

Chapitre 3

**BASES DE CALCUL DES
CHARPENTES EN ACIER****I. INTRODUCTION**

Pour tout projet de construction, il s'agit de réaliser un ouvrage qui respecte un ensemble d'exigences: exigences fondamentales, exigences d'intégrité structurale, exigences d'habitabilité, exigences économiques, etc. Les exigences fondamentales portent sur la structure de l'ouvrage et ont pour but la sécurité des personnes et de leurs biens, l'aptitude à l'utilisation de cet ouvrage et sa durabilité. Elles sont exprimées, sous forme littérale, comme suit :

- La structure doit résister et rester stable sous les actions et influences susceptibles de s'exercer sur elle pendant la période d'exécution et durant la période d'exploitation, et cela, avec des degrés de fiabilité acceptables, pour assurer la sécurité des usagers et de leurs biens (c'est une exigence de sécurité).
- La structure doit être apte au service pour lequel elle a été projetée, avec une probabilité acceptable, compte tenu de sa durée d'existence envisagée (c'est l'exigence d'aptitude à l'exploitation).
- La structure doit avoir une durabilité suffisante, eu égard notamment aux coûts qu'elle a induit (c'est l'exigence de durabilité).

Pour satisfaire ces exigences, la construction doit être étudiée puis exécutée de façon rationnelle. L'étude d'une construction se compose d'un ensemble d'activités dont les principales sont, en premier, la conception de la structure et de ses éléments, c'est-à-dire l'élaboration d'une représentation mentale et la schématisation graphique d'un ensemble structural cohérent, et en second, le dimensionnement, c'est-à-dire la détermination, par le calcul ou par l'expérimentation, des dimensions géométriques des différents éléments composant la structure. Quant à l'exécution, c'est la matérialisation, avec les moyens et les procédés de mise en œuvre les plus appropriés, de la structure reproduisant fidèlement la conception qui a été élaborée et les dimensions qui ont été déterminées.

Ces exigences peuvent être considérées comme satisfaites, si la structure a été conçue de façon à permettre à la construction de remplir effectivement sa fonction et à lui assurer efficacement sa stabilité, si les matériaux employés ont été choisis convenablement, ensuite si le dimensionnement adopté pour les éléments de cette structure a été déterminé suivant une procédure rigoureuse, définissant les types de vérifications à effectuer pour garantir la sécurité et l'aptitude au service et enfin si l'exécution a été menée selon les règles de l'art de construire.

Pour les ouvrages courants, ces exigences sont traduites en un ensemble de principes et de règles de calcul, ayant un caractère opératoire et contenu dans des règlements techniques. Dans ce qui suit, l'accent sera mis sur le dimensionnement par le calcul des éléments principaux de la structure métallique d'ouvrages courants. En pratique, si une application stricte et correcte du système de règlements techniques a été observée lors de l'étude de la structure, il est alors permis d'affirmer que le dimensionnement qui en est issu, satisfaisait pour sa part, aux exigences fondamentales énoncées plus haut.

II. REGLEMENTS TECHNIQUES DE CHARPENTES

Les divers règlements techniques, ceux définissant les actions, ceux de conception et de dimensionnement ou ceux d'exécution des travaux, applicables aux charpentes

métalliques sont en phase de mutation. Actuellement, on distingue un ensemble de règlements qui sont en usage et un autre ensemble de règlements, officiellement en vigueur, mais dont l'application n'est pas effective.

Règlements en usage

- Règles de calcul des constructions en acier, en abrégé: Règles CM 66.
C'est un règlement français, mis en application en 1966. Il est toujours en usage en Algérie.
- + Additif du CTICM de 1980.
- Règles pour travaux de charpentes métalliques (1964).
- Cahiers des prescriptions communes.
 - Fascicule 61 Titre V : Conception et calcul des ponts métalliques (1972).
 - Fascicule 66 : Exécution des ponts métalliques et modalités de contrôle des éléments (1972).
- Règles définissant les effets de la neige et du vent (1965), en abrégé: Règles NV 65.
- Règles parasismiques algériennes (2003), en abrégé : RPA2003.

Autres règlements

- Eurocode 3 : Calcul des structures en acier.
ou CCM 97 (règlement algérien)
- Eurocode : Règles d'exécution.
- Règlement algérien définissant les actions de la neige et du vent RNVA 99.

III. REGLES CM66

31. But et notions élémentaires

Les règles CM66 ont pour but de codifier les méthodes de justification de la sécurité des constructions à structure en acier. La fiabilité y est conçue comme ayant un caractère probabiliste. Cependant le format des justifications est semi probabiliste d'une part, et ne porte que sur les charges (pas sur les matériaux) d'autre part. La méthode employée dans ces justifications est dite méthode des pondérations des charges.

La sécurité, telle que conçue dans les règles CM66, est fondée sur un comportement élastique du matériau. Le dimensionnement est conduit exclusivement en élasticité, avec toutefois quelques incursions dans le domaine plastique, limitées aux poutres fléchies et prises en compte de façon implicite et ce, en introduisant un coefficient d'adaptation plastique ψ en section de ces poutres.

Un critère de ruine unique, *i.e.* le non dépassement de la résistance limite d'élasticité du matériau, est utilisé pour justifier la sécurité de tous les éléments d'une structure. Ce critère, valide par lui même pour les éléments dont le mode de ruine potentiel est l'épuisement de résistance, est tout de même maintenu pour tous les types d'éléments, y compris pour ceux dont le mode de ruine est la perte de stabilité par flambement et/ou par déversement, par le biais d'une amplification des contraintes réputée représentative de l'effet de ces instabilités.

De plus, pour que la capacité portante des éléments soumis à des contraintes de compression ne soit pas réduite, par des voilements locaux et prématurés de leurs parois comprimées, les règles CM66 fixent des limites à l'élancement des parois de ces éléments.

32. Définition de la ruine réglementaire.

La ruine d'une construction est considérée comme atteinte, lorsqu'il y a effondrement ou renversement de l'ensemble structural (problème de sécurité) et/ou lorsque la

déformation irréversible d'un élément est suffisamment importante pour compromettre la poursuite de son exploitation (problème d'aptitude à l'utilisation).

33. Degré de sécurité.

Le degré de sécurité d'une structure métallique est caractérisé par la probabilité de ruine de cette structure. L'étude du degré de sécurité est complexe. Elle est faite par ceux qui conçoivent et rédigent les règlements techniques.

Sur un plan pratique, pour obtenir ce degré de sécurité, on se réfère d'une part au critère de ruine évoqué plus haut et on introduit d'autre part des coefficients de pondération, dont la valeur dépend du type de charge ou du groupe de charges agissant simultanément et de la situation dans laquelle se trouve la construction.

IV. BASES DE CALCUL

41. Critères de calcul

Critère de sécurité

Pour prétendre être dans la sécurité réglementaire, il faut que la valeur de la contrainte produite par la combinaison de charges la plus défavorable, dite contrainte caractéristique σ_c , soit inférieure ou égale à la valeur garantie de la résistance limite d'élasticité du matériau σ_e : C'est la condition de résistance.

Exprimée comme suit

$$\sigma_c \leq \sigma_e$$

La valeur de la contrainte caractéristique dépend du mode de sollicitation de l'élément (élément en traction, en compression, en flexion simple ou déviée ou en flexion composée). Cette valeur sera présentée dans les chapitres qui traitent des barres tendues, des barres comprimées, des poutres fléchies et des poteaux.

Le terme de résistance a ici un sens étendu : il s'agit aussi bien de résistance que de stabilité des éléments. Le terme approprié serait capacité portante.

Critère d'aptitude à l'exploitation

Les règles CM66 font dépendre l'aptitude à l'exploitation de l'amplitude des déformations. En pratique, pour garantir l'aptitude à l'exploitation, on introduit la notion de déformation admissible. D'une façon générale, les déformations doivent être suffisamment faibles pour que l'exploitation de l'ouvrage ne s'en trouve pas entravée et pour que les éléments secondaires supportés ne soient pas endommagés par le fait de ces déformations. C'est la condition de déformation.

Dont l'expression est

$$f_{\text{calculée}} \leq f_{\text{admissible}}$$

Par déformation, il s'agit souvent de flèche.

42. Méthode de justifications des éléments

Pour justifier un élément, 2 types de vérifications doivent être menés dont les appellations et les méthodes sont les suivantes.

1. Méthode de vérification de la condition de résistance

- 1) Inventorier, définir et évaluer les charges appliquées à la construction.
- 2) Calculer les sollicitations qui s'exercent sur les sections des éléments de la structure (modélisation et analyse de la structure de cette construction).
- 3) Effectuer les combinaisons et pondérations des sollicitations (ou des charges) correspondantes aux différentes situations de la construction (situations ordinaire, exceptionnelle et sismique).

- 4) Déterminer la combinaison la plus défavorable pour l'élément considéré.
- 5) Calculer la contrainte caractéristique associée à cet élément, eu égard à son mode de sollicitation.
- 6) Mettre en œuvre le critère de ruine, en comparant la contrainte caractéristique à la résistance limite d'élasticité de l'acier de cet élément.

$$\sigma_c \leq \sigma_e \quad \text{est-il vérifié ?}$$

Si $\sigma_c \leq \sigma_e$: l'exigence de sécurité réglementaire est satisfaite.

Il faut poursuivre les autres vérifications avant de conclure.

Si $\sigma_c > \sigma_e$: Il n'y a pas sécurité. L'élément considéré doit être refusé.

Méthode de justification de la condition de déformation

- 1) Inventorier, définir et évaluer les charges appliquées à la construction.
- 2) Effectuer les combinaisons des charges.
- 3) Calculer les déformations (les flèches) des éléments de la structure.
- 4) Déterminer la déformation (flèche de calcul) la plus défavorable pour l'élément considéré.
- 5) Se référer à la déformation (flèche) admissible associée à cet élément.
- 6) Mettre en œuvre le critère, en comparant la flèche de calcul à la flèche admissible.

$$f_{\text{calculée}} \leq f_{\text{admissible}} \quad \text{est-il vérifié ?}$$

Si $f_{\text{cal.}} \leq f_{\text{adm.}}$ L'exigence d'aptitude à l'exploitation est satisfaite.
L'élément considéré peut être adopté.

Si $f_{\text{cal.}} > f_{\text{adm.}}$ L'aptitude à l'exploitation est insuffisante. L'élément considéré doit être refusé.

43. Charges à prendre en compte dans les vérifications

Sur une construction, peuvent s'appliquer plusieurs charges appartenant à différents types. C'est ainsi que dans les calculs de vérification, on doit tenir compte des charges et effets suivants:

Charges permanentes : CP

Elles comprennent le poids propre, l'influence du mode de construction;...

Charges variables

Elles se subdivisent en

- Charges d'exploitation ou d'essai : S

Charges sur le plancher d'un immeuble,

Charges dues aux véhicules sur le plancher d'un parking...

- Charges climatiques :

Charges de neige

N

Charges de vent

V

Effets des variations de température: θt

Charges sismiques : E

44. Combinaisons et pondérations des charges

Vis à vis de la condition de résistance

Dans les calculs de vérification de la capacité portante des éléments, les charges à prendre en compte doivent être cumulées raisonnablement (**combinaison**) de façon à

obtenir les combinaisons les plus défavorables et leurs valeurs doivent être multipliées (**pondération**) par des coefficients de pondération comme suit:

Dans le cas d'un ouvrage en situation normale

Dans ce cas, la pondération signifie souvent majoration. Les coefficients sont donc supérieurs ou égaux à 1. Les ensembles de combinaisons des charges pondérées sont listées ci après.

a) Combinaisons incluant les charges permanentes et une charge variable

$$4/3 \text{ CP} + 3/2 \text{ S}; \quad (**)$$

$$4/3 \text{ CP} + 3/2 \text{ V}; \quad (*), (**)$$

$$4/3 \text{ CP} + 3/2 \text{ N}; \quad (**)$$

b) Combinaisons incluant les charges permanentes et 2 charges variables

$$4/3 \text{ CP} + 17/12 (\text{S} + \text{V}); \quad (**),$$

$$4/3 \text{ CP} + 17/12 (\text{S} + \text{N}); \quad (**)$$

$$4/3 \text{ CP} + 17/12 (\text{N}_r + \text{V}); \quad (**), (***)$$

c) Combinaisons incluant les charges permanentes et les 3 charges variables

$$4/3 \text{ CP} + 4/3 (\text{S} + \text{V} + \text{N}_r). \quad (**), (***)$$

(*) Note 1: Dans cette combinaison, quand la charge du vent V est de signe opposé à celui des charges permanentes CP, la valeur du coefficient de pondération des charges permanentes vaut 1

$$\text{CP} + 3/2 \text{ V};$$

(**) Note 2 : Si la dilatation thermique n'est pas libre, on ajoute dans toutes ces combinaisons les effets dus à la variation de la température θt majorées par le coefficient de pondération (4/3).

(***) Note 3: Dans les combinaisons où figurent simultanément la neige N et le vent V, il est recommandé de prendre une valeur réduite de la charge de neige $N_r = 1/2 \text{ N}$. Les concepteurs du CM66 supposent que quand les actions du vent et de la neige se conjuguent, le vent emporte une partie de la charge de neige.

Dans le cas où l'ouvrage est en situation exceptionnelle

La situation exceptionnelle résulte de conditions climatiques extrêmes. On introduit alors la charge de vent extrême V_e et la charge de neige extrême N_e .

Les valeurs du vent extrême V_e et de la neige extrême N_e sont déterminées à partir des valeurs normales, comme suit :

$$V_e = 7/4 \text{ V}$$

$$N_e = 5/3 \text{ N}$$

Dans ce cas, il n'y a pas de majoration. Tous les coefficients de pondération sont égaux à 1. Les combinaisons, effectuées donc avec les valeurs non majorées des charges sont dans ce cas, les suivantes.

$$\text{CP} + V_e;$$

$$\text{CP} + N_e;$$

$$\text{CP} + (\text{S} + V_e);$$

$$\text{CP} + (\text{S} + N_e);$$

$$\text{CP} + (\text{N}_r + V_e);$$

$$\text{CP} + (\text{S} + V_e + N_e).$$

Dans la cas accidentel de l'action sismique

Il faut se référer aux règles parasismiques algériennes en vigueur et plus particulièrement aux règles de combinaisons qui y figurent et rapportées ci après.

$$CP + S \pm E \quad (*)$$

(*) Le signe \pm traduit le changement de sens de l'action sismique.

$$0.8 CP + E \quad (**)$$

(**) Combinaison valable uniquement pour les poteaux des portiques antostables des bâtiments).

Vis à vis de la condition de déformation

Dans la vérification de la condition déformation, les déformations les plus défavorables sont calculées comme prévues dans le cahier des charges du projet et ce, sans pondération.

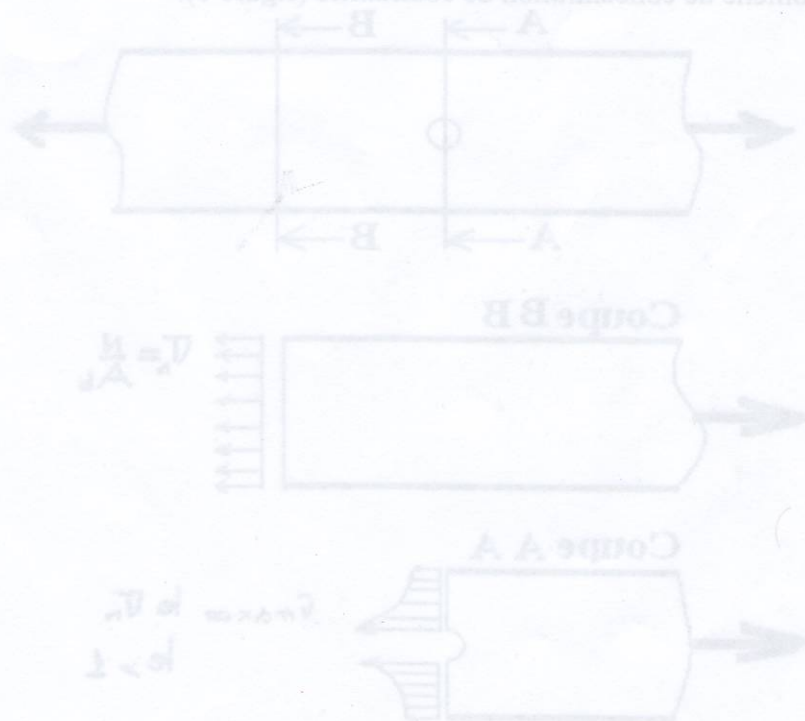


Figure 1 : Concentration de contraintes.

La présence des trous engendrent donc une diminution de l'aire des sections transversales à l'endroit des assemblages et, en plus, l'apparition du phénomène de concentration de contraintes lorsque la barre est en état de charge c'est-à-dire l'obtention

Exercice 1

Déterminer la charge maximale de compression que peut supporter un poteau HEA 180 en acier E24 de 6 m de hauteur, encastré en tête et articulé en pied.

Exercice 2

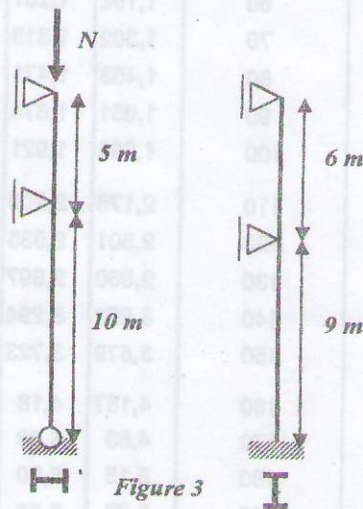
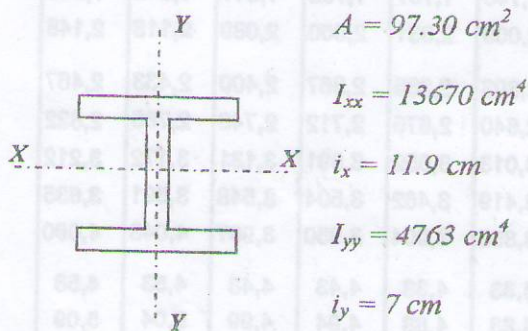
Soit un poteau dont la section est constituée de deux semelles de dimensions 200x10 et d'une âme de dimensions 200x06. Ce poteau dont la longueur libre est de 9.15 m a ses deux extrémités articulées dans le plan Y-Y et a une extrémité encastrée au sol et une extrémité articulée dans le plan X-X. Ce poteau (Acier E24) est soumis à un effort de compression $N = 450 \text{ KN}$.

- Vérifier la résistance de ce poteau.

Exercice 3

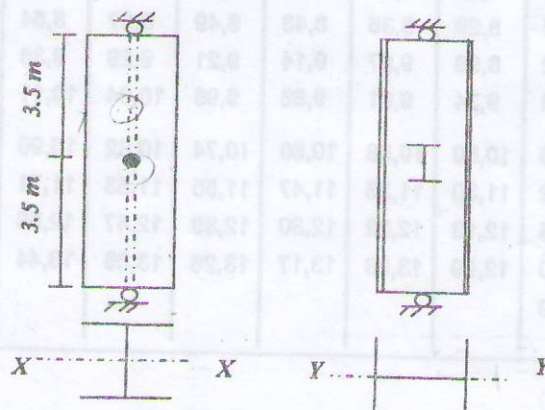
Un poteau métallique en acier E24, de hauteur totale 15 m et de profil HEA280 est soumis à un effort de 122 t. Le poteau présente des appuis multiples suivant les deux plans principaux comme illustré sur la figure 3.

1. Ecrire la condition de résistance à vérifier.
2. Vérifier la résistance du poteau métallique.



Exercice 4

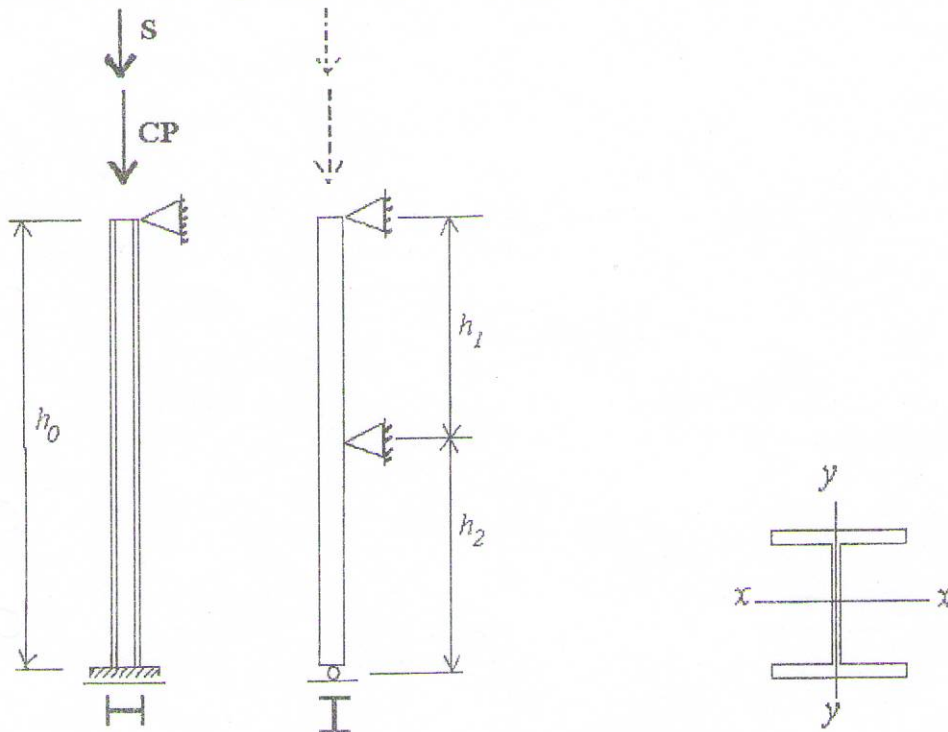
Vérifier la résistance d'un poteau constitué par un HEA200 comprimé par une charge pondérée de 1000 KN. A mi-portée, le poteau ne peut pas se déplacer dans le plan X-X mais sa rotation est libre. Le poteau a une longueur libre de 7 m. Acier E24.



EXERCICE (variante A)

Considérons un poteau d'une halle industrielle : Il est en acier E24 (S235) et sa section transversale est celle d'un HEB 240. En tête de poteau sont appliquées 2 actions extérieures $CP = 45000 \text{ daN}$ et $S = 12000 \text{ daN}$. Le type et le nombre d'appuis dans chacun des 2 plans principaux sont indiqués sur la figure ci contre.

Les dimensions du poteau sont $h_0 = 15 \text{ m}$ et $h_1 = h_2 = 7,5 \text{ m}$



Les caractéristiques géométriques de la section en HEB 240 sont

$$A = 106 \text{ cm}^2$$

$$i_{xx} = 10,30 \text{ cm}$$

$$i_{yy} = 6,08 \text{ cm}$$

Questions:

1. A quel type d'instabilité sont sujettes les semelles et âme du poteau.
2. A quel type d'instabilité est sujet le poteau dans son ensemble.
3. Quelle est la condition de résistance à vérifier pour ce poteau.
4. Faire les combinaisons et pondérations réglementaires.
5. Etudier le flambement du poteau.
6. Vérifier la condition de résistance et conclure.