>\alpha_v = 0,6</math></li> <li>- pour les classes 4.8, 5.8, 6.8 et 10.9 : <math>\alpha_v = 0,5</math></li> </ul> <p>— lorsque le plan de cisaillement passe par la partie non fileté du boulon (A est l'aire de la section brute du boulon) : <math>\alpha_v = 0,6</math></p>	$F_{v,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
Résistance en pression diamétrale <sup>1), 2), 3)</sup>	$F_{d,Rd} = \frac{k_1 \alpha_d f_u dt}{\gamma_{M2}}$ <p>où <math>\alpha_d</math> est la plus petite des valeurs de <math>\alpha_d = \frac{f_{ub}}{f_u}</math> ou 1,0 ; dans la direction des efforts :</p> <p>— pour boulons de rive : <math>\alpha_d = \frac{e_1}{3d_0}</math> ; pour boulons intérieurs <math>\alpha_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}</math></p> <p>perpendiculairement à la direction des efforts :</p> <p>— pour boulons de rive : <math>k_1</math> est la plus petite valeur de <math>(2,8 \frac{e_2}{d_0} - 1,7)</math> et 2,5</p> <p>— pour boulons intérieurs : <math>k_1</math> est la plus petite valeur de <math>(1,4 \frac{p_2}{d_0} - 1,7)</math> et 2,5</p>	<p>Avec d= diamètre de la tige t= épaisseur de la plus petite pièce assemblée d0= trou dans la pièce</p>
Résistance à la traction <sup>2)</sup>	$F_{t,Rd} = \frac{k_2 f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}$ <p>où <math>k_2 = 0,63</math> pour un boulon à tête fraisée, sinon <math>k_2 = 0,9</math>.</p>	$F_{t,Rd} = \frac{0,6 f_{ur} A_0}{\gamma_{M2}}$
Résistance au poinçonnement	$B_{p,Rd} = 0,6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2}$	Vérification sans objet
Cisaillement et traction combinés	$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 F_{t,Rd}} \leq 1,0$	
<p>1) La résistance en pression diamétrale <math>F_{d,Rd}</math> pour les boulons utilisés</p> <p>— dans des trous surdimensionnés, est 0,8 fois la résistance en pression diamétrale des boulons utilisés dans des trous normaux.</p> <p>— dans des trous oblongs, lorsque l'axe longitudinal du trou oblong est perpendiculaire à la direction des efforts, est 0,6 fois la résistance en pression diamétrale des boulons utilisés dans des trous circulaires normaux.</p> <p>2) Pour les boulons à tête fraisée :</p> <p>— il convient de calculer la résistance en pression diamétrale <math>F_{d,Rd}</math> avec une épaisseur de plaque t égale à l'épaisseur de la plaque attachée diminuée de la moitié de la profondeur de fraisage.</p> <p>— pour la détermination de la résistance à la traction <math>F_{t,Rd}</math> il convient que l'angle et la profondeur de fraisage soient conformes aux dispositions données en 1.2.4, Normes de Référence: Groupe 4, sinon il convient d'adapter la résistance à la traction <math>F_{t,Rd}</math> en conséquence.</p> <p>3) Lorsque la charge appliquée sur un boulon n'est pas parallèle au bord de la pièce, la résistance en pression diamétrale peut être vérifiée séparément pour les composants de l'effort appliqué au boulon parallèlement et perpendiculairement au bord.</p>		

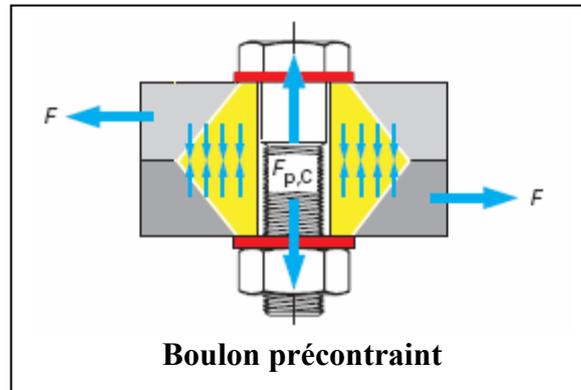
- Vérification d'un boulon à la traction : la sollicitation en traction ne doit pas dépasser la résistance individuelle du boulon à la traction, soit  $F_t < \text{ou} = F_{t,r}$
- Vérification d'un boulon au cisaillement : on doit avoir  $F_v < \text{ou} = F_{v,r}$
- Vérification d'un boulon au cisaillement et à la traction combinés : cf tableau ci-dessus

- Les boulons à haute résistance (HR) :

Ces boulons sont réalisés dans des aciers à haute limite d'élasticité. Leurs caractéristiques mécaniques sont obtenues par traitement thermique. Il est toutefois important de souligner que

pour que l'assemblage soit considéré comme HR, tous les éléments de celui-ci doivent être marqués HR.

La précontrainte de ces boulons dépend de la qualité de leur mise en œuvre, d'où la nécessité d'une main d'œuvre qualifiée. Si dans le cas des boulons ordinaires, les rondelles sont facultatives, dans le cas des boulons précontraints, une rondelle doit obligatoirement être placée entre l'écrou et l'élément à assembler.



Un assemblage de ce type est destiné à mobiliser le frottement entre les pièces assemblées, grâce à la précontrainte installée, qui assure une forte pression entre les pièces assemblées. Dans le cas d'un effort parallèle à l'axe des boulons, les pièces restent en contact tant que l'effort extérieur reste inférieur à l'effort de précontrainte.

*Vérification des boulons précontraints :*

La valeur de l'effort de serrage d'un boulon précontraint doit être égale à :

$$F_p = 0,7 \cdot A_s \cdot F_{ub}$$

La résistance au glissement d'un boulon précontraint est défini par la relation suivante :

$$F_s = (K_s \cdot n \cdot \mu \cdot F_p) / \gamma$$

Avec  $\gamma$  : coefficient de sécurité égale à 1,25

$n$  : nombre de surfaces de frottement

$\mu$  : coefficient de frottement des pièces assemblées. Sa valeur varie selon l'état de surface des pièces.

Classe de surfaces de frottement (voir 1.2.7, Normes de Référence : Groupe 7)	Coefficient de frottement $\mu$
A	0,5
B	0,4
C	0,3
D	0,2

La classe A correspond aux surfaces grenillées ou sablées

La classe B aux surfaces grenillées, sablées et peintes

La classe C aux surfaces brossées

La classe D aux surfaces non traitées

Les valeurs du coefficient  $K_s$  sont données dans le tableau suivant :

Description	$k_s$
Boulons utilisés dans des trous normaux.	1,0
Boulons utilisés soit dans des trous surdimensionnés soit dans des trous oblongs courts dont l'axe longitudinal est perpendiculaire à la direction des efforts.	0,85
Boulons utilisés dans des trous oblongs longs dont l'axe longitudinal est perpendiculaire à la direction des efforts.	0,7
Boulons utilisés dans des trous oblongs courts dont l'axe longitudinal est parallèle à la direction des efforts.	0,76
Boulons utilisés dans des trous oblongs longs dont l'axe longitudinal est parallèle à la direction des efforts.	0,63

- Comparaisons entre boulons ordinaires et boulons précontraints :

Le comportement des boulons ordinaires et boulons précontraints est différent selon l'orientation de l'effort appliqué.

Dans le cas d'efforts parallèle à l'axe, il vaut mieux utiliser un boulon HR car la contrainte de traction est plus faible pour cette catégorie de boulons.

L'Eurocode 3 définit la conception et le calcul des attaches boulonnées selon différentes catégories, allant de la catégorie A à la catégorie E.

Pour les sollicitations au cisaillement, les assemblages par boulons doivent être conformes aux catégories suivantes :

- **Catégorie A** : travaillant à la pression diamétrale.

On utilise pour cette catégorie des boulons dont la classe est comprise entre les classes 4.6 et 10.9 incluse. Ces boulons ne nécessitent pas d'être précontraints et les surfaces en contact n'ont besoin d'aucun traitement particulier.

- **Catégorie B** : résistant au glissement à l'ELS (état limite de service)

Il convient d'utiliser des boulons précontraints à haute résistance, de classes 8.8 et 10.9. L'effort de cisaillement à l'ELS ne doit pas dépasser la résistance de calcul au glissement.

- **Catégorie C** : résistant au glissement à l'ELU (état limite ultime)

Comme pour la catégorie B, on utilise de boulons précontraints à haute résistance (classes 8.8 et 10.9). L'effort de cisaillement à l'ELU ne doit pas dépasser la résistance de calcul au glissement.

Pour les sollicitations à la traction, les assemblages par boulons doivent être conformes aux catégories suivantes :

- **Catégorie D** : par boulons non précontraints

Dans cette catégorie sont utilisés les boulons de classes comprises entre 4.6 et 10.9 incluse. Il n'est pas possible d'utiliser cette catégorie si les attaches sont soumises à des variations fréquentes de sollicitations, mais

elle peut convenir pour les attaches calculées pour résister aux actions usuelles du vent.

- **Catégorie E** : par boulons précontraints

On utilise, pour cette dernière catégorie, des boulons de classes 8.8 et 10.9 à serrage contrôlé.

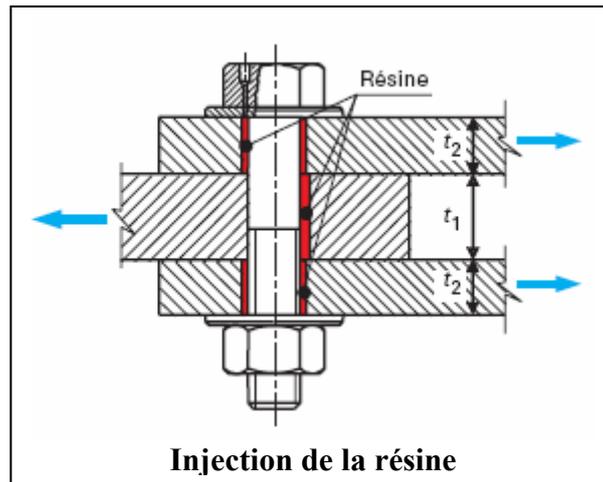
Catégorie	Critères	Remarques
<b>Attaches en cisaillement</b>		
A Pression diamétrale	$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Aucune précontrainte exigée. Toutes classes de 4.6 à 10.9.
B Résistant au glissement à l'ELS	$F_{v,Ed,ser} \leq F_{s,Rd,ser}$ $F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$	Boulons précontraints 8.8 ou 10.9 requis. Pour résistance au glissement à l'ELS, voir 3.9
C Résistant au glissement à l'ELU	$F_{v,Ed} \leq F_{s,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq F_{b,Rd}$ $F_{v,Ed} \leq N_{net,Rd}$	Boulons précontraints 8.8 ou 10.9 requis. Pour résistance au glissement à l'ELU, voir 3.9 $N_{net,Rd}$ voir 3.4.1(1)c)
<b>Attaches en traction</b>		
D Sans précontrainte	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Aucune précontrainte exigée. Toutes classes 4.6 à 10.9. $B_{p,Rd}$ voir Tableau 3.4.
E Avec précontrainte	$F_{t,Ed} \leq F_{t,Rd}$ $F_{t,Ed} \leq B_{p,Rd}$	Boulons 8.8 ou 10.9 précontraints requis. $B_{p,Rd}$ voir Tableau 3.4.
Il convient que l'effort de traction de calcul $F_{t,Ed}$ comprenne toute force éventuelle résultant de l'effet de levier, voir 3.11. Il convient que les boulons soumis à la fois à un effort tranchant et à un effort de traction satisfassent les critères donnés dans le Tableau 3.4.		

**Figure 1 : Catégories d'attaches boulonnées**

### b. Les boulons injectés :

Ce sont des boulons pour lesquels le jeu entre le boulon et la paroi du trou est complètement bouché après injection d'une résine.





Pour pouvoir injecter la résine, un petit trou dans la tête des boulons (ordinaires ou précontraints) est percé. Une rondelle en acier trempé dont l'intérieur a été usiné est placée sous tête. Une autre, munie d'une gorge est placée sous l'écrou pour permettre à l'air de s'échapper.

Une fois que la résine a fait prise, plus aucun glissement n'est possible. Ce type d'assemblage s'utilise donc pour le cisaillement. En effet, la transmission des efforts se fait par cisaillement et pression latérale pour les boulons injectés ordinaires et par cisaillement et frottement pour les boulons injectés HR à serrage contrôlé.

Cette technique présente certains avantages :

- la résine comble complètement le jeu entre le boulon et les pièces assemblées donc aucune corrosion interne n'est possible
- la possibilité de réaliser des jeux plus importants facilite le montage et permet ainsi un gain de temps
- dans les assemblages par boulons HR, un glissement peut survenir si il y a une surcharge. Avec les boulons injectés, aucun glissement soudain ne peut se produire.

Cependant, il est important de souligner que du fait du « collage » induit par la résine, il est difficile de démonter des boulons injectés une fois que la résine à fait prise.

*Vérification des boulons injectés :*

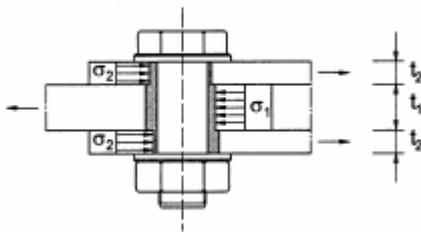
La résistance à la pression diamétrale du boulon injecté est déterminée au moyen de la relation suivante :

$$F_{b,r, \text{résine}} = (K_t * K_s * d * t_{p, \text{résine}} * \beta * f_{b, \text{résine}}) / \gamma$$

Avec :

- $K_t = 1$  à l'ELS ;  $1,2$  à l'ELU
- $K_s = 1$  pour les trous normaux
- $d$  = diamètre de la tige
- $t_{p, \text{résine}}$  = épaisseur efficace de résine en pression diamétrale (valeurs : voir tableau)
- $\beta$  = coefficient dépendant du rapport d'épaisseur des plaques attachées  $t_1/t_2$  (valeur : voir tableau)
- $f_{b, \text{résine}}$  = résistance en pression diamétrale de la résine

- $\gamma$  = coefficient de sécurité égal à 1



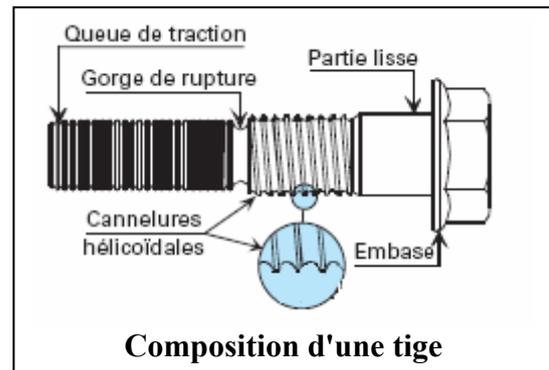
$t_1 / t_2$	$\beta$	$t_{b,resin}$
$\geq 2,0$	1,0	$2 t_2 \leq 1,5 d$
$1,0 < t_1 / t_2 < 2,0$	$1,66 - 0,33 (t_1 / t_2)$	$t_1 \leq 1,5 d$
$\leq 1,0$	1,33	$t_1 \leq 1,5 d$

### c. Les boulons sertis :

Les boulons sertis sont constitués de deux pièces : une tige avec une tête à une extrémité et une bague.

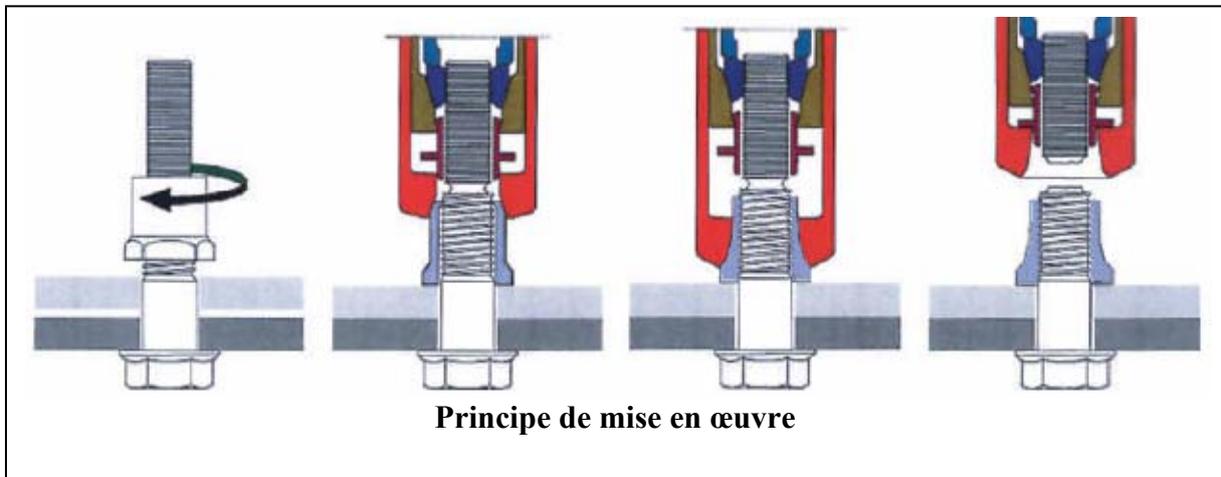
Cette dernière est sertie sur la tige à l'aide d'un pistolet hydraulique, constituant ainsi une deuxième tête.

Le pistolet hydraulique possède une bouterolle (ou nez de pose) différente pour chaque dimension de bague.



**Composition d'une tige**

Le principe de mise en œuvre est le suivant :



**Principe de mise en œuvre**

- On met en place la tige dans le trou préalablement réalisé et la bague est vissée manuellement sur la partie de la tige qui possède des cannelures hélicoïdales.
- On place le pistolet de manière à ce que la bouterolle vienne en contact avec la bague.
- Lorsque la gâchette est actionnée, des mors viennent serrer la tige et la tirent vers l'intérieur de la bouterolle. Celle-ci exerce alors une force sur la bague qui se déforme : elle vient se sertir sur les cannelures en remplissant complètement le vide qu'il y avait entre la bague et la tige.
- L'effort de traction sur la tige continue d'augmenter jusqu'à ce que celle-ci casse au niveau de sa gorge de rupture. Une fois rompue, la tige, qui a subi un allongement, a

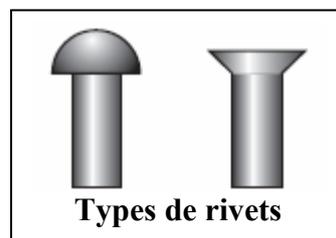
tendance à reprendre sa forme initiale mais la bague l'en empêche : les pièces sont alors comprimées et l'assemblage est assuré.

Les boulons sertis sont utilisés notamment dans le cas d'assemblages soumis à de fortes vibrations. Le fait que le boulon soit sertis signifie qu'aucun jeu n'est permis entre la bague et la tige. Il n'y a donc aucun risque que l'assemblage se dévise, contrairement au boulon traditionnel.

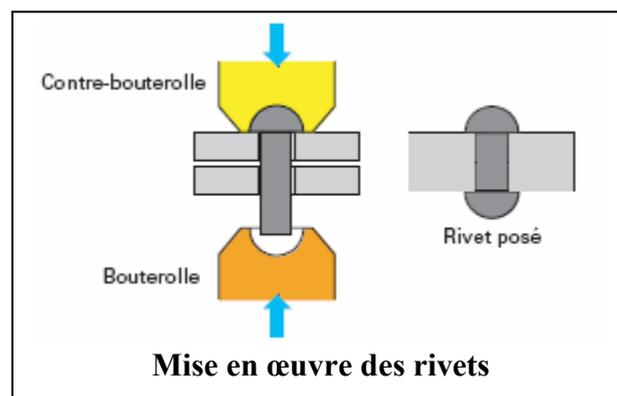
#### d. Les rivets :

Si les moyens les plus couramment utilisés aujourd'hui sont, de part leur facilité de mise en œuvre, les boulons (ordinaires et à haute résistance) et le soudage, le rivetage a longtemps été le procédé de prédilection en construction métallique. Il existe deux formes principales de rivets :

- rivets à tête ronde
- rivets à tête fraisée



Les rivets sont généralement posés à chaud (entre 900 et 950°C). Le rivet est positionné dans le trou préalablement percé. Une deuxième tête est formée à l'aide d'une bouterolle et d'une contre bouterolle. La contre bouterolle est placée du côté où se trouve la tête existante pour empêcher tout déplacement et la contre bouterolle est martelée à la main ou à l'aide d'une machine pour former la deuxième tête.



La réaction due au refroidissement augmente le serrage entre les pièces, ce qui crée une sorte de précontrainte.

#### **IV.2.2. Les assemblages par procédés de soudage**

Pour effectuer une soudure, il est nécessaire de faire fondre l'acier. Pour arriver à une telle température, il existe trois méthodes :

- la flamme oxyacétylénique

- la résistance au passage d'un courant
- l'arc électrique

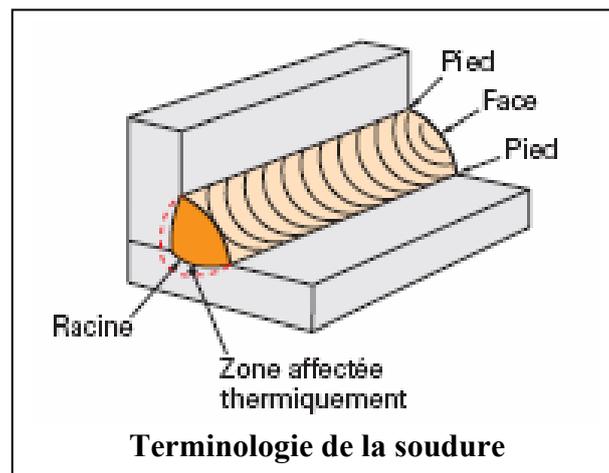
Pour l'acier de structure, le mode de soudage le plus couramment utilisé est celui de l'arc électrique.

Le soudage consiste à faire fondre un métal d'apport en même temps que les pièces à assembler. Le métal fondu provenant de chaque élément est réuni et au fur et à mesure qu'il refroidit, ce bain de fusion se transforme en lien solide et assure la continuité des pièces.

Les valeurs de limite d'élasticité, de résistance ultime à la traction et d'allongement à la rupture du métal d'apport doivent être égales ou supérieures à celle du métal de base.

### Terminologie de la soudure :

- **métal de base** : métal de l'élément à souder
- **métal d'apport** : métal de l'électrode
- **racine** : endroit de l'assemblage jusqu'où le métal d'apport a pénétré
- **face** : surface de la soudure
- **pied** : ligne de séparation entre le métal de base et le métal d'apport
- **ZAT (zone affectée thermiquement)** : partie du matériau de base qui n'est pas rentrée en fusion mais qui a subi un chaud/froid très rapide au passage de l'arc de soudage. Cette zone acquiert donc un comportement fragile.



Il existe plusieurs procédés classés en trois catégories :

- le soudage manuel (soudure d'accès difficile, petite longueur)
- le soudage automatique (la tête de soudage se déplace automatiquement le long du joint, intéressant pour des joints longs)
- le soudage semi-automatique

Le choix de procédé se fait en fonction de l'épaisseur du matériau, de l'endroit où la soudure doit être faite, de l'accès au joint, de la composition de l'acier de base et du coût comparé.

### Différents types de soudure :

- Les soudures d'angle : elles sont utilisées pour l'assemblage de pièces dont les faces forment un angle compris entre 60 et 120°. Si l'angle est inférieur à 60°, on considère la soudure comme une soudure bout à bout à pénétration partielle.
- Les soudures d'angle discontinues : on ne peut pas les utiliser en milieu corrosif.

- Les soudures bout à bout : il existe deux types de soudeure bout à bout : à pleine pénétration et à pénétration partielle.  
Une soudeure bout à bout à pleine pénétration présente une pénétration et une fusion complète des métaux d'apport et de base sur la totalité de l'épaisseur du joint.  
Une soudeure bout à bout à pénétration partielle présente une pénétration dans le joint inférieure à l'épaisseur du métal de base.
- Les soudures en entaille et en bouchon : elles sont rarement utilisées dans les structures de bâtiment. Elles ont pour fonction d'empêcher le voilement ou la séparation de pièces superposées ou de transmettre un cisaillement

### Résistance de calcul :

- soudeure d'angle : la résistance d'une soudeure d'angle est considérée comme bonne si la résultante de tous les efforts transmis par la soudeure suit la relation suivante :  
$$F_{w,Ed} \leq F_{w,Rd}$$
Où  $F_{w,Ed}$  est la valeur de calcul de l'effort exercé dans la soudeure par unité de longueur  
 $F_{w,Rd}$  est la résistance de calcul de la structure par unité de longueur
- soudeure bout à bout à pleine pénétration : on prendra pour résistance de calcul de ce type de soudeure la résistance de calcul de la plus faible des pièces assemblées.
- soudeure bout à bout à pénétration partielle : elle sera traitée comme une soudeure d'angle à forte pénétration.
- soudeure en entaille : idem soudeure d'angle

### Vérification des soudures :

Pour que la résistance d'une soudeure d'angle soit satisfaisant, il faut respecter les 2 critères suivants :

$$[\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)]^{0,5} \leq f_u / (\beta_w \gamma_{M2}) \text{ et } \sigma_{\perp} \leq 0,9 f_u / \gamma_{M2}$$

Avec :

- $\sigma_{\perp}$  contrainte normale perpendiculaire à la gorge ;
  - $\sigma_{\parallel}$  contrainte normale parallèle à l'axe de la soudeure ;
  - $\tau_{\perp}$  contrainte tangente (dans le plan de la gorge) perpendiculaire à l'axe de la soudeure ;
  - $\tau_{\parallel}$  contrainte tangente (dans le plan de la gorge) parallèle à l'axe de la soudeure.
- $F_u$  : résistance nominale ultime à la traction de la pièce assemblée la plus faible
  - $\beta_w$  : facteur de corrélation (voir tableau)
  - $\gamma$  : coefficient de sécurité égal à 1,25

Norme et nuance d'acier			Facteur de corrélation $\beta_w$
EN 10025	EN 10210	EN 10219	
S 235 S 235 W	S 235 H	S 235 H	0,8
S 275 S 275 N/NL S 275 M/ML	S 275 H S 275 NH/NLH	S 275 H S 275 NH/NLH S 275 MH/MLH	0,85
S 355 S 355 N/NL S 355 M/ML S 355 W	S 355 H S 355 NH/NLH	S 355 H S 355 NH/NLH S 355 MH/MLH	0,9
S 420 N/NL S 420 M/ML		S 420 MH/MLH	1,0
S 460 N/NL S 460 M/ML S 460 Q/QL/QL1	S 460 NH/NLH	S 460 NH/NLH S 460 MH/MLH	1,0

#### IV.2.3. Choix des différents assemblages

Lorsqu'un assemblage en cisaillement est soumis à des chocs, à des vibrations ou à des charges alternées, on utilise :

- le soudage
- les boulons munis de dispositif de blocage (ex : boulons sertis)
- les boulons précontraints
- les boulons injectés
- les rivets.

Lorsque aucun glissement n'est toléré dans un assemblage, on utilise :

- des boulons précontraints de catégorie B ou C
- des rivets
- des soudures.

Pour des poutres au vent et les contreventements, on peut utiliser :

- des boulons ordinaires (catégorie A).

## V. Dimensionnement et liaisons

### V.1. Dimensionnement

#### V.1.1. La fonction

Elle conditionne le plus souvent la conception de l'ossature. Afin d'assurer la stabilité de la structure pour une utilisation normale, plusieurs paramètres sont à prendre en compte :

- **L'ensemble des charges** qui viendront solliciter la structure. (charges climatiques, charges d'exploitation, charges permanentes). Leur identification est nécessaire pour le dimensionnement des éléments métalliques.
- **L'utilisation de la structure**. Elle permet d'identifier l'espace nécessaire, et donc de définir l'encombrement optimal des éléments métalliques et ainsi la dimension des portées et les déformations admissibles de celles-ci.
- **Les modes d'assemblages** (articulations, encastremets, appuis simples). De ceux-ci dépend le mode de sollicitation de la structure. Ils déterminent le dimensionnement des éléments métalliques.
- **Le schéma statique** de la structure. Le degré d'hyperstaticité détermine les efforts dans les liaisons.
- **La nuance de l'acier** : Sa résistance mécanique.

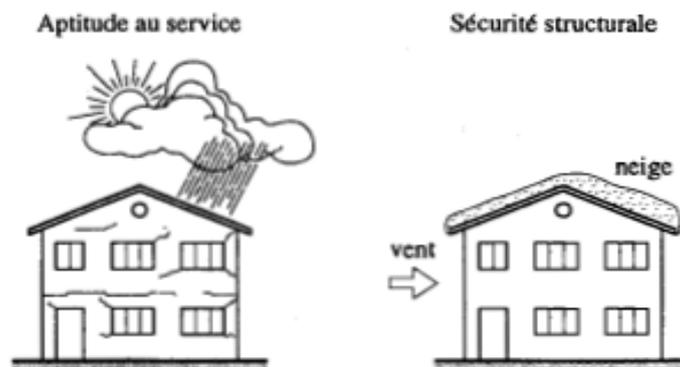
#### V.1.2. La nature des actions

Les différentes actions rencontrées dans un bâtiment sont :

- Actions permanentes (**G**) : Poids propre de la structure et équipements fixes.
- Actions variables (**Q**) : charges d'exploitation, action du vent ou de la neige.
- Actions accidentelles (**A**) : telles qu'explosions ou chocs.

Les valeurs des actions sont tirées du DTU 06-006 N84 dans le cas de la neige, dans le DTU P 06-002(NV 65) dans le cas du vent. Ces valeurs varient selon la localisation géographique du projet en France.

Les valeurs des charges d'exploitation sont répertoriées dans la norme NF P 06-001.



### V.1.3. Règlements aux états limites

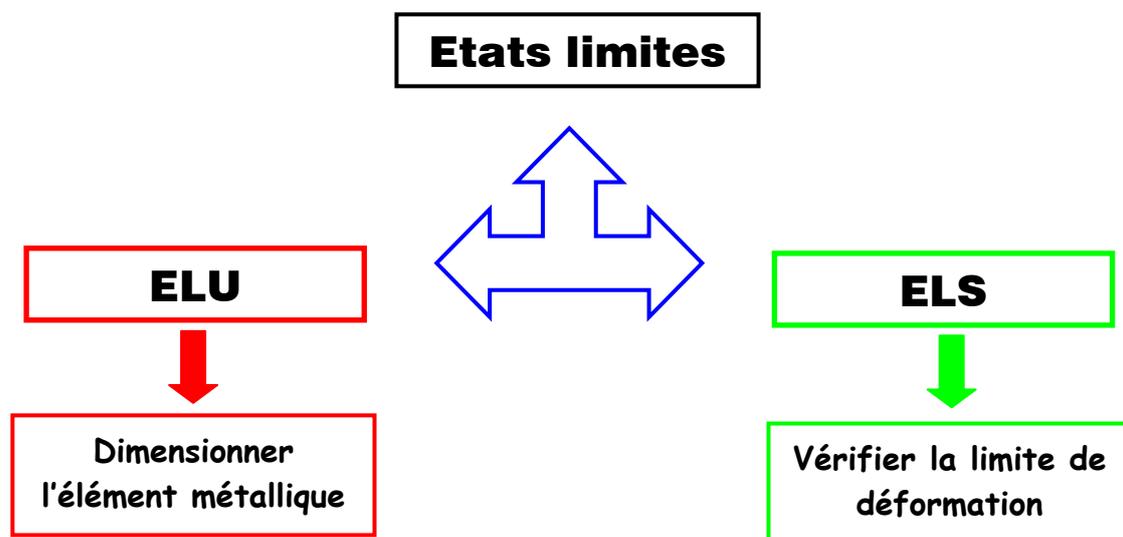
Le souci constant d'avoir une sécurité homogène, pour toutes les parties d'une construction et pour l'ensemble des cas de charge a conduit à répartir les coefficients de sécurité partiels sur les actions, les sollicitations, et les matériaux et à concevoir 2 états limites : l'état limite de service et l'état limite ultime.

- **Etats limites ultimes** : ils traduisent la ruine de l'ouvrage ou son effondrement pouvant nuire à la sécurité des personnes. Dimensionner à l'ELU c'est déterminer les éléments de structure capables de reprendre les charges pondérées par un coefficient de sécurité, sans qu'ils perdent leur stabilité.

Cas de charge :  $1,35 G + 1,5 Q_{neige,vent}$

- **Etats limites de service** : Ils traduisent un état de l'ouvrage qui ne correspond plus aux critères spécifiés de son exploitation. Ils comprennent notamment les déformations des éléments de l'ouvrage affectant son aspect ou son exploitation, ou endommageant le second œuvre. Dimensionner à l'ELS, c'est déterminer les dimensions appropriées des éléments afin que leur déformation ne soit pas préjudiciable.

Cas de charge :  $1 G + 1 Q_{neige,vent}$



### V.1.4. Principe de dimensionnement d'une poutrelle métallique

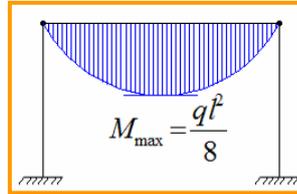
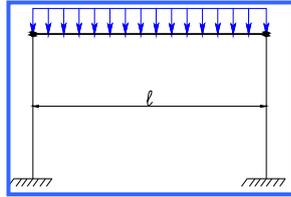
Le dimensionnement d'une poutrelle métallique doit remplir 2 fonctions essentielles :

- Assurer la stabilité de l'ouvrage,
- Permettre la mise en œuvre du second œuvre et son exploitation ultérieure.

Exemple de dimensionnement d'un IPE au chargement (à l'ELU)

a) Calculs RDM :

ELU :  $q = 1,35 G + 1,5 Q + 1,5 Q$



**Objectif :**  $M_{\max} \leq M_{rd}$

$M_{rd}$  : Moment résistant maximal que peut reprendre la section de la poutrelle métallique.

b) Choix du profilé :

L'objectif est de choisir un profilé dont les caractéristiques induisent un moment résistant ( $M_{rd}$ ) supérieur au moment fléchissant maximum présent dans la poutrelle.

$$M_{rd} = f_y \cdot W_{ely} \rightarrow W_{ely} = M_{rd} / f_y$$

$f_y$  : limite élastique du profilé

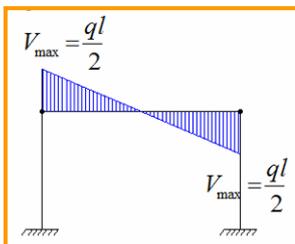
$W_{ely}$  : Caractéristiques de la section de l'IPE

Tableau des caractéristiques des IPE

Désignation Designation Bezeichnung	Valeurs statiques / Sect					
	axe fort y-y strong axis y-y starke Achse y-y					
G kg/m	$I_y$ mm <sup>4</sup>	$W_{ely}$ mm <sup>3</sup>	$W_{ply}$ <sup>†</sup> mm <sup>3</sup>	$i_y$ mm	$A_{vz}$ mm <sup>2</sup>	
	x 10 <sup>4</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10 <sup>3</sup>	x 10	x 10 <sup>2</sup>	
IPE A 120	8,7	257,4	43,77	49,87	4,83	5,41
IPE 120	10,4	317,8	52,96	60,73	4,90	6,31

c) Vérification de la résistance de l'IPE à l'effort tranchant :

Bien que les contraintes de cisaillement engendrées par l'effort tranchant soient moins préjudiciables pour la poutrelle métallique que les contraintes engendrées par le moment fléchissant, une vérification de l'IPE dimensionné au moment fléchissant peut être faite pour s'assurer de la reprise de l'effort tranchant par le profilé.



**Objectif :**  $V_{\max} \leq V_{rd}$

$V_{rd}$  : effort tranchant résistant maximal que peut reprendre la section de la poutrelle métallique

**Calcul du  $V_{rd}$  :**

$$V_{rd} = A_v \cdot \tau_{\max}$$

$A_v$  : aire de cisaillement (Donnée dans le tableau des caractéristiques IPE)

$$\tau_{\max} = f_y / \sqrt{3}$$

d) Vérification de la déformation de l'IPE (à l'ELS) :

Une fois l'IPE dimensionné à la stabilité, sa déformation est vérifiée à l'ELS. La tolérance des déformations de la poutrelle métallique dépend de sa condition d'exploitation.

Exploitations	Limites $\delta_{max}$
Toitures générales (accessible par le personnel d'entretien)	1/200
Toitures supportant fréquemment du personnel	1/250
Planchers et toitures supportant des cloisons en plâtre ou autres matériaux fragiles ou rigides	1/250
Planchers en général (sans machines nécessitant des conditions de flèche plus sévères)	1/250
Planchers supportant des poteaux	1/400

Calcul de la flèche.

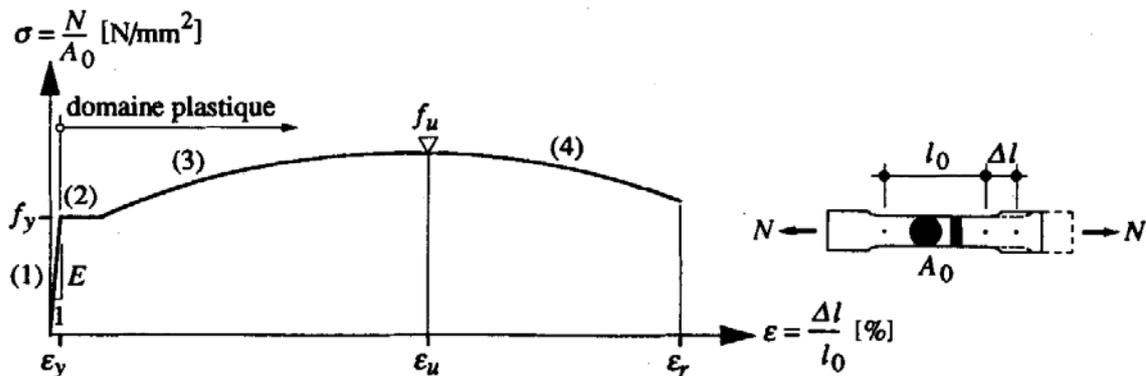
$$\delta_{max} = \frac{5 \cdot ql^4}{384 EI} \rightarrow \frac{\delta_{max}}{l} \leq \text{limite}$$

## V.2. La structure hyperstatique

Pour les dimensionnements d'une construction métallique, la structure est modélisée de manière hyperstatique.

Contrairement au béton, l'acier travaille aussi bien en traction qu'en compression, ce qui nous permet de l'employer pour tous les éléments d'une structure métallique (poutres, poteaux, tirants,...). On prendra pour hypothèse dans les calculs, que l'acier travaille jusqu'à la limite plastique.

### V.2.1. Pourquoi la limite plastique ?



La résistance de l'acier est déterminée à travers des essais effectués sur des éprouvettes normalisées. Ces essais distinguent trois domaines de comportement de l'acier et mesurent la limite d'élasticité :

**Le domaine élastique (1) :** les allongements ( $\epsilon$ ) sont proportionnels aux contraintes ( $\sigma$ ),  $\sigma = \epsilon \cdot E$ . L'acier s'allonge sous l'effort, puis reprend sa dimension initiale lorsque la traction cesse. Ce domaine est défini par la loi de Hooke qui met en évidence le module d'élasticité ou module d'Young (E).

**Le module d'Young de l'acier est d'environ 210 000 MPa.**

**Important** : La limite élastique est la caractéristique fondamentale des aciers. C'est la limite minimum garantie qui est spécifiée dans les normes des aciers. Pour l'acier courant utilisé en construction, la limite élastique est d'environ 235 MPa. Cette contrainte limite diminue lorsque l'épaisseur de l'élément augmente.

**Le domaine plastique (3)** : Il se caractérise par un accroissement de contrainte pratiquement nul, et un allongement de l'acier important et permanent. L'acier ne reprend plus sa longueur initiale. Le domaine plastique succède au domaine élastique et précède un seuil de raffermissement de l'acier. Lorsque la limite d'élasticité de l'acier déformé plastiquement est augmentée, on parle alors d'*écrouissage*.

**Le domaine de la striction (4)**: Au-delà d'une certaine contrainte, qualifiée de *limite de résistance à la traction*, le métal continue à s'allonger et sa résistance diminue. La rupture se produit alors dans une zone localement déformée (diminution de la section de l'éprouvette) c'est la zone de striction.

**Important** : Un élément de structure ne doit pas atteindre la limite élastique notée (fu).

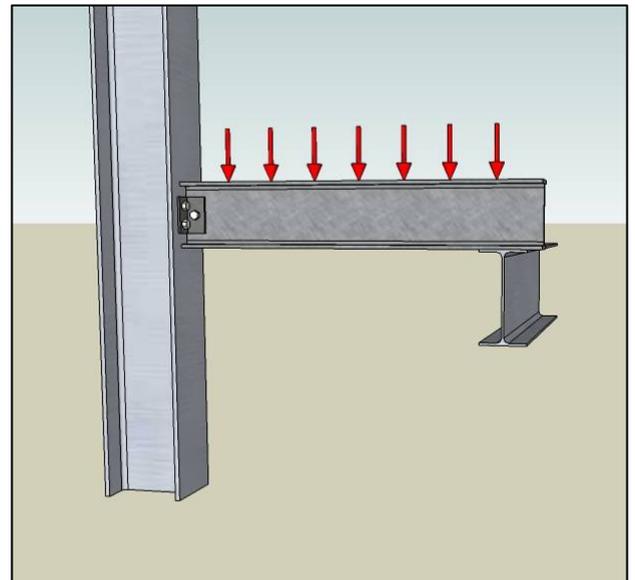
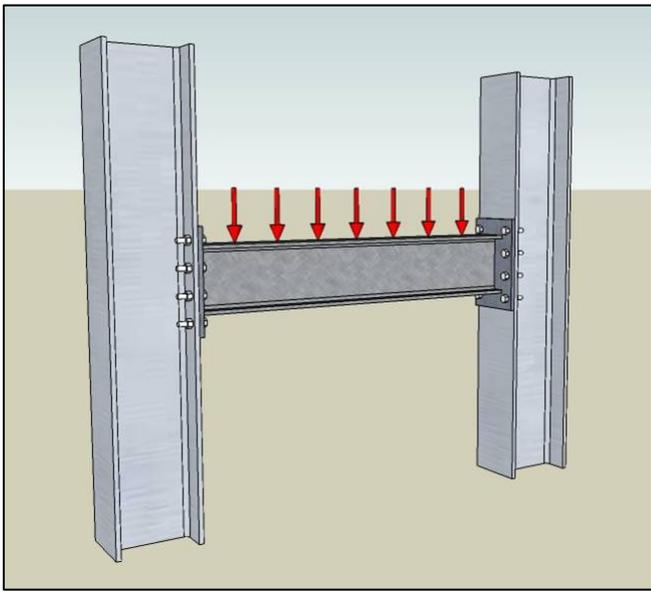
Caractéristiques	Significations
Limite d'élasticité	Limite à ne pas dépasser pour conserver intacte la géométrie
Résistance à la traction	Limite à ne pas franchir pour éviter la rupture
Allongement à la rupture	Allongement maximal possible avant rupture en traction

### V.2.2. Modélisation et analyse

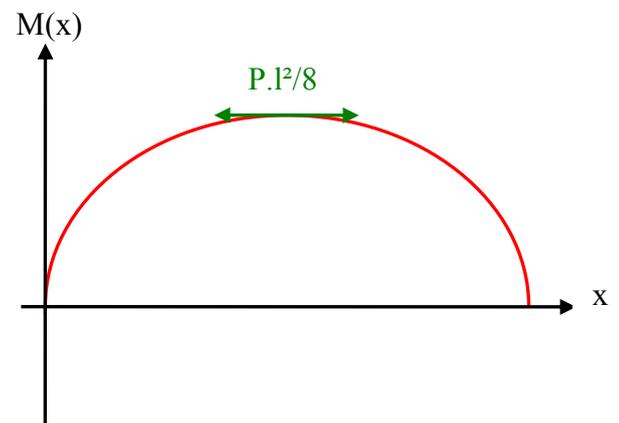
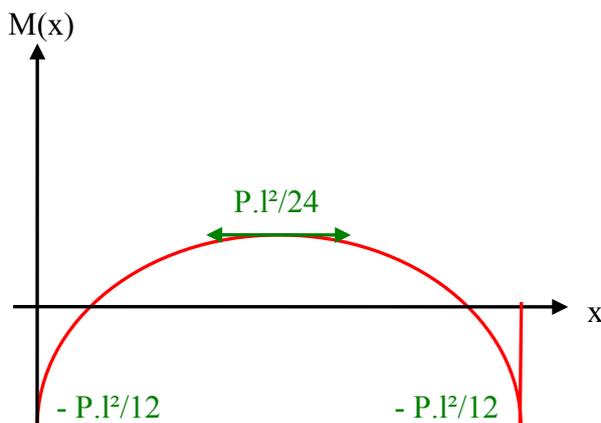
Pour mieux comprendre pourquoi on réalise des structures hyperstatiques, il faut rentrer dans le dimensionnement. En effet, prenons par exemple deux types de structure, une isostatique et une hyperstatique à charge constante et à profilé identique:

Poutre bi-encastée sur des poteaux et chargée linéairement.

Poutre articulée en bout et en appui simple de l'autre et chargée linéairement.



Modélisation



Tracé des moments fléchissant

On observe que l'allure des deux courbes de moments est identique. Mais on remarque que les moments maximums en valeur absolue pour une poutre hyperstatique sont moins importants que pour une poutre isostatique.

De plus :

$$\sigma = \frac{M}{W_{ely}} \quad W_{ely} = \frac{I}{V} \quad \begin{array}{l} I : \text{Inertie de la section} \\ V : \text{Distance séparant le centre d'inertie de la section, de la fibre la plus éloignée.} \\ M : \text{Moment fléchissant} \end{array}$$

D'après la formule, plus le moment fléchissant est faible, plus le moment d'inertie du profilé sera faible. L'inertie d'un profilé est calculée par rapport à sa section et donc plus sa section sera petite, plus son inertie sera faible.

### V.2.3. Conclusion

A profilé et section constants, et soumis à une sollicitation uniforme et constante, on obtient une portée plus importante pour une structure hyperstatique que pour une structure isostatique. On en déduit donc qu'il faudra utiliser des éléments métalliques de plus grande section pour une structure isostatique, donc une structure plus coûteuse.

## V.3. Choix du système porteur d'un bâtiment

Le choix du système porteur doit s'adapter au type de bâtiment, à sa configuration, à ses contraintes spécifiques.

Les termes « **articulation** » et « **encastrement** » définissent le fonctionnement d'un assemblage. De la nature de cet assemblage dépend le type et la valeur des efforts transmis par les barres.

<p><b><u>Ossatures articulées</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tous les assemblages entre les poutres et poteaux sont articulés,</li> <li>■ La stabilité du bâtiment est assurée par le contreventement.</li> </ul>	<p><b><u>Ossatures encadrées (portiques)</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Tous les assemblages entre les poutres et poteaux sont encadrés,</li> <li>■ La stabilité du bâtiment est assurée par ces encastresments.</li> </ul>
<p><b><u>Avantages :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✱ Des nœuds de conception et d'exécution simples,</li> <li>✱ Un montage rapide de l'ossature,</li> <li>✱ Un réglage facile non sensible aux tolérances de fabrication,</li> <li>✱ Des poteaux essentiellement comprimés.</li> </ul>	<p><b><u>Avantages :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✱ « Petites » dimensions des poutres,</li> <li>✱ Plus grande marge de sécurité en cas d'accident ou d'incendie.</li> </ul>
<p><b><u>Inconvénients :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✱ « Grandes » dimensions des poutres,</li> <li>✱ La présence des contreventements qui peuvent être gênants.</li> </ul>	<p><b><u>Inconvénients :</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✱ La réalisation coûteuse et compliquée des nœuds,</li> <li>✱ Un réglage difficile très sensible aux tolérances de fabrication (assemblages en général soudés),</li> <li>✱ Les sollicitations des poteaux augmentées.</li> </ul>

## V.4. Les modes d'assemblage

Le choix du système porteur doit s'adapter au type de bâtiment, à sa configuration, à ses contraintes spécifiques. Plus on cherche de la continuité entre deux éléments à assembler, plus les liaisons sont sollicitées.

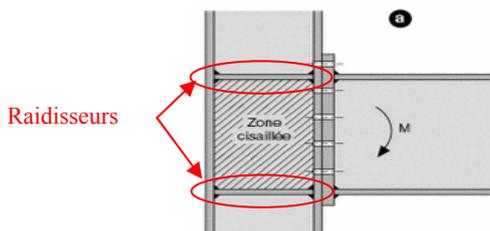
Nous distinguons trois familles d'assemblages dont dépendent les hypothèses de calculs :

### V.4.1. Les encastrements

L'encastrement → C'est une liaison qui fixe complètement les éléments entre eux.

Aucune translation, aucune rotation ne peut se produire. Ce type de liaison transmet les moments.

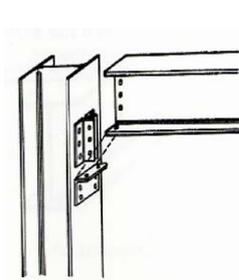
#### a. Encastrement Poteaux / Poutre



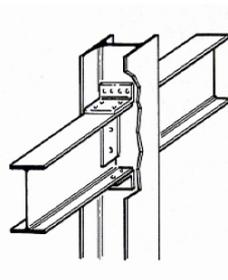
Raidisseurs disposés dans les âmes du poteau au droit des semelles de poutre.

Les raidisseurs reprennent les fortes sollicitations de traction et de compression dans les membrures supérieures de la poutre, qui endommageraient le poteau.

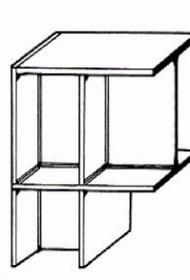
Autres exemples d'encastresments :



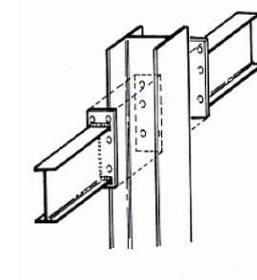
Eclisses en cornières boulonnées



Eclisse soudée et cornière boulonnée

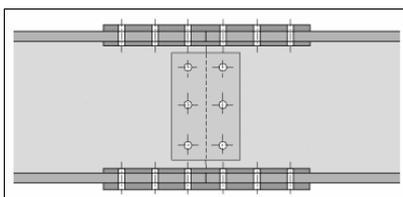


Angle entièrement soudé



Plaque d'about

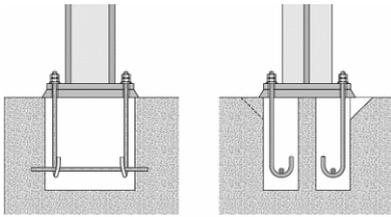
#### b. Encastrement Poutre / Poutre



Assemblage de continuité boulonnée

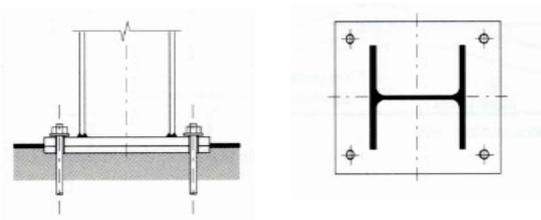
Continuité des ailes assurée par des plaques et contreplaques boulonnées. La continuité des âmes est assurée par des plaques d'éclissage.

### c. Encastrement Pied de poteau.



Encastrement pied de poteau avec tige et clefs métalliques d'ancrage.

Les tiges sont placées avec la platine, puis scellées par le béton dans le massif de fondation.



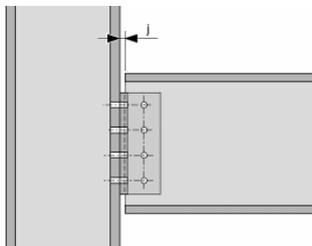
Plaque soudée au profilé et scellée au sol par goujons.

## V.4.2. Les articulations

L'articulation → C'est une liaison non rigide entre au moins deux éléments.

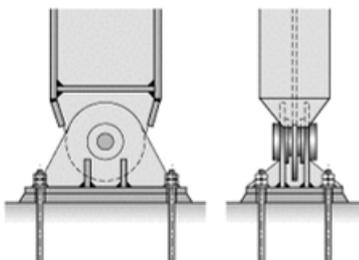
Seules les rotations autour de l'axe de l'articulation (plan) ou autour de son centre (espace) sont autorisées.

### a. Articulation Poteau / Poutre



Assemblage articulé, l'âme de la poutre est fixée au moyen d'une cornière à l'aile du poteau. Un jeu est laissé entre la poutre et le poteau afin de permettre un comportement correct de la structure.

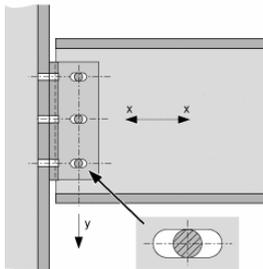
### b. Articulation en pied de poteau



Une cornière platine est pré-scellée dans le massif de fondation. La platine de poteau vient se fixer ensuite dessus.

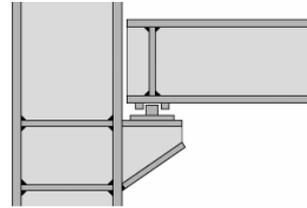
### V.4.3. Les appuis simples

Les liaisons ne permettent qu'une réaction perpendiculaire au plan de l'appui.



#### Appui simple :

Le déplacement de la poutre métallique est rendu possible grâce à ses ouvertures oblongues.

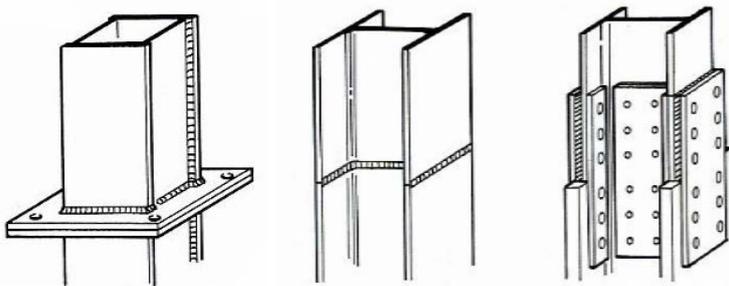


#### Appui simple sur console :

Des butées sont réglées pour limiter le déplacement horizontal.

### V.4.4. Les jonctions des poteaux

Quelques exemples de jonctions de poteaux.



#### Exemple de jonction entre les poteaux

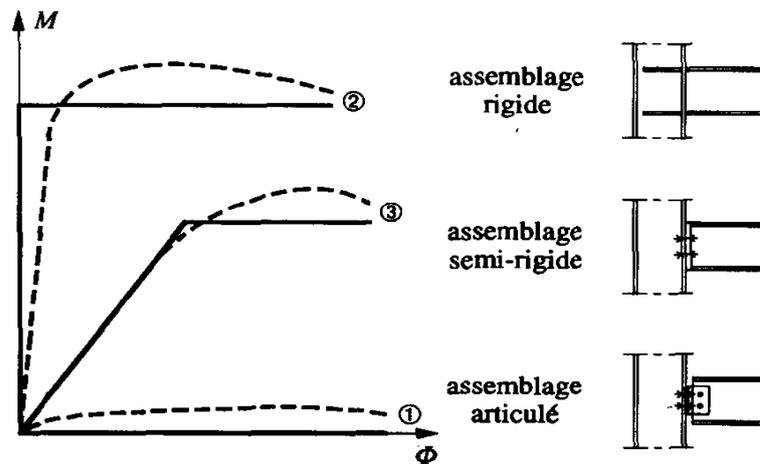
- 1 – Soudage bout à bout des tronçons
- 2 – Joint par éclisses boulonnées
- 3 – Joint par plaques d'extrémités soudées

### V.4.5. Rigidité des assemblages

En ce qui concerne les principes de dimensionnement des assemblages eux-mêmes, il est nécessaire de relever l'importance de certaines de leurs caractéristiques, à savoir :

- leur rigidité,
- leur résistance,
- leur capacité de rotation.

Ces différentes caractéristiques, influencent directement le comportement des assemblages. Ceci est illustré ci-dessous avec les relations de moments de flexion de trois types d'assemblages fléchis constituant une liaison poutre / poteau.



- La courbe ① de la figure concerne le cas d'un assemblage ne transmettant qu'un effort tranchant : il s'agit d'un assemblage articulé qui ne présente pas de rigidité à la flexion.
- La courbe ② correspond à un assemblage capable de transmettre un certain moment de flexion déjà pour une faible rotation : on parle alors d'assemblage rigide à cause de la rigidité à la flexion qu'il présente.
- Il existe aussi des assemblages moins rigides que celui de la courbe ② : on parle alors d'assemblages semi-rigides, dont le comportement illustré par la courbe ③ montre qu'une grande rotation est nécessaire pour atteindre le moment de flexion à transmettre.

La rigidité des assemblages a bien évidemment une influence sur la déformation d'une structure. Les assemblages doivent donc posséder une rigidité comparable à celle admise dans le calcul de la structure : il est donc particulièrement important que la modélisation des assemblages corresponde à leur comportement réel.

On relèvera que cette rigidité est influencée par les déformations des éléments minces comme les ailes des profilés ou les plaques frontales, les jeux des boulons ainsi que par les effets de levier.

## **VI. Planification et interfaces avec la charpente métallique**

### **VI.1. Planification**

Nous allons nous placer dans le cas de la construction d'un bâtiment neuf industriel en charpente métallique.

Description du projet : Construction métallique de 500 Tonnes. La fabrication, les livraisons, la pose et la protection anticorrosion sont sous-traitées.

Le lot « charpente métallique » qui est un élément structurel se situe à la suite du lot « Gros Œuvre », et précède le lot « Clos et Couvert » qui comprend le bardage et la couverture.

Cette planification s'effectue en plusieurs étapes : la conception, la consultation d'entreprise, la commande et la fabrication, la livraison, l'exécution et enfin la réception des travaux.

- **La conception :**

Cette phase consiste à établir les plans généraux, les descentes de charges, et le dimensionnement de la structure en fonction de son utilisation, et des ses caractéristiques. Des synthèses des réseaux sont fournies par les différents corps d'états pour communiquer les charges et caractéristiques des divers équipements, matériaux, et ou installation pour les prendre en compte lors du dimensionnement de la structure. Les plans et notes de calculs sont donc élaborés, et sont soumis aux approbations du Maître d'Ouvrage et / ou du bureau de contrôle. Une fois les plans de fabrication approuvés, un dossier de consultation d'entreprise est mis en place. Après une nouvelle validation du Client et / ou le bureau de contrôle, la phase « Consultation d'entreprise » peut débuter.

Toutes les informations (plans et notes de calcul) sont transmises à l'entreprise de Gros Œuvre qui dimensionne les fondations et implante la structure sur site.

Dans notre cas, cette phase de conception dure **11 semaines**.

- **La consultation d'entreprise :**

Cette phase consiste à déterminer l'entreprise qui effectuera les travaux. Une fois l'étude des dossiers effectuée, les entreprises étant potentiellement sous-traitantes établissent une offre. Ces offres sont analysées par l'entreprise générale qui va déterminer la meilleure afin de signer un contrat.

Dans notre cas, cette phase dure **6 semaines**.

- **La commande et fabrication :**

Cette phase s'effectue principalement en usine. L'entreprise de Charpente Métallique passe commande, suite à une finalisation du bureau d'étude sur les plans qui seront à nouveau approuvés, auprès de son usine ou d'un fournisseur. Cela s'appelle un « ordre de production ou de fabrication ». Grâce aux plans l'usine fabrique les éléments de la structure et traite leur protection ou non suivant les prescriptions du CCTP (dans notre cas la protection anticorrosion est prise en charge). Il est possible que l'usine ait en stock certains profilés du commerce, ce qui raccourcit le temps de fabrication. Pour faciliter le transport, un colisage est effectué à la fin de la fabrication.

Cette phase de commande et de fabrication dure **18 semaines**.

Ces trois dernières phases font partie de ce que nous appelons le « rétro planning », qui donne suite au « planning de décision ».

- **La livraison :**

Cette phase s'établit en une seule fois ou au fur et à mesure de l'avancement du chantier, en fonction de la zone de stockage sur site. Les livraisons sont aussi fonction du gabarit routier (convoi exceptionnel ou taille standard), ce qui limite la taille des éléments transportés. Il en découle qu'une petite partie des assemblages est effectuée en usine et que le reste est fait sur chantier.

Les premiers éléments livrés sont les platines d'ancrages qui sont mises en place par l'entreprise de Gros Œuvre lors des fondations.

Cette phase peut varier en fonction des caractéristiques du site, du gabarit routier, des moyens de levage. Dans notre cas, elle dure **6 semaines**.

- **L'exécution :**

Cette phase débute après le scellement des platines d'ancrage sur lesquelles vont venir s'ajouter les poteaux et la **réception** du lot « Gros Œuvre ». L'entreprise chargée du lot « Charpente Métallique » doit prévoir un moyen de levage pour faciliter le montage de la structure et le matériel nécessaire pour le travail en hauteur. La mise en œuvre d'une charpente métallique est très rapide sur chantier. Il ne s'agit que d'assemblages qui forment au final une structure complète.

Durant cette phase, l'entreprise de Gros Œuvre doit couler la dalle. Et les lots « Menuiseries Extérieures », « Bardage » et « Couverture » vont débiter.

En règle générale l'exécution d'une construction métallique industrielle est estimée au **tiers du temps total de fabrication** en usine.

Cette phase s'achève lorsque les travaux sont totalement terminés, ce qui donne lieu à la réception. Suite à celle-ci les lots « Bardage », « Couverture » et « Menuiserie Extérieure » vont prendre le relais.

Dans notre cas, cette phase dure **10 semaines**.

Récapitulatif :

PHASES DU PLANNING	DUREE
Conception	11 semaines
Consultation d'entreprise	6 semaines
Commande / Fabrication	18 semaines
Livraison	6 semaines
Exécution	10 semaines

Voici un exemple de planning établi sur la base d'un bâtiment neuf en construction industrielle de 1000 m<sup>2</sup> durant une année quelconque. Il permet de mieux nous rendre compte de l'enchaînement des tâches, lors des différentes phases pour le lot « Charpente Métallique ». Voir planning page suivante



## **VI.2. Interfaces avec la charpente métallique**

Les différentes interfaces que nous pouvons trouver avec le lot « Charpente Métallique » sont les suivantes : lors de la conception, l'exécution et la réception.  
(Voir page suivante)

Corps d'états	Interfaces de Conception	Interfaces d'Exécution	Interfaces de Réception
<b>Gros Œuvre</b>	- Fournir les informations nécessaires au dimensionnement des fondations - Fournir les détails des scellements au sol	- Fournir platines d'ancrage pour scellement - Etre en contact pour une éventualité de livraison	- Réceptionner les scellements pour mise en place de la charpente
<b>Couverture Etanchéité</b>	- Doivent fournir le type de fixation sur charpente pour faire les plans - Doivent fournir le type de fixation des gardes corps permanents	- Doivent fixer la couverture sur la charpente	- Doivent réceptionner le support pour mettre en place la couverture
<b>Bardage</b>	- Doivent fournir les besoins en ossatures (lisses horizontales ou verticales)	- Doivent fixer le bardage sur la charpente	- Doivent réceptionner le support pour mettre en place le bardage
<b>Menuiserie Extérieure</b>	- Doivent fournir les types de fixation des menuiseries pour mise en place de chevêtre	- Doivent fixer les menuiseries extérieures sur la charpente	- Doivent réceptionner le support pour mettre en place les menuiseries extérieures
<b>Faux Plafond Cloison</b>	- Doivent fournir l'implantation des faux plafonds - Vérifier le positionnement des menuiseries intérieures - Vérifier le respect du volume après mise en place de l'isolant	- Doivent fixer les faux plafonds et les cloisons sur la charpente	
<b>Serrurerie</b>	- Vérifier maintien de la serrurerie sur les ossatures		
<b>Electricité</b>	- Doivent fournir la charge des appareils et le réseau pour dimensionnement de la structure	- Doivent fixer les appareils et les réseaux	
<b>Plomberie Sanitaire</b>	- Doivent fournir la charge des appareils et le réseau pour dimensionnement de la structure	- Doivent fixer les appareils et les réseaux	
<b>CVC</b>	- Doivent fournir la charge des appareils et le réseau pour dimensionnement de la structure	- Doivent fixer les appareils et les réseaux	
<b>Ascenseur</b>	- Doivent fournir le type de fixation pour dimensionnement de la structure	- Doivent fixer les équipements	
<b>Réseau Protection Incendie</b>	- Doivent fournir la charge des appareils et le réseau pour dimensionnement de la structure	- Doivent fixer les appareils et les réseaux	

## VI.3. La protection contre l'incendie

### VI.3.1. Exigences et critères

En cas d'incendie, la structure porteuse doit continuer à assurer la stabilité du bâtiment pendant une certaine durée.

Les exigences imposées aux bâtiments varient selon leur fonction, les charges qui leur sont appliquées et le nombre d'étages qu'ils possèdent.

Pour savoir si un matériau ou un élément répond aux exigences imposées, il y a plusieurs critères à prendre en compte.

Les matériaux sont classés en 5 catégories (M0 à M4) selon leur combustibilité. L'acier est incombustible, il appartient donc à la classe M0.

Il existe également 3 autres critères qui sont :

- **La stabilité au feu (SF)** : concerne la stabilité mécanique des éléments de construction lorsque la température est élevée.
- **Pare-flamme (PF)** : concerne des éléments de compartimentage au contact desquels des matériaux combustibles ne sont pas entreposés (porte, cloison vitrée...). Ces parois doivent résister mécaniquement et être étanche aux gaz chauds.
- **Coupe-feu (CF)** : concerne également des éléments de compartimentage, qu'ils soient porteurs ou non (plancher, mur, cloison...). En plus de satisfaire aux 2 critères précédents, la température moyenne de la face non exposée au feu de ces parois ne doit pas dépasser 140°C (et 180°C en aucun point).

Les exigences imposées aux différents éléments se traduisent par la satisfaction de ces critères pendant une durée de temps donnée. C'est ainsi qu'est évalué le niveau de performance.

Pour obtenir un degré de stabilité au feu plus ou moins important, on peut utiliser des moyens de protection thermique. En effet, ceux-ci permettent de modifier la vitesse d'échauffement de l'acier.

Pour des durées allant de :

- 15 à 30 minutes : pas de protection
- 60 à 120 minutes : protection par projection, plaques ou peintures intumescentes
- 120 à 140 minutes : protection par des écrans

### VI.3.2. Les différentes structures

#### 1. Les structures non protégées

Pour qu'une structure en acier non protégée soit résistante au feu entre 15 et 30 minutes, il faut qu'elle réponde à un des cas suivants :

- chargement faible par rapport à la capacité
- rapport (S/V) entre la surface d'échange de chaleur entre l'élément métallique et le milieu ambiant (S) et le volume d'acier à échauffer (V) faible.
- Fort degré d'hyperstaticité

#### 2. Les structures protégées

Il existe 3 grands groupes de produits de protection :

- les produits projetés
- les produits en plaques ou systèmes « secs »
- les peintures intumescentes

## 2.1. Les produits projetés :

Il s'agit de produits fibreux minéraux (fibres de roches,...), de vermiculite (roche minérale) ou de perlite (roche volcanique) qui peuvent prendre une forme expansée sous l'action de la chaleur, de composants chimiques absorbant la chaleur (ex : l'oxychlorure de magnésium).

La projection se fait sur le chantier, après montage et assemblage, sur des surfaces brutes ou ayant reçu un primaire.

Les principaux avantages des produits projetés sont leur application rapide, leur faible coût et leur possibilité d'adaptation lors du recouvrement de formes compliquées.

Cependant, ces produits sont salissants, parfois sujets aux fissurations et au niveau esthétique, les surfaces n'ont pas un aspect fini.

## 2.2. Les systèmes « secs » ou par plaques :

Il s'agit de plaques à base de fibres minérales ou vermiculites, de laine céramique, plâtre, etc.

Elles peuvent être collées ou vissées, directement après montage et assemblage de la structure. Les avantages sont, à l'inverse des produits projetés, leur finition lisse des surfaces et une mise en œuvre propre.

Néanmoins, il faut souligner que ce système est difficilement adaptable aux formes complexes.

## 2.3. Les peintures intumescentes :

Ces peintures peuvent être à base de solvant (résistance au feu jusqu'à 90 minutes) ou à base de résine époxy (jusqu'à 120 minutes).

Ces peintures gonflent sous l'action de la chaleur (entre 180 et 300°C) et forment une « cloque » épaisse qui retarde l'échauffement des éléments. Elles sont appliquées sur le chantier ou en atelier de fabrication, après que l'élément ait reçu une couche primaire (antirouille) et en général, une couche de finition est nécessaire.

L'avantage principal de la peinture intumescente est qu'elle donne un aspect fini et décoratif à la structure. Mais ce système a surtout des inconvénients : il est cher et son incidence sur le planning peut être très importante à cause des temps de séchage entre les couches.

## 3. Les structures protégées par écrans

L'échauffement des éléments en acier peut être réduit si ceux-ci sont protégés par des écrans thermiques horizontaux (plafonds suspendus) ou verticaux (cloisons).

Ces écrans doivent assurer l'étanchéité aux gaz, l'isolation thermique, la stabilité au feu pour empêcher l'incendie de se propager.

Lors de la mise en œuvre de ces écrans, il faudra porter une attention particulière aux joints coupe-feu.

## 4. Les éléments mixtes acier / béton :

La performance en cas d'incendie dépend principalement de la dimension de l'élément et des propriétés de résistance à la traction et à la flexion du béton.

La résistance au feu du béton non armé est de 30 minutes. Celle du béton armé va jusqu'à 120 minutes.

Pour les planchers à bac acier, aucune protection du bac n'est nécessaire. Le degré de résistance au feu dépend de l'épaisseur du béton et du pourcentage d'armatures. Pour une épaisseur de 60 mm, la résistance est de 30 minutes, pour 175 mm, elle est de 240 minutes.

## VII. Sécurité

### VII.1. L'oxycoupage

**Principe :** *L'oxycoupage est un procédé de découpage des métaux, à l'aide d'un jet d'oxygène pur. Ce procédé se réalise en 2 phases.*

*La première phase consiste à monter la température du point de démarrage de la coupe à 1300 °C à l'aide d'une flamme de chauffe (oxy – gaz).*

*La deuxième phase consiste à la découpe de la pièce grâce au jet de coupe d'oxygène pur.*

*L'efficacité de la coupe est fonction de la pureté de l'oxygène.*

*L'oxycoupage est utilisé sur des épaisseurs allant de quelques millimètres à 1 mètre.*

#### **Risques :**

1) Lors de la phase d'oxycoupage, les gaz émis ont des degrés de dangerosité variables pour le corps humain. Cela peut aller de l'irritation des voies respiratoires au cancer broncho-pulmonaire.

On retrouve 3 groupes de matériaux dans la construction métallique :

- Les métaux ferreux, ainsi que les dérivés, qui dégagent des oxydes ferriques qui constituent jusqu'à 60 % des poussières
- Les aciers inoxydables, contenant des teneurs importantes en chrome et en nickel, qui dégagent des fumées d'oxydes métalliques divers.
- L'aluminium qui génère des vapeurs de fluor et d'acide fluoridrique.

La combustion oxygène-acétylène à 3100 °C génère des vapeurs brunes d'oxydes d'azote qui provoquent des irritations oculaires et respiratoires pouvant conduire à des œdèmes pulmonaires ou des emphysèmes.

2) Brûlures

#### **Mesures préventives :**

- Identifier les dangers en fonction des métaux grâce à la fiche de données sécurité, transmise par le fournisseur.
- S'assurer que le poste de travail est correctement ventilé.
- Adopter, si possible une alternative pour les travaux à exécuter. (Dans ce cas mettre en place une alternative mécanique pour le façonnage des pièces métalliques type tronçonneuse)
- Port des gants et de lunettes de protection.
- Organiser avec le médecin du travail la formation à la prévention des risques professionnels, tant pour l'encadrement que pour les opérateurs.
- Organiser la surveillance médicale des collaborateurs.

## VII.2. Le soudage à l'arc électrique

**Principe:** Il s'agit d'un principe de soudure par fusion où la chaleur est produite par un arc électrique, formé entre le métal et l'électrode. C'est le frottement de l'électrode et du métal qui provoque l'arc électrique. L'électrode est généralement enrobée par un métal qui possède des caractéristiques chimiques, mécaniques et physiques des 2 métaux à souder.

### Risques :

1) Les gaz utilisés lors du soudage électrique sont principalement de l'argon ou un mélange d'argon-CO<sub>2</sub>.

L'argon et le mélange argon-CO<sub>2</sub> sont incolores et inodores ; en cas de fuite :

- Le CO<sub>2</sub> (densité = 1.52) et l'argon (densité = 1.38) étant plus lourds que l'air, ils vont se répandre au niveau du sol et s'accumuler.
- A forte concentration, l'argon cause l'asphyxie.
- A faible concentration le CO<sub>2</sub>, entraîne une accélération de la respiration et des maux de tête.

En cas de combustion incomplète, il se produit du monoxyde de carbone qui agit comme du gaz asphyxiant. A titre d'exemple, 0.1 % de CO dans l'air tue en 1 heure.

2) Coup d'arc (Brûlure aux yeux)

3) Electrocutation

4) Projection d'éclats de métal

### Mesures préventives :

- Vérification des installations électriques
- Contrôle et entretien des appareils de soudages
- S'assurer que le poste de travail est correctement ventilé.
- Port des EPI : gants, masque de soudeur
- Adopter, si possible, une alternative pour les travaux à exécuter. (Donner la priorité à la réalisation des pièces métalliques monoblocs limitant ainsi les phases d'assemblages)
- Organiser avec le médecin du travail la formation à la prévention des risques professionnels, tant pour l'encadrement que pour les opérateurs.
- Organiser la surveillance médicale des collaborateurs.

## VII.3. Stockage en usine

Les travaux de stockage en usine comprennent le positionnement des pièces, la fixation des élingues ou des crochets, et enfin l'acheminement des éléments jusqu'au lieu de stockage. La manutention se fait par chariot élévateur ou par pont roulant.

### Risques :

- Chute de l'élément
- Ecrasement

**Mesures préventives :**

- Vérification régulière des élingues et des crochets de levage.
- Contrôle des appareils de manutention par les organismes agréés

## **VII.4. Déchargement des éléments de charpente et stockage sur chantier**

**Risques :**

- Renversement de pièces instables (profilés, fermes, éléments pré-assemblés,) au cours de la manutention, ou après stockage, entraînant l'écrasement.
- Basculements d'engins de levage installés sur des appuis qui ne sont pas assez résistants.
- Heurt, coincement, cisaillement, chute d'un compagnon.
- Chute de l'élément dû à la défaillance de l'appareil de levage, entraînant le renversement de l'installation ou l'écrasement du personnel.
- Risque de contact avec une ligne à haute tension.

**Mesures préventives :**

- Définition d'une aire de stockage matérialisée par des potelets garde-corps, avec mise en œuvre d'une plate forme assurant la stabilité des éléments à stocker.
- Organiser les livraisons afin de limiter le stockage
- Vérification des appuis de l'engin de levage (si besoin faire un renforcement de sol).
- Informer le personnel responsable du déchargement des caractéristiques des éléments, soient le poids, la position du centre de gravité ainsi que les points de levage.
- Vérification des élingues et des crochets
- Contrôle des engins de levage par les organismes agréés.

### **VII.4.1. Levage et assemblages des éléments verticaux**

La phase de montage comprend l'élingage de l'élément, l'acheminement jusqu'à la zone de montage, et enfin la fixation.

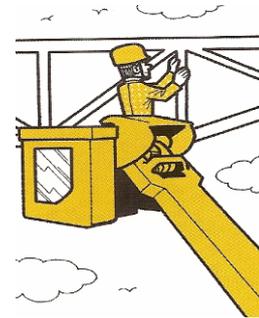
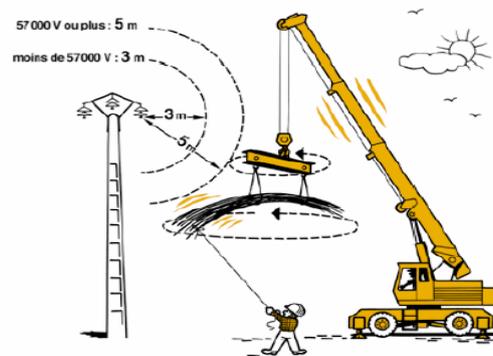
Rappelons que les platines d'ancrage de ces éléments sont transmises préalablement au lot gros œuvre pour qu'elles soient scellées.

**Situations à risques :**

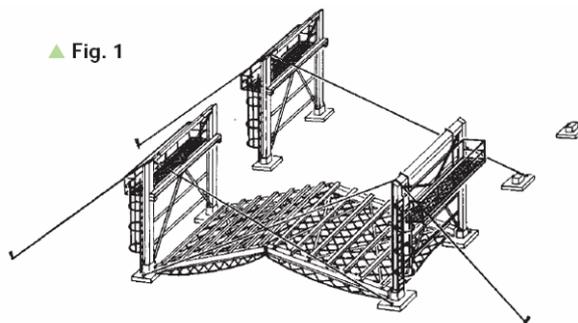
- Chute de l'élément due à la défaillance de l'appareil de levage, entraînant le renversement de l'installation ou l'écrasement du personnel.
- Basculements d'engins de levage installés sur des appuis qui ne sont pas assez résistants.
- Lors de la vérification de la verticalité et du décrochage du système de levage, risque de chute de personnel.
- Renversement de l'élément une fois sa mise en place effectuée.
- Electrocutation (Dans le cas où l'ouvrage se trouve à proximité de lignes à haute tension)

**Mesures préventives :**

- Contrôle des engins de levage par les organismes agréés.
  - Vérification des élingues et des crochets
  - Vérification des appuis de l'engin de levage (Si besoin faire un renforcement de sol).
  - L'accès en tête de l'élément peut se faire à l'aide d'une nacelle autoélevatrice ou d'une nacelle suspendue à une grue.
- 
- Mise en place d'un contreventement provisoire vérifié par le bureau d'étude par note de calcul.
  - Respecter la distance de 5 mètres avec les lignes de hautes tensions. (Voir schéma ci dessous)

**Nacelle autoélevatrice****VII.4.2. Levage et assemblages des éléments horizontaux aux verticaux****Exemple d'un hangar à plusieurs travées**

▲ Fig. 1

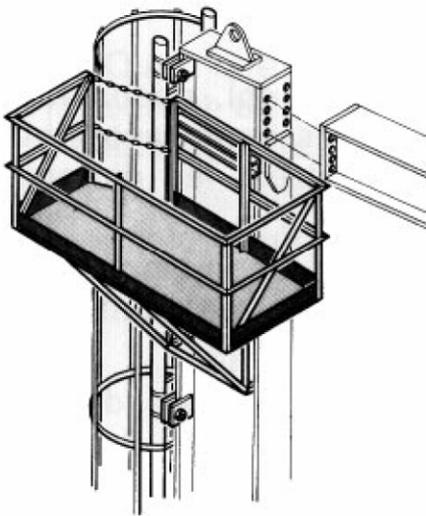
**Risques :**

- Chute de l'élément due à la défaillance de l'appareil de levage, entraînant le renversement de l'installation ou l'écrasement du personnel.

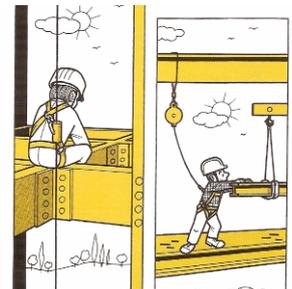
- Basculements d'engins de levage installés sur des appuis qui ne sont pas assez résistants.
- Chute de grande hauteur lors du décrochage du système de levage et du montage
- Heurt, coincement, cisaillement d'un compagneon.
- Renversement de l'installation une fois la mise en place effectuée.
- Electrocuton (dans le cas où l'ouvrage se trouve à proximité de lignes à haute tension)

### Mesures préventives :

- Contrôle des engins de levage par les organismes agréés.
- Vérification des élingues et des crochets
- Vérification des appuis de l'engin de levage (si besoin faire un renforcement de sol).
- Mettre en place des protections collectives empêchant le compagneon de monter sur la charge (voir exemple ci dessous)

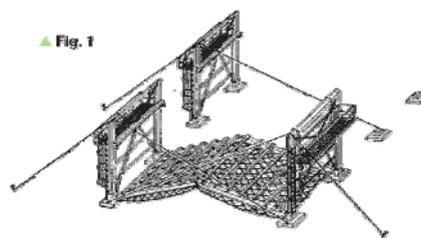
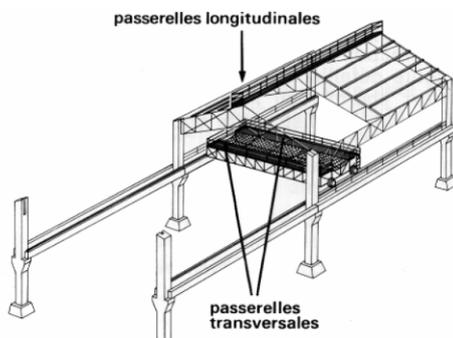


Le travail s'effectue sur une plate forme de travail, équipée de garde corps (90 cm de Hauteur), liée au poteau et accessible par une échelle avec crinoline.



- Utilisation de matériel de décrochage à distance (Par exemple à commande pneumatique)
- Si le décrochage à distance n'est pas possible, utilisation d'un filin.
- Aménagement des surfaces de circulation en élévation. (Passerelles provisoires)

### Filin de sécurité



- Mise en place de surfaces de recueil (Filet de sécurité).
- Mise en œuvre d'un contreventement provisoire
- Respecter la distance de 5 mètres avec les lignes à haute tension.

## **VIII. Qualité / environnement**

### **VIII.1. La norme qualité**

La norme ISO 9001-2000 est une référence en terme de management de la qualité. Elle a pour but la pleine satisfaction du client. La norme ISO 14000 encouragera les entreprises sur une qualité de fabrication / construction respectant l'environnement.

On distinguera plusieurs vérifications afin de satisfaire le client. Les normes exigent une traçabilité des contrôles. On effectuera alors une fiche qualité pour les 4 étapes que sont : l'étude, la fabrication, la pose et la réception.

## VIII.2. Le Plan particulier de contrôle

### VIII.2.1. Lors de la phase d'étude

Désignation	Fréquence	Outils utilisés	Tolérance	Traitement possible
Respect : - des charges d'exploitation imposées par la MOA - des conditions climatiques du site - de la zone sismique du site - des volumes du projet - de l'isolation acoustique - de l'isolation thermique - du matériau choisi par la MOA ainsi que sa finition et de son traitement	Systématique	Pièces marché	Aucune si la prestation est inférieure aux exigences	Négociation avec la MOA / MOE

### VIII.2.2. En fin de fabrication

Désignation	Fréquence	Outils utilisés	Tolérance	Traitement possible
Dimensions	Systématiquement	Outil de mesure	mm	Coupe ou évaluation des conséquences
Positionnement des trous	Par sondage systématique si aucune erreur de décelée par opération de fabrication	Plans du projet	mm	- si trous manquants : les réaliser si la surface n'est pas traitée (galvanisée à chaud) - si trous mal positionnés : recyclage
Qualité du traitement - uniformité sur la surface - couleur	Par sondage. Si présence de défauts, vérification plus soignée des éléments du même « bain »	Visuel	Aucune. Le traitement doit être uniforme	A retraiter.
Nombre de pièces	Systématiquement	Visuel	aucune	

Fournitures des éléments pour assemblage et finitions (boulons, leurs couleurs, etc...)	Systématiquement	Visuel	aucune	
Colisage dans l'ordre de fabrication	systématiquement	Plans avec pièces numérotées	aucune	

### VIII.2.3. Lors de la mise en œuvre

Désignation	Fréquence	Outils utilisés	Tolérance	Traitement possible
Réception du support gros œuvre	systématiquement	Règle Réglet Niveau	- 5mm sous la règle de 2m - 2mm sous le réglet de 20 cm	Traitement par le GO
Contrôle du boulonnage	- par sondage - sinon systématique		Aucune	Remplacement, resserrage, etc...
Vérification du couple de serrage sur boulons précontraints	- par sondage - sinon systématique	Clé dynamométrique	+/- 0,2N.m	Serrer au couple préconisé
Vérification des soudures	systématique	Visuel	Aucune	A refaire

### VIII.2.4. Lors de la réception

Désignation	Fréquence	Outils utilisés	Tolérance	Traitement possible
Vérification du traitement	Systématique	Visuel	Aucune	
Respect du projet	Systématique	Visuel	Celle du projet	Modifications
Aplomb/ Niveaux	Systématique	Niveaux	CCTP / Co-traitants acceptant le support	Réglages complémentaires

## VIII.3. Environnement

### VIII.3.1. L'acier et la démarche HQE

- Qu'est ce que la démarche HQE

La démarche HQE est avant tout une démarche de qualité. Elle aide les entrepreneurs à prendre en compte lors de la conception d'un projet, le respect de l'environnement, sans

négliger l'aspect économique et le confort intérieur de l'ouvrage, et ce dans le but d'obtenir la qualité environnementale du bâtiment.

Elle fixe des objectifs à atteindre, aussi appelés les 14 cibles HQE. Ces objectifs sont répartis en quatre domaines qui sont l'éco-gestion, l'éco-construction, le confort et la santé. ([www.assohqe.org](http://www.assohqe.org)).

Les maîtres d'ouvrages et les concepteurs peuvent décider de se concentrer sur une ou plusieurs cibles, voir la totalité, sans avoir à justifier les niveaux de performances atteints.

Le tableau suivant récapitule les 14 objectifs de la démarche HQE.

<b>Maîtriser les impacts sur l'environnement extérieur</b>	<b>Créer un environnement intérieur satisfaisant</b>
<p><b>ECO-CONSTRUCTION</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Relation harmonieuse des bâtiments avec leur environnement immédiat</li> <li>2. Choix intégré des procédés et produits de construction</li> <li>3. Chantier à faibles nuisances</li> </ol> <p><b>ECO-GESTION</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Gestion de l'énergie</li> <li>5. Gestion de l'eau</li> <li>6. Gestion des déchets d'activité</li> <li>7. Gestion de l'entretien et de la maintenance</li> </ol>	<p><b>CONFORT</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>8. Confort hygrothermique</li> <li>9. Confort acoustique</li> <li>10. Confort visuel</li> <li>11. Confort olfactif</li> </ol> <p><b>SANTE</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>12. Qualité sanitaire des espaces</li> <li>13. Qualité sanitaire de l'air</li> <li>14. Qualité sanitaire de l'eau</li> </ol>

- Vers une certification HQE

La norme « NF bâtiments tertiaires – démarche HQE » est la transposition de la démarche dans le champ de certification. Pour obtenir cette certification un bâtiment devra atteindre les niveaux de performances suivants :

- « très performant » pour au moins 3 cibles
- « performant » pour au moins 4 cibles

Les cibles peuvent être choisies par le Maître d'Ouvrage et les concepteurs, selon leurs propres critères, en fonction de la situation du bâtiment.

### **VIII.3.2. L'acier : une réponse pertinente à la démarche HQE**

Dans cette partie nous allons reprendre chaque cible et analyser comment l'acier s'inscrit parfaitement dans chacune d'elle.

- Maîtriser les impacts sur l'extérieur

#### **ECO-CONSTRUCTION**

Cible n°1 : Relation harmonieuse du bâtiment avec son environnement immédiat

- Opter pour la construction métallique, c'est aussi opter pour une liberté de forme qui va permettre à l'initiateur du projet de concevoir un bâtiment qui s'adaptera facilement aux contraintes du site.
- La structure en acier favorise la transparence, la pénétration de la lumière naturelle. Cela permet au bâtiment de mieux se fondre dans le paysage.

### Cible n°2: Choix intégré des procédés et produits de construction

C'est certainement dans ce domaine que l'acier se démarque le plus en participant à ce principe d'économie des ressources naturelles.

- Tout d'abord l'acier possède des propriétés magnétiques qui garantissent une facilité du tri parmi tous les déchets.
- On sait que 40% de la production de l'acier est issue du recyclage (Source OTUA), ce qui représente autant de minerais préservés. En effet, l'acier peut-être recyclé indéfiniment à 100 % sans aucune altération de ses propriétés, ce qui aura également des conséquences positives sur la consommation d'énergie lors de la fabrication.

L'acier c'est également une fabrication et une mise en œuvre écologique :

- L'acier est issu du fer, l'un des éléments les plus abondants sur la terre.
- La consommation d'énergie pour la fabrication de l'acier a diminué de moitié ces 30 dernières années.
- Les émissions de substances polluantes (gaz à effet de serre, poussières, ...) ont également été diminuées grâce à l'installation de systèmes filtrant ces substances. Cela permet notamment de récupérer du zinc utilisé en tant que matière première dans les usines de fabrication du zinc. La sidérurgie européenne a mis en place le programme ULCOS dont l'objectif est de diminuer ces émissions dans le temps.
- Les eaux usées sont récupérées, épurées et réutilisées limitant ainsi le prélèvement dans le milieu naturel.
- Les coproduits générés sont tous réutilisables. Ex : le laitier provenant de l'élaboration de la fonte brute et de l'acier est notamment utilisé dans la fabrication du ciment.

Lorsque toutes les possibilités de récupération sont utilisées, on se retrouve avec une usine de fabrication qui ne rejette que très peu de déchets.

### Cible n°3 : Les chantiers à faibles nuisances

Pendant la réalisation du bâtiment, l'acier permet un déroulement efficace du chantier, des livraisons en temps voulu limitant les besoins de stockage, des travaux propres, sans déchets, secs et sans poussières, puisque la plupart des éléments sont fabriqués en atelier dans un environnement contrôlé. Cette rapidité d'exécution et de montage minimise la gêne pour le voisinage, notamment dans les centres villes.

## ECO-GESTION

### Cible n°4 : Gestion de l'énergie

La construction métallique conduit à des bâtiments de faible inertie thermique. L'énergie produite sert uniquement à chauffer l'air du bâtiment.

La construction métallique associée à une isolation extérieure performante limite les déperditions de chaleur. Dans cette configuration, et en s'appuyant sur la récupération de l'énergie solaire (grâce à des façades vitrées) pendant la journée, il est possible de concevoir des bâtiments à occupation diurne, n'exigeant pas de système de chauffage. Cela permet une grande économie d'énergie.

### Cible n°5 : Gestion de l'eau

La construction métallique n'influe en rien sur la gestion de l'eau. Les eaux pluviales peuvent être récupérées pour l'arrosage des jardins.

### Cible n°6 : Gestion des déchets d'activité

L'utilisation de l'acier n'a pas d'impact spécifique sur la production et la gestion des déchets en phase d'exploitation.

### Cible n°7 : Gestion de l'entretien et de la maintenance

Les éléments en acier pré-laqués, ou en acier inox, soumis aux intempéries ne nécessitent pas d'entretien, la pluie suffisant à les nettoyer.

Le principe d'assemblage des éléments entre eux facilite le démontage et donc le remplacement d'un élément.

- Créer un environnement intérieur confortable

## CONFORT

### Cible n°8 : Confort hygrothermique

- L'acier peut-être utilisé pour fabriquer des éléments de façades tels que des brise-soleils qui permettent de réguler les apports énergétiques sans dépense d'énergie.

- L'acier permet également de concevoir des façades dites « évoluées » (Double peau, Façade respirante, ventilée, géo climatique...) qui s'adaptent aux variations météorologiques grâce à des systèmes mécaniques (occultation, ventilation) qui donnent un confort thermique tout au long de l'année aux utilisateurs. En effet ces façades permettent de profiter des apports naturels gratuits (chauffage et éclairage).

### Cible n°9 : Confort acoustique

Avec une mise en œuvre masse/ressort/masse (Acier/laine minérale/Acier) on obtient des niveaux d'isolation acoustique allant jusqu'à 80 dB (Niveau très performant) qui sont supérieurs à ceux obtenus grâce à l'effet de masse d'une cloison ou d'une paroi en dur.

**Cible n°10** : Confort visuel

L'acier contribue à concevoir des structures légères, vastes et ouvertes à la lumière (Façades transparentes). Grâce à cela le bâtiment s'intègre mieux dans son environnement.

**Cible n°11** : Confort olfactif

Utilisé nu ou galvanisé l'acier est inodore

Les éléments en acier reçoivent généralement leurs finitions en usine (Métallisation, peinture). Les éléments sont donc livrés finis sur le chantier sans odeur perceptible.

**SANTE****Cible n°12** : Qualité sanitaires des espaces

Les aciers inoxydables, pré-laqués, résistent bien aux agents chimiques et facilitent le nettoyage.

**Cible n°13** : Qualité sanitaire de l'air

L'acier nu, galvanisé, ou inoxydable n'émet ni vapeur, ni particules. Quant aux peintures, elles sont appliquées en usine, dans un environnement contrôlé. Seuls les aciers pré-laqués émettent du CO2 mais en quantité inférieure à ce qui est préconisé par le CSTB.

**Cible n°14** : Qualité sanitaire de l'eau

Pas d'impact néfaste sur la distribution de l'eau dans un bâtiment.

**VIII.3.3. Le traitement des déchets sur un chantier de construction métallique**

Sur un chantier de construction métallique, on aura 2 types de déchets :

- Les déchets industriels banals comprenant les métaux et alliages, les matières plastiques, (emballages), des matériaux bois (tasseaux de bois pour stockage), etc. Ces matériaux, selon si ils sont de classe II ou classe III, seront incinérés ou recyclés.

- Les déchets industriels spéciaux comprenant entre autre les pots de peinture anticorrosion. Même si le traitement des éléments métalliques est réalisé en usine, il se peut qu'après le montage, le revêtement ait été endommagé et qu'il nécessite une retouche. Ce sont des matériaux de classe 1, c'est à dire qu'ils seront prétraités avant d'être incinérés.

Responsabilité de l'entreprise exécutante

D'après l'article 2 de la loi du 15 juillet 1975, " Chaque producteur ou détenteur de déchets est responsable de l'élimination des déchets ".

En général l'entreprise intervenant sur le chantier a la charge de l'élimination de ses déchets, même si juridiquement la responsabilité du maître d'ouvrage peut parfois être invoquée.

L'entreprise aura donc bien souvent à sa charge les opérations visant à réduire, trier, stocker,

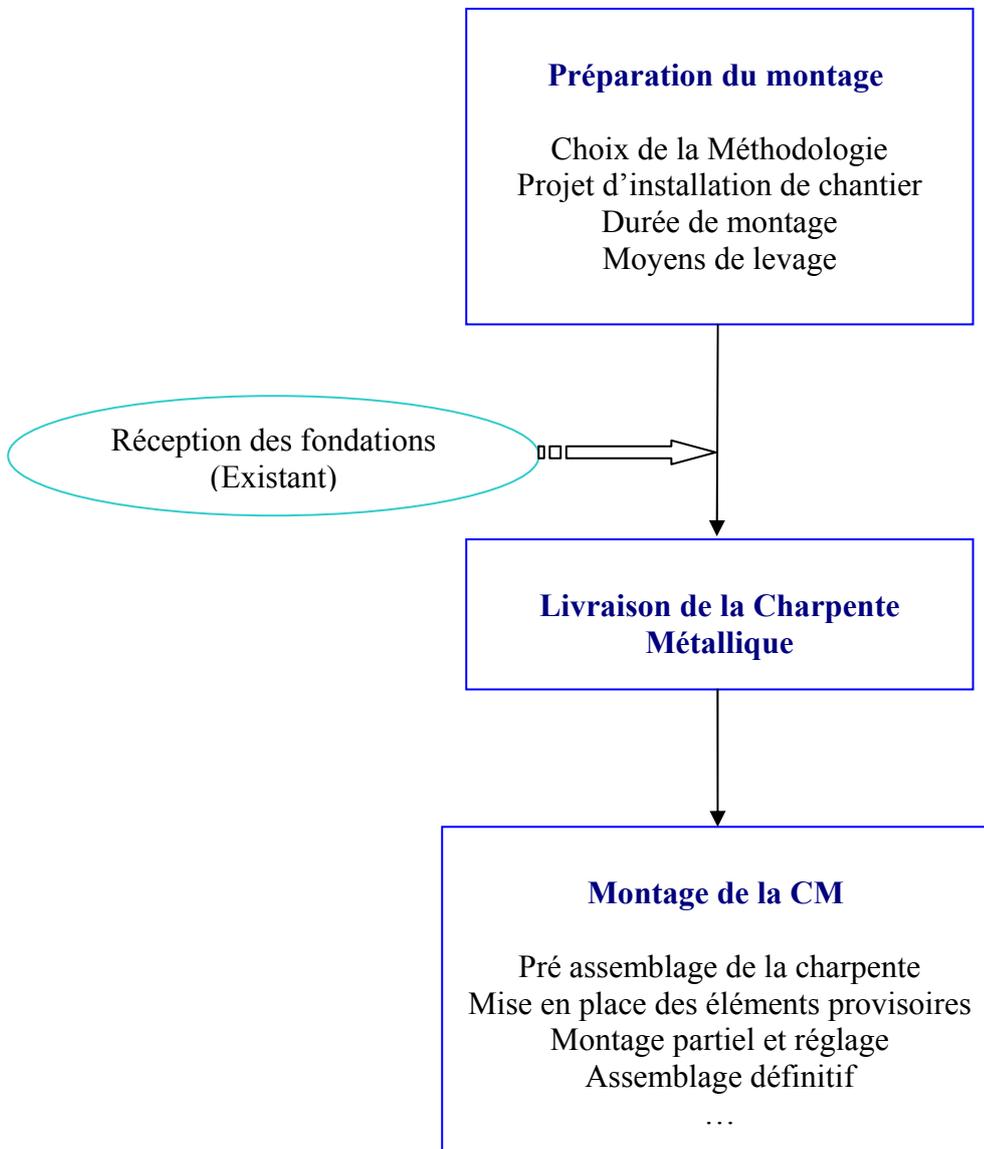
collecter, transporter, valoriser et traiter les déchets dans des conditions propres à éviter des pollutions et des nuisances.

En cas de non respect de la réglementation, l'article L 541-46 du code de l'environnement prévoit des sanctions pénales et civiles :

- les sanctions pénales peuvent aller jusqu'à 2 ans de prison et 75.000 Euros d'amende
- les sanctions civiles peuvent exiger le versement de dommages et intérêts ou comporter des injonctions.

## **IX. La mise en œuvre**

### **IX.1. Déroulement du montage par phase**

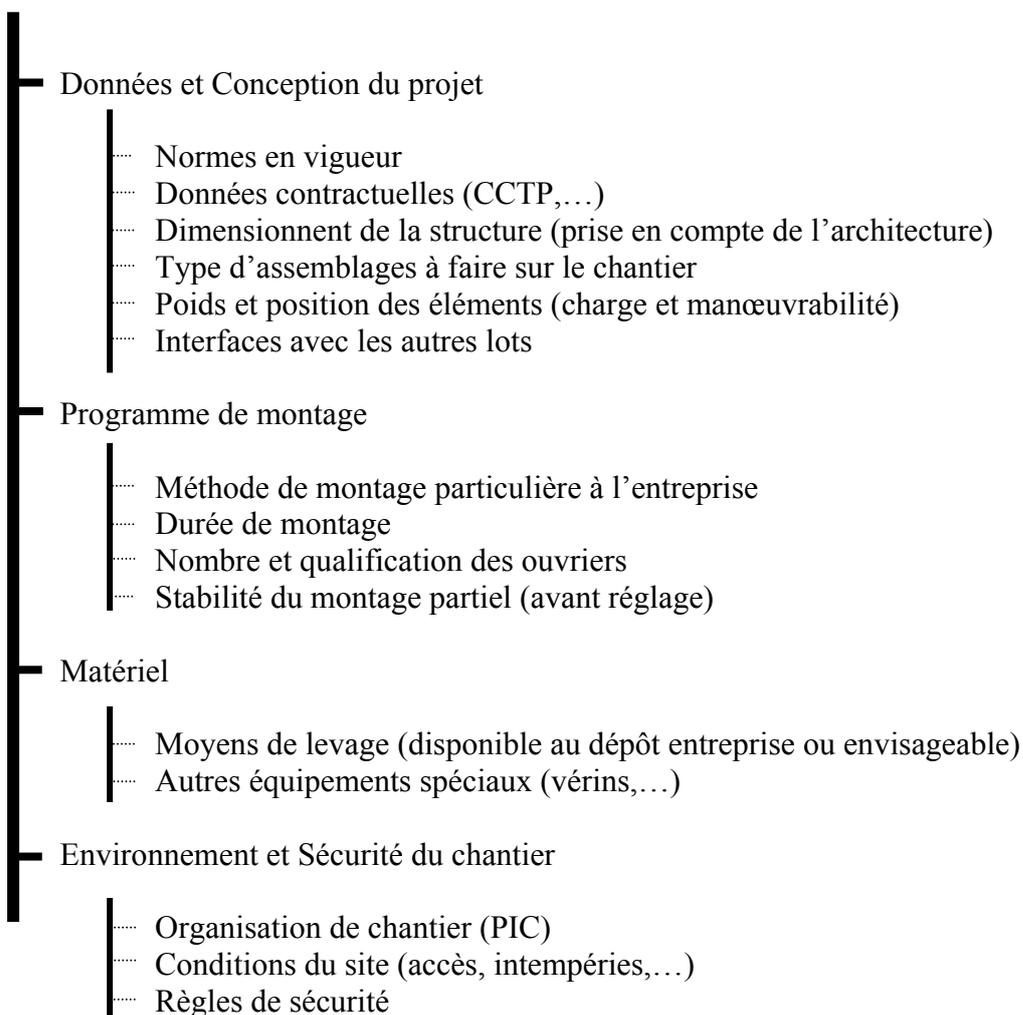


## IX.2. Préparation du montage

### La Méthodologie

Tout chantier est considéré comme unique de par les différents facteurs qui peuvent entrer en compte dans la méthodologie à choisir. Différents aspects sont donc pris en compte.

#### IX.2.1. Choix de la méthodologie

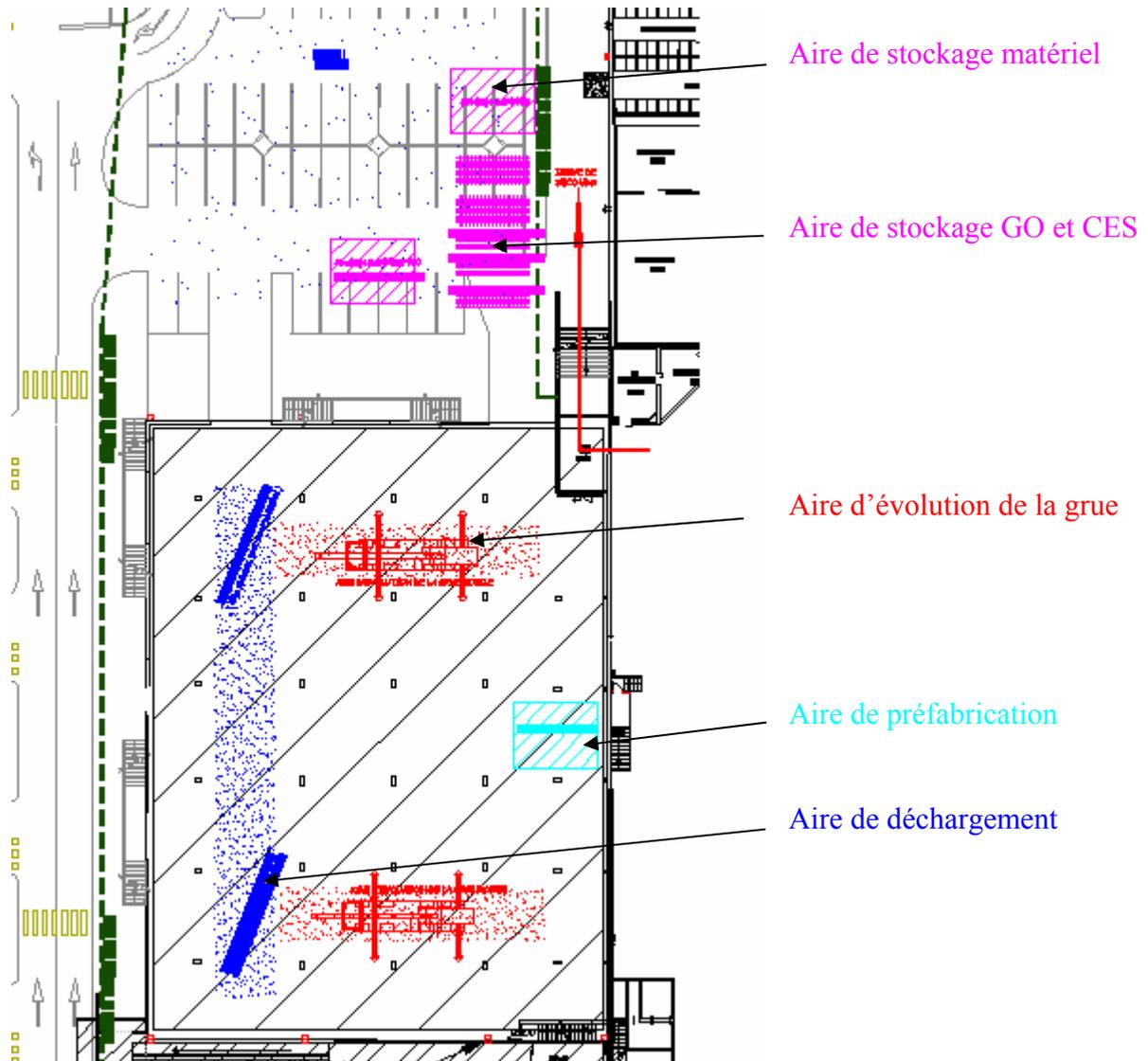


Le bureau d'études construction métallique (désigné préalablement) détermine les principes de la méthodologie de montage alors que l'entreprise de construction métallique établit le programme général de montage.

#### IX.2.2. Projet d'installation de chantier

Ce projet doit préciser les différentes dispositions d'implantations et d'aménagement des bureaux, locaux d'hygiène et de sécurité et autres magasins, ateliers, aires de stockage, d'assemblage et leurs raccordements aux réseaux correspondants.

Le projet d'installation de chantier définit également les aires de circulations intérieures et extérieures du chantier comprenant l'accès au chantier (clôture, signalisation, éclairage,...) et l'accès aux aires de stockage, de manutention, etc.



### IX.2.3. Durée de montage

Il est primordial d'évaluer la durée de montage d'un ouvrage. En effet, cela permet d'estimer avec précision :

- Les ressources en main d'œuvre directe (coût)
- Le phasage et le processus de montage (méthodologie)
- La durée de location du matériel (coût)
- La date de fin de travaux prévisionnels (engagement contractuel)

### IX.2.4. Moyens de levage

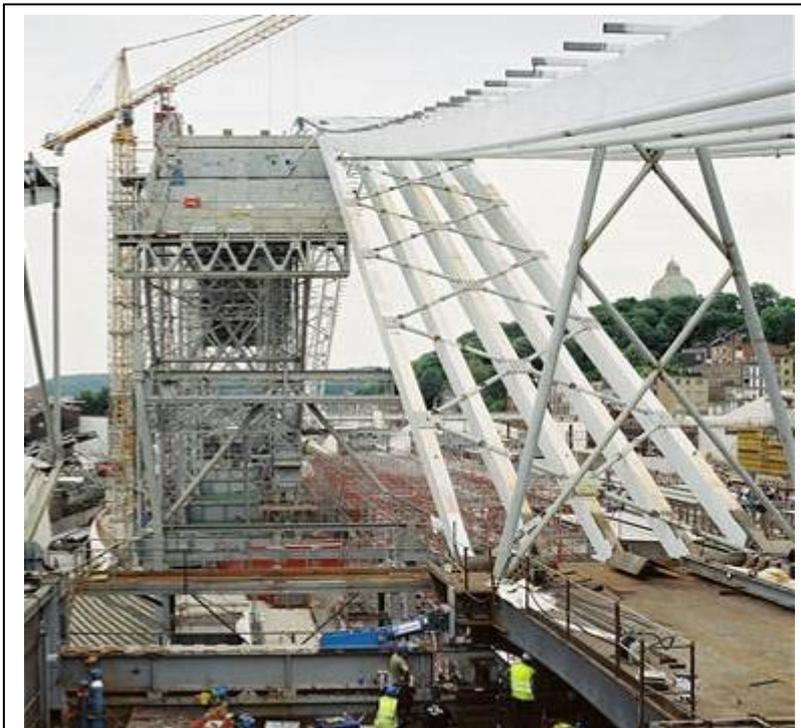
La capacité minimale du moyen de levage est déterminée par l'élément (ou la pièce) qui est soit le plus lourd, soit le plus volumineux.

Certains outils et équipements sont communs au lot Gros Œuvre et au lot Charpente Métallique. Ainsi, on retrouve :

- Les moyens de levage : grues à tours, grues mobiles, vérins hydraulique, treuils,...



*Photo : Une grue mobile*



*Photo : Une grue a tour*

- Les équipements de levage : élingues, câbles d'aciers, cadres,...
- Les équipements de mesure : théodolite, niveau, laser,...
- Les équipements de sécurité collective : échafaudages, nacelles élévatrices, garde-corps, filets de protection,...



**Photo : Un échafaudage**

- Les équipements de sécurité individuelle : casques, harnais, gants, lunettes de protection,...

D'autres moyens sont spécifiques à la charpente métallique :

- Les outils de boulonnage : clés, clés dynamométriques, équipements de vérification de couple,...
- Les outils de soudages
- Les équipements spéciaux : mâts de montage,...

### IX.3. Livraison de la charpente métallique

#### IX.3.1. Le transport

Plus particulièrement dans le domaine de la charpente métallique, le cas du transport des ouvrages métalliques doit être étudié en amont du projet (définition de la méthodologie) notamment du fait des contraintes de dimensions et de poids qui sont limitées par le moyen de transport.

Que l'on utilise des camions, des containers ou des wagons ferroviaires pour le transport des pièces métalliques, l'optimisation est nécessaire.

	Dimension (longueur*largeur*hauteur)	Chargement théorique
Camion semi remorque	13,2*2,44*2,35 m	25 tonnes ; 75 m <sup>3</sup>
Container « open top 20 »	5,9*2,34*2,3 m	21,8 tonnes ; 32 m <sup>3</sup>
Wagon ferroviaire	18,5*2,44*2,4 m	65 tonnes ; 108 m <sup>3</sup>

Travailler à l'aide d'un planning de livraison est primordial afin de travailler en harmonie avec le planning d'avancement et parer à toutes les modifications inhérentes à la vie d'un chantier.

### IX.3.2. Livraison

Evoqué précédemment, un planning détaillé de livraison doit être établi et optimisé afin d'organiser la livraison. En effet, les ateliers de fabrication ont tendance à livrer les éléments de construction dans l'ordre identique de leur fabrication (toutes les lisses ensemble,...), or cela ne correspond pas forcément à l'ordre de montage.

On distingue donc deux types de livraisons :

- La livraison désordonnée, conforme à l'ordre de fabrication, qui nécessite une grande surface de stockage.
- La livraison à pose immédiate, qui respecte l'ordre de montage de la structure et qui ne nécessite pas de manutention intermédiaire car les éléments sont directement montés sur l'ouvrage.

Le planning de livraison doit tenir compte de l'accessibilité du chantier (rues, aire de stockage,...).

### IX.3.3. Déchargement – Manutention de la charpente métallique

Voici quelques recommandations concernant la manutention d'éléments métalliques :

- Eviter de mélanger les pièces de références différentes.
- Indiquer les points d'élingages des pièces si possible avec le centre de gravité.
- La charge maximale des élingues peut être inscrite sur une attache métallique.
- Protéger les pièces fragiles.

Voici quelques recommandations concernant les boulons, écrous et rondelles :

- Fourniture des pièces dans des emballages protecteurs accompagnés du certificat de qualité.
- Les paquets de pièces doivent être répartis par typologie (diamètre, longueur et qualité) et étiquetés.

La plupart des éléments métalliques sont livrés prépeints sur le chantier. Afin de limiter tout dommage du revêtement dû à l'élingage, on peut utiliser un rembourrage en bois tendre afin d'éviter tout glissement de la charge.

Ce genre de rembourrage est également utilisé pour élinguer une pièce en lui donnant un angle correspondant à l'angle de la pièce montée.

#### **IX.3.4. Stockage**

L'aire de stockage doit être ordonnée et l'espace optimisé afin de perdre le moins de temps possible lors de l'élingage.

Les éléments métalliques ne doivent pas être posés au sol mais correctement calés sur des traverses en bois ou en fer. Un listing des pièces avec toutes leurs caractéristiques (type, poids, taille, localisation, etc.) doit être établi et tenu à jour.

## IX.4. Montage de la charpente métallique

### IX.4.1. Relevé du support

Avant le début du montage de la charpente métallique, on relève la position des tiges d'ancrage et de la trame des poteaux. On prend également note de l'état des appuis.

L'ensemble des fondations de l'ossature métallique doit être préparé pour recevoir la structure. La vérification porte sur la position des points centraux des groupes de tiges d'ancrages et la longueur des tiges d'ancrage.

Ces contrôles doivent avoir lieu le plus tôt possible afin de remédier à des imperfections.



### IX.4.2. Préassemblage de la charpente

Le montage d'une ossature métallique est dangereux de par les risques de chutes de hauteurs et les risques liés au levage et aux déplacements des charges.

Le préassemblage des éléments de structures métalliques permet de réduire le risque de chute de hauteur en y diminuant le travail.

Le préassemblage est soumis à certains facteurs limitant (pratique et économique). Ainsi, il faut prendre en compte :

- Le poids et le volume de la pièce (une fois préassemblée) qui sont limités par la capacité portante de la grue (moyen de déplacement).
- La distance et la hauteur à atteindre.
- La rigidité de la pièce (qu'elle ne se détériore pas lors du déplacement).
- L'aire de stockage disponible.

Le préassemblage peut s'effectuer en atelier de fabrication tant que les pièces assemblées peuvent être transportées (limité par la capacité du camion ou des containers). Le

cas des convois exceptionnels doit faire l'objet d'autorisation et on doit donc s'y prendre à l'avance (phase de préparation).

Le préassemblage peut également s'effectuer sur le chantier. Il n'y a alors plus de contraintes de transport mais il faut disposer d'un espace suffisant si possible près de la position de montage.

Remarque : L'usage du préassemblage ne présente de l'intérêt que si l'élément peut être déplacé et boulonné assez facilement.



#### **IX.4.3. Mise en place des éléments provisoires**

Le montage d'une ossature métallique est effectué par phases. Il est donc essentiel qu'une structure soit stable au fur et à mesure de son montage. On parle de stabilité provisoire.

Une étroite collaboration est nécessaire entre l'entreprise de CM et le bureau d'études. Ce dernier délivre des plans d'exécution, des notices techniques et des consignes de chantier justifiées.

La stabilité provisoire est obtenue par l'intermédiaire d'étais qui soutiennent la structure en cours de construction voire d'autres éléments assemblés à la structure qui assurent le renforcement, le guidage de l'élément ; exemple : les haubans, les étais,...

#### IX.4.4. Montage provisoire et réglage

Le montage débute généralement par la pose des poteaux. Leur stabilité peut être provisoire par l'intermédiaire d'étais ou de haubans ou alors la pose peut être définitive (cas des croix et portiques de sécurité).



La priorité est donnée aux ouvrages « stabilisateurs » tels que les ensembles contreventés qui sont assemblés au sol. Les autres ouvrages (poutres, albâtriers,...) sont assemblés par la suite à ces éléments stabilisés.

Les poteaux sont reliés entre eux grâce aux poutres qui sont posés à l'avancement.

Outre le moyen de levage (ex : grue), le décrochage et le boulonnage s'effectuent à partir de nacelles autoélevatrices ou d'échafaudages roulants. Il est important de procéder à la réalisation des fixations et de les finaliser avant de détendre et de décrocher les élingues.



*Mise en place et réglage d'une poutrelle*

Les assemblages provisoires permettent la vérification de l'alignement, du nivellement et de l'aplomb. Une fois corrigés, on procède à l'assemblage définitif en serrant tous les écrous et en ajoutant les boulons qui n'ont pas été posés initialement.

Remarque : il est recommandé d'insérer tous les boulons dès le début de l'assemblage afin de déceler tout problème de fabrication et de faire le nécessaire en cas de problème.

#### **IX.4.5. Montage définitif**

L'assemblage définitif est réalisé par boulonnage.

- Les boulons de classe de résistance 4.6 et 5.6 sont utilisés en usage général.
- Les boulons de classe de résistance 8.8 et 10.9 sont utilisés dans le cas de serrage contrôlé.

1) Les boulons de classe de résistance 4.6 sont utilisés pour des applications générales alors que ceux de la classe 5.6 sont utilisés pour des chargements plus importants.

Le serrage s'effectue manuellement à la clé.

2) Les boulons de classe de résistance 8.8 sont de classe normale et les 10.9 sont de classe supérieure.

Le serrage est contrôlé de façon à obtenir un effort de traction spécifique dans la tige du boulon. La particularité de ces boulons est l'utilisation de rondelles trempées et la mise en pré-tension du boulon qui est obtenue par un serrage à couple contrôlé, par tour d'écrou, et en utilisant des indicateurs d'effort.

L'utilisation de ce type de boulon est recommandée dans le cas d'assemblages très sollicités ou dans le cas d'assemblages soumis à de la fatigue (vibrations de machines, séismicité,...).

## X. Les pathologies

### X.1. La fatigue



#### Causes :

- effet combiné des anomalies et des concentrations de contraintes (même si les contraintes appliquées restent largement en dessous de la limite d'élasticité du matériau) qui créent des fissures à des endroits critiques (soudures, assemblages)

#### Solutions :

- soigner la conception et la fabrication des éléments structuraux  
- meulage et fraisage des joints bout à bout (suppression de l'effet d'entaille du caniveau)  
- suppression de la discontinuité d'une soudure (suppression de la concentration de contrainte à chaque extrémité du petit tronçon de soudure)  
- soudages automatiques (réduit le nombre de discontinuités dues aux arrêts de soudage)  
refonte des zones critiques

## X.2. La corrosion d'une surface peinte



### Causes :

- défaut de protection
- mauvaise qualité de peinture
- mauvaise préparation du support
- mauvaise application de la peinture
- vieillissement de la protection

### Solutions :

- brossage de la zone et nouvelle mise en peinture

## X.3. La corrosion d'une surface galvanisée



### Causes :

- mauvaise préparation du support (restes de graisses, peintures, etc.)
- mauvais rinçage des supports (acide de décapage reste et réagit avec le zinc pour former de la corrosion)

### Solutions :

- décapage du support et protection par peinture ou galvanisation à froid

#### X.4. La corrosion d'une surface pourvue de flocage



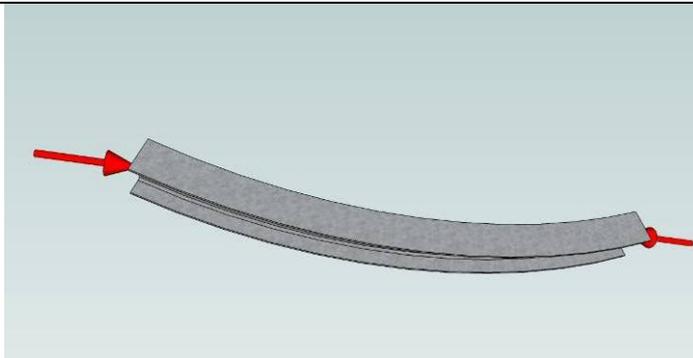
##### Causes :

- milieu trop humide (manque d'aération)

##### Solutions :

- déposer le flocage, traiter le support métallique si il est endommagé, reposer un flocage avec un hydrofuge et mieux aérer le milieu

#### X.5. La déformation des éléments (flambement, déversement)



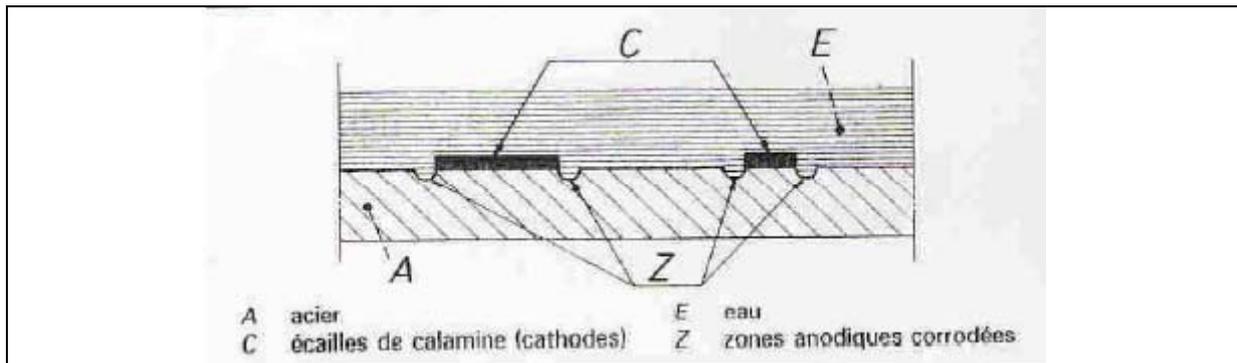
##### Causes :

- erreur de conception
- erreur de fabrication

##### Solutions :

- étayer les parties déformées (dans un premier temps)
- remplacer les éléments concernés par des éléments renforcés (raidisseurs, renforts d'âme, etc.)

## X.6. La corrosion par formation d'une pile électrochimique



### Causes :

- ces piles se forment dès qu'il y a hétérogénéité à la surface de l'acier et qu'il se crée des zones anodiques et des zones cathodiques
- surfaces d'acier recouvertes par des écailles de calamine ou de rouille (qui sont cathodiques)

### Solutions :

- éliminer la rouille ou la calamine avant tout revêtement de l'acier
- décapage du support puis protection par peinture ou galvanisation à froid

### NB :

Rouille => se forme en présence d'humidité et d'air

Calamine => couche d'oxyde qui apparaît à haute température lors de l'élaboration et de la transformation de l'acier.

## XI. L'économie du lot

### XI.1. Notion de prix

Le prix de revient d'un projet de charpente métallique résulte de la somme des coûts de matériaux, de main-d'œuvre (directe et indirecte) et des frais divers.

Dans le cas d'un ouvrage métallique on raisonne souvent en **prix à la tonne** pour :

- l'étude,
- l'approvisionnement du matériau (fourniture),
- la fabrication,
- la protection anticorrosion (également en prix au m<sup>2</sup>)
- le montage sur site.

Les autres postes :

- le transport - **prix par camion (conteneur)**
- la protection au feu - **prix au m<sup>2</sup>**
- la fourniture de bardage et couverture - **prix au m<sup>2</sup>**
- la fourniture des escaliers, garde-corps - **prix au ml**
- etc.

Pour des structures complexes, le coût de la fabrication peut dépasser le coût de la fourniture des matériaux.

Il est plus facile de réduire les coûts de la fabrication et du montage que celui de l'acier lui-même. A cet égard, la façon de travailler sur le chantier joue un très grand rôle.

### DES ORDRES DE GRANDEUR POUR LA CONSTITUTION DE COÛTS D'UNE CONSTRUCTION METALLIQUE

(France, Construction courante\*)

Prestation	Min. €/kg	Max. €/kg
Fourniture des matériaux	0,50	1,20
Etudes	0,15	0,60
Fabrication en atelier	0,23	0,95
Protection anticorrosion et peinture	0,11	0,27
Protection incendie	0,30	2,50
Transport	0,08	0,18
Montage	0,20	0,70

\*Construction courante = 1000 tonnes

### XI.2. Prix de la fourniture des matériaux

#### XI.2.1. Achat des matériaux

L'achat de l'acier peut être effectué soit :

- **Directement en aciérie**
  - De 10 à 15 % moins chers que chez les revendeurs,

- Intéressant pour de grosses quantités uniquement,
  - Attention aux délais de livraison ! En général il faut compter entre 2 et 3 mois d'attente entre la commande des laminés et leur livraison.
- **Chez des revendeurs**
    - Intéressant pour les « petites » quantités (moins de 10 tonnes),

Des surcoûts doivent être supportés pour des petites quantités de profilés, des nuances d'acier plus élevées avec des spécifications précises.

### **XI.2.2. Prix des matériaux**

#### **PROFILES LAMINES**

Exemple de prix de fourniture de certains profilés laminés (IPE, UPN, L, etc.) - Arcelor Janvier 2007 – voir le Portail Métier – Structure Métallique / Base de Prix / Prix d'Acier

#### **SYSTEMES DE COUVERTURE EN CM**

Bac sec prélaqué de toiture (type Nervesco LS Océane)		20-23 €/m <sup>2</sup>
Bac sec inox		35-46 €/m <sup>2</sup>
Bac support étanchéité		25-30 €/m <sup>2</sup>
Couverture double peau prélaquée – plateau + isolation + écarteurs + bac		46-53 €/m <sup>2</sup>
Couverture double peau inox – plateau + isolation + écarteurs + bac de couverture		61-76 €/m <sup>2</sup>
Panneaux sandwichs isolants prélaqués (type Ondatherm 101; Promisol 1001 TS)		38-46 €/m <sup>2</sup>

#### **SYSTEMES DE FACADE EN CM**

Ossature secondaire des façades		15 €/m <sup>2</sup>
Bardage simple peau prélaqué		20-23 €/m <sup>2</sup>
Bardage simple peau inox (Bac sec)		35-46 €/m <sup>2</sup>
Panneaux sandwichs prélaqués		38-46 €/m <sup>2</sup>
Bardage double peau prélaqué – plateau + isolation + écarteurs + bardage		38-46 €/m <sup>2</sup>
Bardage double peau inox – plateau + isolation + écarteurs + bardage		53-69 €/m <sup>2</sup>

PLANCHERS EN CM

Bacs acier collaborant des planchers (type Cofrastra 40 ou Cofraplus 60)

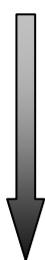
19-23 €/m<sup>2</sup>

Caillebotis

30-40 €/m<sup>2</sup>PROTECTION ANTI-CORROSION

Les prix de protection anticorrosion dépendent du système de protection choisi. Les systèmes de protection suivants sont classés par ordre de **coût croissant** :

PRIX/m<sup>2</sup>



- pas de traitement pour les structures intérieures couvertes protégées par le flocage,
- sablage ou grenailage SA 2 ½ + couche primaire de l'épaisseur 40µm,
- galvanisation au trempé, **(160-200 €/tonne, 12-18 €/m<sup>2</sup>)**
- grenailage et peinture au pistolet – primaire +2 couches de finition, **(13-17 €/m<sup>2</sup>)** dont 1/3 grenailage et 2/3 peinture
- sablage et poudre polyester des profils indépendants **(18-23 €/m<sup>2</sup>)**
- thermo laquage **(20-25€/m<sup>2</sup>)**
- sablage et métallisation au zinc des profils indépendants **(30-34 €/m<sup>2</sup>)**.

**XI.3. Coût de fabrication**

Le coût de fabrication d'une commande donnée est le **nombre d'heures productives** (heures/tonne), affectées à cette commande, **par le coût horaire de l'atelier.**

- **Heures productives**

Nous citons ci-dessous quelques fourchettes de ratios définissant le nombre d'heures productives de fabrication minimale/maximale/médian par type d'élément.

TYPE D'ELEMENT	Heures/tonne <b>Minimal</b>	Heures/tonne <b>Maximal</b>	Heures/tonne <b>Médian</b>
Fermes	12,5	90	41
Pannes - profilés	6,5	70	20
Pannes - séries	5	13	10
Chevrans	11	38	12
Contreventements	12	60	35
Poteaux treillis	20	67	41
Poteaux profilés	11	45	23
Poutres treillis	13	78	34
Traverses	12	57	28
Solives	6	55	17
Portiques	15	82	36
Poutres de roulement	12	86	28

- **Le coût horaire de l'atelier intègre :**
  - Toutes les charges pondérées de la main-d'œuvre directe et indirecte (manutentionnaire, gestionnaire de stock, magasinier, conducteur de pont roulant),
  - de l'encadrement,
  - des produits consommables,
  - des amortissements pour biens d'équipements et biens immobiliers
  - toutes les charges nécessaires au bon fonctionnement de l'atelier.

Exemple France : **1 heure de fabrication ~ 46 €**

## XI.4. Coût de montage

Le coût de montage est le **nombre d'heures nécessaires** au montage d'une tonne de l'ossature acier (heures/tonne) multiplié **par le coût horaire de MO** (multiplié par le coefficient de rendement).

- **Exemple des ratios**

TYPE DE CONSTRUCTION	DUREE (h/tonne)
<b>CONSTRUCTION LEGERE</b> Ossatures industrielles simples Ossatures des garages / des hangars	9 - 12
<b>CONSTRUCTION MOYENNE</b> Ossatures industrielles classiques Ossatures des immeubles	12 - 16
<b>CONSTRUCTION LOURDE</b> Aciéries Bâtiments métalliques avec des ossatures complexes	20 - 22

- **Exemple de coût horaire de MO. Il intègre :**
  - charges de main-d'œuvre, des frais de déplacement et de frais d'hébergement,
  - amortissements ou locations d'engins de levage et de manutention,
  - frais pour installations provisoires sur chantiers,
  - dépenses d'outillage et de produits consommables pendant toute la durée de chantier.

Exemple France : **215 €/tonne – 700 €/tonne**

## **XII. Innovations**

Les outils de fabrication de l'acier se sont améliorés et permettent de réaliser l'ensemble des formes désirées par les architectes. On utilise également de plus en plus les câbles précontraints, de par leur portée intéressante ainsi que l'élancement des structures qui permettent un gain de place et de luminosité.



*Pont piétonnier au dessus de l'autoroute D8 en République Tchèque.*

L'acier est utilisé essentiellement pour réaliser des bâtiments industriels. Pour les spécialistes, le marché de la maison individuelle est à conquérir. On pourra également, grâce à ce matériau, réaliser des constructions respectant les concepts architecturaux. Cette construction a l'avantage d'être rapide et modulable.

L'acier est également un matériau permettant une conception anti-sismique. De plus, la construction est légère et recyclable.

Cette verrière (ci-contre), de part sa géométrie complexe, n'aura pas pu être fabriquée autrement qu'en acier.

*Verrière de l'Atrium Zlote Tarasy - AUTRICHE*





Cette structure paraît simple ou basique dans une vue d'ensemble, mais elle illustre parfaitement le potentiel de l'acier lors de la réalisation d'un projet industriel.

*Usine FIBERLINE - DANEMARK*

La passerelle Simone de Beauvoir illustre l'élançement possible avec l'acier. Ce passage aérien flottant de 230 m s'intègre parfaitement à son environnement. Les deux courbes en acier forme un contrepoids. Ce mouvement naturel relie les deux niveaux différents des rives.

*Passerelle Simone de Beauvoir - PARIS*



Le contexte et le grenelle de l'environnement poussent les entreprises à « construire propre ». L'innovation va également se tourner vers les matériaux dits écologiques. ARCELORMITTAL, fabricant d'acier, se doit d'être novateur. Il remporte deux médailles d'or de l'innovation au salon BATIMAT.

La première médaille est pour un système de couverture ou de bardage avec cellules photovoltaïques intégrées. Elle convertit le rayonnement solaire en énergie électrique et réduit donc la consommation d'énergie des bâtiments.



La seconde a été décernée à cette poutrelle ouverte et polyvalente, d'une nouvelle dimension architecturale. Elle réduit considérablement la quantité de matière. Des économies sont alors réalisés.

L'acier, de part sa multitude de propriétés et domaines d'applications, permet des constructions propres, recyclables et ne dénaturant pas le paysage.

## **Références :**

### **Bibliographie :**

Construction métallique – Manfred A. Hirt, Rolf Bez

### **Webographie :**

<http://www.maisonapart.com/edito/immobilier-la-construction-metallique-europeenne-recompensee-p2-637.php>

[http://www.constructalia.com/fr\\_FR/news/actualidad\\_detalle.jsp?idDoc=2381315&idCat=123645](http://www.constructalia.com/fr_FR/news/actualidad_detalle.jsp?idDoc=2381315&idCat=123645)

[http://software.cstb.fr/dico/glossaire\\_construction\\_metallique.asp](http://software.cstb.fr/dico/glossaire_construction_metallique.asp)

<http://www.constructalia.com>

[www.arcelor.com](http://www.arcelor.com)

[www.afnor.org/](http://www.afnor.org/)