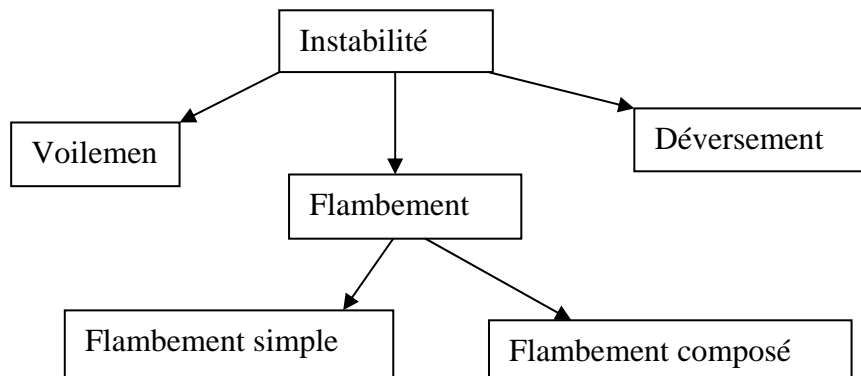


Chapitre I Phénomènes d'instabilités élastiques

I) Introduction

Le calcul d'une structure exige que, sous toutes les combinaisons d'actions possibles, définies réglementairement, la stabilité statique soit assurée.

L'étude des phénomènes d'instabilité élastique est particulièrement importante en construction métallique, car ils sont très fréquents du fait de l'utilisation d'éléments minces et de grand élancement. Nous nous proposons donc d'examiner successivement les trois principaux phénomènes d'instabilité (flambement, déversement, voilement). Sous leurs aspects théoriques, expérimentaux et réglementaires.



II.1 Flambement : le flambement est un phénomène d'instabilité d'une structure qui, soumise à un effort normal de compression, a tendance à fléchir et se déformer dans une direction perpendiculaire à l'axe de compression.

II.1.a. Flambement simple ; Le flambement simple affecte les pièces soumises à la compression simple.

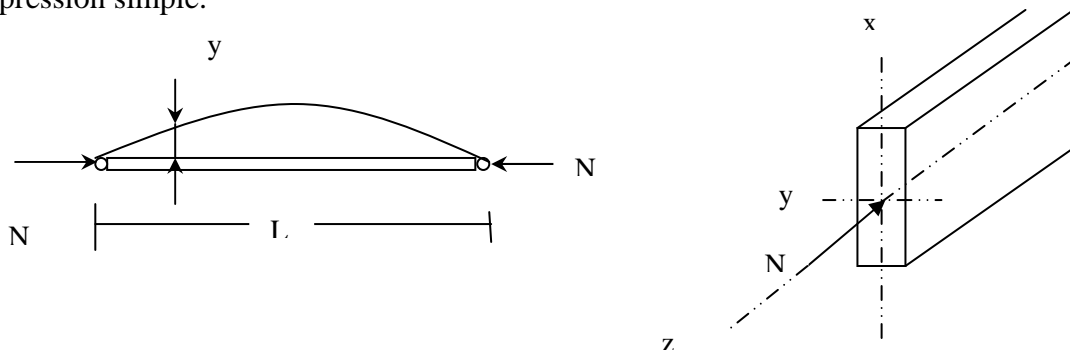


Figure 1.1 : Flambement d'une barre prismatique sous un effort axial.

II.1. b. Flambement avec flexion

Les éléments sollicités simultanément en flexion et en compression axiale, doivent satisfaire à diverses conditions, selon la classe de leur section transversale. Il s'agit, dans ce cas, d'une poutre idéale rectiligne, soumise simultanément à un effort normal N et à un moment fléchissant M .

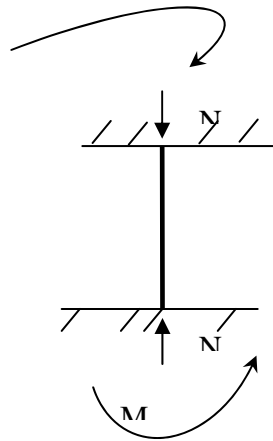


Figure 1.2 ; barre soumise à la compression avec flexion

II. 2. Le déversement :

Le déversement des pièces fléchies est le second phénomène d'instabilité élastique, après le flambement, avec lequel il présente une analogie certaine.

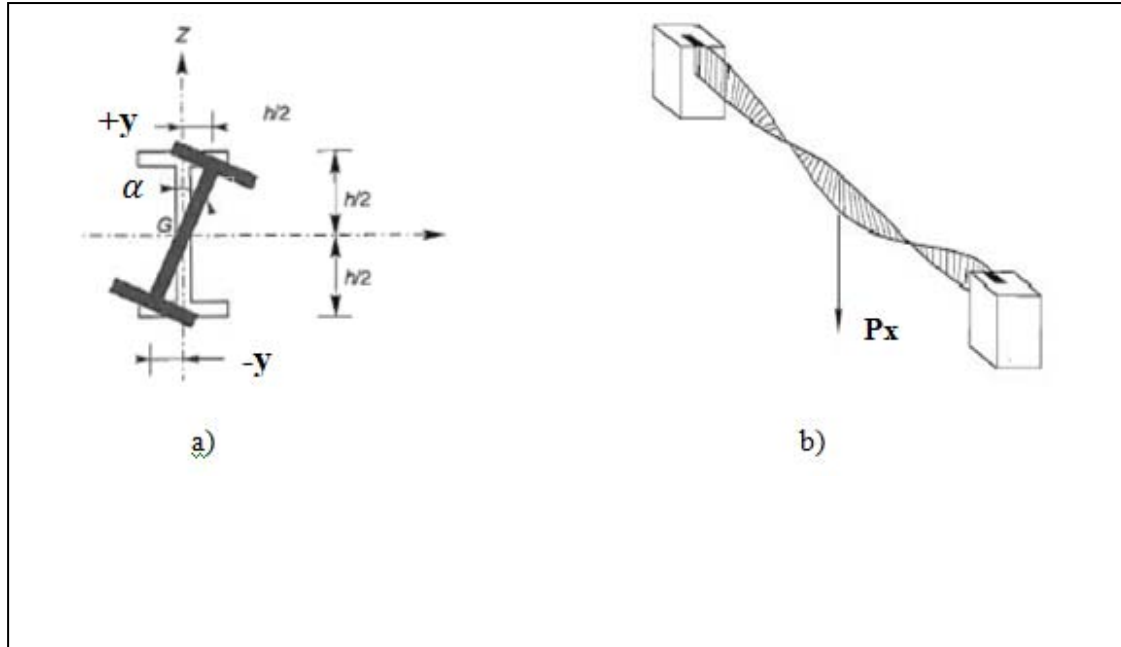


Figure 1.3 : a) Déversement d'une poutre (section en I), b) Déversement d'une poutre mince soumise à une charge concentrée.

Selon la figure 3.a le déplacement horizontal d'une aile du I vaut ;

$$y = \frac{h}{2} \cdot \sin\alpha = \frac{h}{2} \cdot \alpha \quad (1)$$

I. 3. Voilement

Le voilement est le phénomène d'instabilité des plaques minces sollicitées dans leur plan moyen. Si l'on soumet une plaque rectangulaire à une compression uniforme sur deux cotés opposés, parallèlement à son plan moyen, on observe que la plaque, au-delà d'une certaine charge, se déforme transversalement.

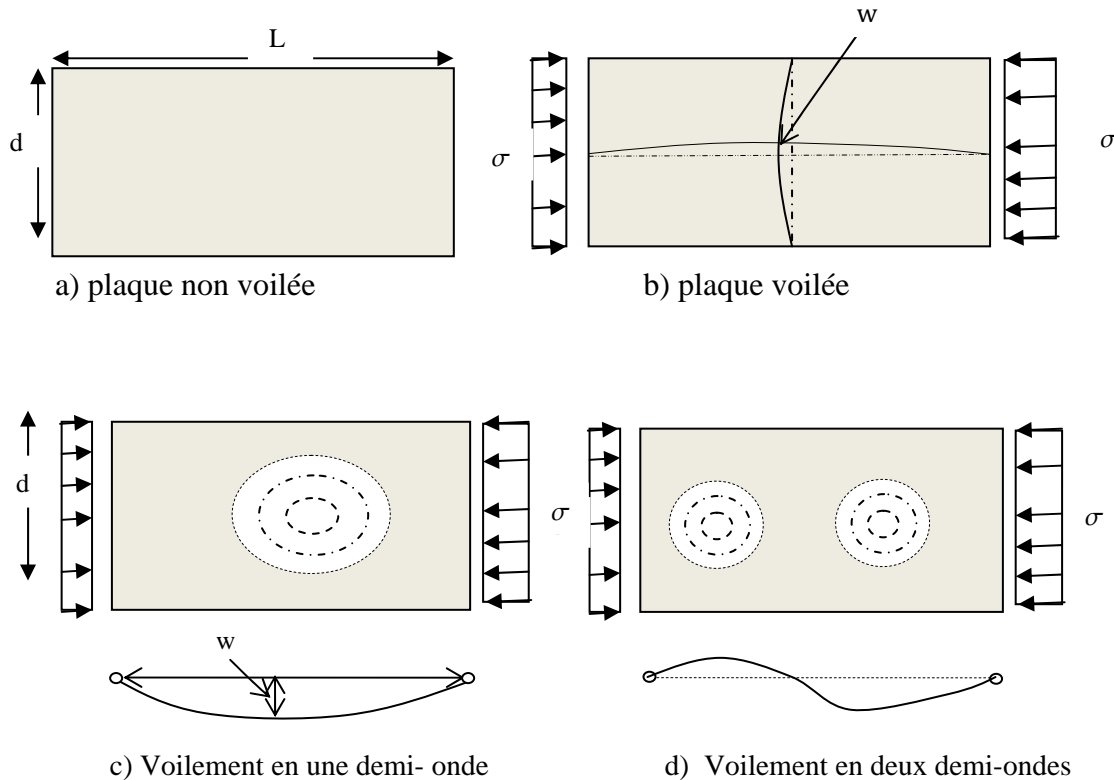


Figure 1. 4 : Voilement d'une plaque mince.

III. Aspect réglementaire du voilement

La résistance du voilement par cisaillement des âmes de poutres, dépend du rapport hauteur-épaisseur d/t_w ainsi que de l'espacement des éventuels raidisseurs d'âme intermédiaires.

(d : hauteur de l'âme, t_w ; épaisseur de l'âme)

III. 1 Critères de vérification

La résistance au voilement par cisaillement doit être vérifiée lorsque le rapport hauteur-épaisseur (d/t_w) de l'âme vaut :

$d/t_w > 69 \varepsilon$ Pour des âmes sans raidisseurs.

$d/t_w > 30 \varepsilon \sqrt{k_\tau}$ Pour des âmes avec des raidisseurs transversaux intermédiaires.

k_τ est le coefficient de voilement par cisaillement qui vaut :

- Ames sans raidisseurs transversaux intermédiaires : $k_\tau = 5.34$
- Ames avec raidisseurs transversaux intermédiaires :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{si } a/d < 1 \rightarrow k_\tau = 4 + \frac{5.34}{(a/d)^2} \\ \text{si } a/d > 1 \rightarrow k_\tau = 5.34 + \frac{4}{(a/d)^2} \end{array} \right. \quad (2)$$

avec a : l'écartement entre nus intérieurs des raidisseurs.

Selon l'EC3, l'élanement $\bar{\lambda}_w$ de l'âme est défini par :

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_y / \sqrt{3}}{\tau_{cr}}} = \frac{d}{37.4 \varepsilon \sqrt{k_\tau} t_w} \quad (3)$$

avec τ_{cr} ; résistance critique élastique au voilement par cisaillement.

Pour $\bar{\lambda}_w > 0.8$ on obtient :

- Dans le cas de raidisseurs transversaux : $d/t_w > 30 \varepsilon \sqrt{k_\tau}$
- Dans le cas où il n'y a pas de raidisseurs transversaux intermédiaires, on prendra

$k_\tau = 5.34$ (Valeur qui place en sécurité), d'où $d/t_w > 30 \varepsilon \sqrt{5.34} = 69 \varepsilon$

Remarque : d'après les catalogues donnant les caractéristiques géométriques des profilés laminés normalisés, tous les profilés IPE, HEA, HEB et HEM ($h = 600\text{mm}$ max), qui constituent l'essentiel des profilés utilisés en bâtiment, satisfont la condition : $d/t_w < 69 \varepsilon$, ce qui signifie qu'une vérification au voilement n'est pas nécessaire. Elle sera, par contre, pour les profilés reconstitués soudés (P. R. S).

III. 2 Méthodes de calcul de voilement

Il existe deux méthodes de calcul :

a) Méthode post - critique simple : cette méthode peut être utilisée en cas des âmes avec ou sans des raidisseurs transversaux aux appuis :

Vérification du cisaillement pur :

L'effort tranchant de calcul doit rester inférieur à l'effort tranchant résistant, soit ;

$$V \leq V_{ba} \quad (4)$$

avec : $V_{ba} = d \cdot t_w \cdot \tau_{ba} / \gamma_{M1}$

τ_{ba} ; La contrainte moyenne de cisaillement, qui est donnée en fonction de l'élancement de l'âme $\bar{\lambda}_w$ et qui vaut :

$$\text{pour } \bar{\lambda}_w \leq 0.8 \Rightarrow \tau_{ba} = f_{yw} / \sqrt{3} \quad (5)$$

$$0.8 \leq \bar{\lambda}_w \leq 1.2 \Rightarrow \tau_{ba} = [1 - 0.625(\bar{\lambda}_w - 0.8)](f_{yw} / \sqrt{3}) \quad (6)$$

$$\bar{\lambda}_w \geq 1.2 \Rightarrow \tau_{ba} = \frac{0.9}{\bar{\lambda}_w} f_{yw} / \sqrt{3} \quad (7)$$

L'élancement $\bar{\lambda}_w$ de l'âme est donné par :

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_y}{\tau_{cr} \sqrt{3}}} \quad (8)$$

τ_{cr} ; La contrainte critique élastique au voilement par cisaillement, qui a pour valeur :

$$\tau_{cr} = k_\tau \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t_w}{d}\right)^2, \quad \text{d'où : } \bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_y}{\sqrt{3}} [12(1-\nu^2)] / k_\tau \pi^2 E \left(\frac{t_w}{d}\right)^2} \quad (9)$$

Pour l'acier ;

$E = 21000000 \text{ daN/cm}^2$ et $\nu = 0.3$, l'élancement peut être donnée par la forme suivante :

$\bar{\lambda}_w = \left(\frac{d}{t_w}\right) / (37.4 \varepsilon \sqrt{k_\tau})$ avec $f_y = 2350 \text{ daN/cm}^2$ et $\varepsilon = 1$ (cas d'une construction en acier).

b) Méthode du champ diagonal de traction : cette méthode peut être utilisée lorsque les âmes comportent des raidisseurs transversaux intermédiaires, à condition que ; $1 \leq a/d \leq 3$ d'où ; a : l'écartement, entre nus intérieurs, des raidisseurs et d : la hauteur d'âme.

III.2) Présence de l'Effort axial, Moment fléchissant et l'Effort tranchant

Les efforts de résistance (effort tranchant et moment fléchissant) doivent rester supérieurs ou égaux au ceux de calcul.

$$M \leq M_f \text{ et } V \leq V_{ba} \quad (10)$$

avec :

M_f : moment résistant plastique de calcul

V_{ba} : résistance au voilement par cisaillement.

$$M_f = M_f^0 \left(1 - \frac{N}{N_f} \right), \quad (11)$$

avec

N ; effort axial de calcul

N_f ; effort axial de résistance plastique d'ou: $N_f = A \cdot f_y$

M_f^0 ; moment fléchissant égal à M_f en l'absence de l'effort axial.

Remarque

Si $V > 0.5V_{ba}$, il faut vérifier que :

$$M \leq M_f + (M_{pl} - M_f) \left[1 - \left(\frac{2V}{V_{ba}} - 1 \right)^2 \right] \quad (12)$$

D'où : M_{pl} moment plastique résistant de calcul de la section totale de la poutre (âme + semelles)

Application ;

Soit une poutre reconstituée soudée (PRS), comportant des raidisseurs intermédiaires dont le panneau d'âme, soumis aux sollicitations suivantes :

- Moment fléchissant ; $M = 380000 \text{ daN.m}$
- Effort normal : $N = 650000 \text{ daN}$,
- Effort tranchant ; $V = 140000 \text{ daN}$,

Acier S235

Longueur du panneau d'âme $a = 295 \text{ Cm}$

Caractéristiques géométriques de la section :

$h = 1500 \text{ mm}$, $A = 533 \text{ cm}^2$, $A_f = 160 \text{ cm}^2$, $d = 1420 \text{ mm}$, $a = 2840 \text{ mm}$, $b_f = 400 \text{ mm}$

$t = 40 \text{ mm}$,

Vérifier la résistance au voilement d'un panneau d'âme

