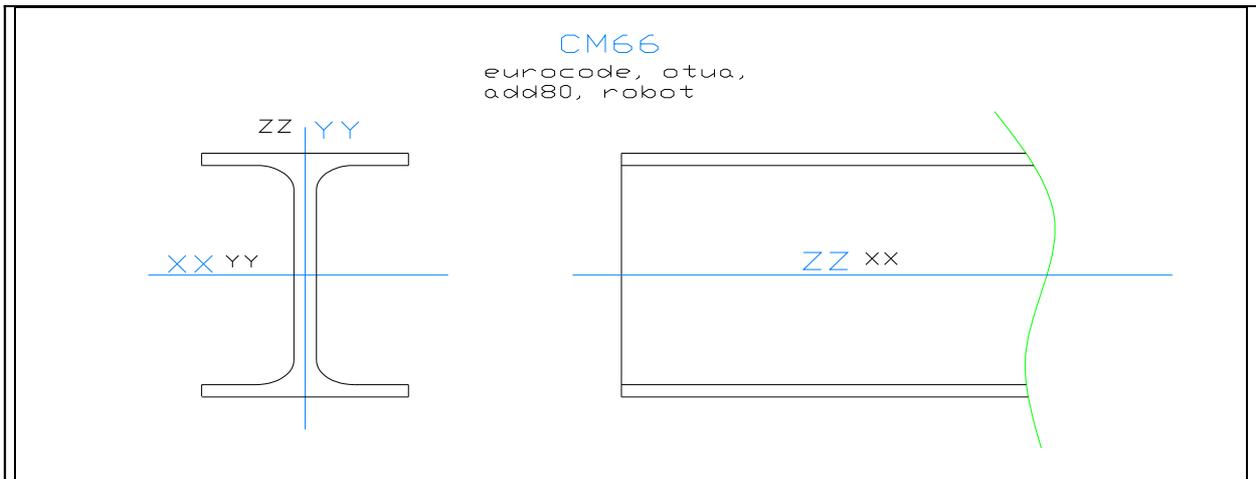


CM66 GENERALITES

Système d'axes de références :



CM66 :

- X : axe de plus forte inertie de la section
- Y : axe de plus faible inertie de la section
- Z : axe longitudinal perpendiculaire à la section

Eurocode 3 :

- yy : axe de plus forte inertie de la section
- zz : axe de plus faible inertie de la section
- xx : axe longitudinal perpendiculaire à la section

Les calculs peuvent être menés en :

- élasticité
- plasticité
- fatigue

au niveau des CM66 seul le calcul en élasticité est appliqué (avec quelques incursions implicites et limitées dans le domaine plastique)

Unités pratiques (Units) :

- efforts : DaN
- longueurs : mm
- moments fléchissant : DaN*m
- sections : mm²
- moments statiques : cm³
- moments d'inertie : cm⁴
- contraintes : DaN/mm²

efforts dans un bâtiment :

- traction
- compression
- cisaillement
- flexion : simple (1 plan), déviée (2 plans), composée

on s'arrange pour qu'il n'y ait pas de torsion dans un bâtiment.

<p><u>Instabilités élastiques :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - flambement : (tout le profil) - déversement (semelles) - voilement (âmes) 	<p><u>contraintes admissibles :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - en traction : $\sigma \leq \sigma_e$ - cisaillement : $\tau \leq 0.6 \sigma_e$ - flexion simple : $\sigma_f / \psi \leq \sigma_e$ - instabilité élastique : $k \sigma \leq \sigma_e$ (k coefficient de flambement ou de déversement)
<p><u>convention RDM :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - efforts tranchants : négatifs en bas et positifs en haut - moments fléchissant : positifs en bas et négatifs en haut 	
<p><u>dimensionnement des ossatures :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <u>ELU : états limites ultimes</u>, correspondant à un cas de charge exceptionnel, ultime, pour lequel la stabilité générale de l'ouvrage doit être garantie, bien qu'étant à la limite de ruine. Il correspond à un calcul de résistance des éléments. Un tel état est atteint lorsque l'on peut constater : <ul style="list-style-type: none"> ○ une perte d'équilibre ○ une instabilité de forme ○ une rupture d'élément ○ déformations plastiques excessives • <u>ELS : états limite de service</u>, Il correspond à l'utilisation courante et quotidienne du bâtiment. On vérifie les déformations et les déplacement des éléments, afin de garantir la pérennité de l'ouvrage. (SLS Service Limit State); un état limite de service correspond à l'état au delà duquel les critères spécifiques d'exploitation ne sont plus satisfaits <ul style="list-style-type: none"> ○ Déformations ou flèches affectant l'aspects ou l'exploitation efficace de la construction ou provoquant des dommages aux finitions ou aux éléments non structuraux ○ Vibrations, oscillations ou déplacements latéraux incommodant les occupants, endommageant le bâtiment ou son contenu ou limitant son efficacité fonctionnelle. 	
<p><u>Les types de charges :</u></p>	<p><u>Coefficients de pondérations CM66:</u></p>

On distingue :

- charges permanentes : présence certaine et intensité prévisible (poids propre, précontrainte, déformation imposée...)
- charges variables : occurrence certaine, mais intensité aléatoire (charges sur plancher, etc.)
- charges accidentelles : occurrence et intensité aléatoire (explosions, chocs de véhicules, etc ;)

d'où les types de charges suivants :

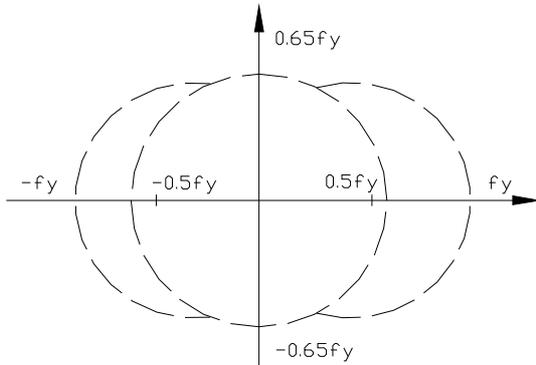
- G : charge permanente ponctuelle (**Dead loads**)
- g : charge permanente uniformément répartie
- Q : charge d'exploitation ponctuelle (**Imposed Loads**)
- q : charge d'exploitation uniformément répartie
- S_n : charge de neige normale
- S_e : charge de neige extrême
- W_n : charge de vent normal
- W_e : charge de vent extrême
- A : actions accidentelles
- E : actions sismiques
- T : actions thermiques

- $4/3 = 1.33$
- $3/2 = 1.5$
- $17/12 = 1.42$

- pour le calcul des contraintes on prend les valeurs pondérées
- pour le calcul des flèches on prend les valeurs réelles, en excluant les cas extrêmes
- on n'associe jamais neige extrême et vent extrême en entier

les coefficients de pondérations ont été introduits afin d'avoir à peu près le même coefficient de sécurité dans toute l'ossature.

Nota : les vérifications sous état de contraintes multiples ne sont presque pas prises en compte par les règles CM66 ; la vérification séparée des états limites des contraintes normales et tangentielles est en effet souvent suffisante dans les constructions courantes.



Les règles françaises sont de longues date fondées sur une courbe enveloppe des points de plus grande scission du cercle de Mohr, construite à partir des valeurs limites des sollicitations simples :

- traction ou compression pure : $\pm f_y$
- cisaillement pur : $0.65f_y$

(l'additif80 et l'eurocode3 retiennent la combinaison générale des 3 contraintes principales de Von Mises :

$$\frac{1}{2} \left((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right) \leq f_y^2$$

Charges caractéristiques : les valeurs sont dites caractéristiques si elles sont établies sur des bases statistiques ; la plupart du temps dans la normalisation actuelle il s'agit d'une probabilité de 5% d'être dépassées en cinquante ans.

Charges climatiques : les normes de calcul distinguent

- **charges normales** : servent à définir un niveau d'agression pour le comportement normal en service de l'ouvrage (état limite de service ou ELS) ; ce sont des charges qui ont une probabilité convenablement fixée d'être atteinte une ou plusieurs fois dans une année.
- **Charges extrêmes** : servent à définir un niveau d'agression pour le comportement ultime de l'ouvrage (état limite ultime ELU) ; ce sont des charges qui ont une probabilité convenablement fixée d'être atteintes une seule fois pendant la durée de vie de la construction ; leur dépassement conduit à la mise hors service de la construction (ruine).
- **Charges accidentelles** : correspondent à peu près à une situation accidentelle.

Charges permanentes : elles sont dues au poids propre de la structure et de ses éléments, aux efforts de précontraintes, ainsi que des efforts dus à des déformations imposées de manière définitives (e.g. tassement de fondations).

Matériaux	DaN/m ³	Matériaux de	DaN/m ³
-----------	--------------------	--------------	--------------------

structurels		construction	
Acier	7850	ciment	1500
Aluminium	2700	Mortier de ciment	2000
Béton armé courant	2500	Sable sec	1600
Béton non armé	2200	Terre végétale	2100
Bois de conifère	600	Plâtre	1500
Bois de feuillus	800	Verre	2500
Bois durs tropicaux	1000	Plomb	11400
Verre	2500	Zinc	7150
		Cuivre	8950

Matériaux stockés	Angle de talus	DaN/m³	maçonnerie	DaN/m³
Ciment	30	1500	Agglomérés pleins	2150
Plâtre	28	1225	Agglomérés creux	1500
Sable	34	1570	Briques pleines	1800
Clinker	36	1570	Briques creuses	1500
Charbon	35	1000	Moellons	2300
Blé	28	835	Pierres de tailles	2700
Maïs	28	785		
Orge	27	810	planchers	DaN/m²
Colza	24	700	Dalle pleine en béton armé par cm d'épaisseur	25
Tournesol	22	500	Plancher à bac acier collaborant ep. 15cm	300
			Plancher en bac acier collaborant ep. 20cm	410
couvertures		DaN/m²	Plancher à poutrelle et entrevous montage ep. 15cm + 4	250
Zinc (voligeage et tasseaux compris)		25	Plancher à poutrelle et entrevous montage ep. 20cm + 5	315

Bacs aluminium	5		
Bacs aciers	8 à 12	Etanchéité	DaN/m²
Bacs aciers + étanchéité auto protégée	20 à 24	asphalte	50
Plaques en fibrociment	17	multicouche	12
Tuiles (litage compris)	50 à 80		
Ardoises (lattis et voligeage compris)	30	revêtement	DaN/m²
		Carrelage céramique par Cm d'épaisseur	20
		Dalles thermoplastiques Par mm d'épaisseur	2
		Parquets collés	7
		Parquets sur lambourdes	28

Charges d'exploitation : NF P06.001

Bâtiment d'habitations	KN/m²	Bâtiments de bureaux	KN/m²	Bâtiment scolaires et universitaires	KN/m²
logements	1.5	Bureaux cloisonnés	2.5	Salles de classes, Laboratoires, ateliers, Dortoirs, sanitaires	2.5
balcons	3.5	Bureaux paysagés	3.5	Amphithéâtres, Salles modulables, cantines	3.5
Escaliers, hall d'entrée	2.5	Circulations, escaliers, Hall d'entrée	2.5	Salles de réunion ou Polyvalente avec sièges, bibliothèques	4

Combles non aménageables Avec planchers	1			Salles sans sièges, Escaliers, circulation, Salles de jeux	4
				Cuisines collectives	5
Bâtiment hospitaliers et dispensaires	KN/m²	Terrasses accessibles privées	1.5kN/m ²		
Chambres, sanitaires	1.5			Gardes corps (efforts horizontaux linéiques)	KN/m
Circulations internes	2.5	Autres locaux	KN/m²	Locaux privés (avec un minimum de 1.3 kN d'effort global réparti)	0.4
Halls, Circulation générale	4	Salles de restaurant, Cafés, cantines De moins de 100 places	2.5	En habitations collectives	0.6
services	2.5	Halles où le public Se déplace (gares)	4	Pour les bâtiments recevant Du public	1
Salles d'opérations, Buanderie	3.5	Salles de spectacle Avec public debout	6	Pour les tribunes de stade	1.7
Cuisines collectives	5	Salles de théâtre, Amphithéâtre, Tribune avec sièges	4	Pour les installations industrielles	0.3 à 0.6
		Salles de danses, Boutiques et	5		

Bâtiments à usage sportif Ou d'éducation physique Sauf prescription contraire, Charge statique de 5kN/m ²	annexes			
	Garages et parc de Stationnement de Voitures légères	2.5	Escaliers et passerelles De locaux industriels :	KN/m²
			Circulation générale	2
			Accès aux appareils Passage d'une personne De front	1.5

Charges d'entretien sur les couvertures non accessibles au public :

- couverture sur charpente : les charges d'entretien sont assimilées à deux charges concentrées de 1kN appliquées à 1/3 et 2/3 de la portée. Lorsque les portées sont inférieures à 3m, les deux charges sont placées à 1m d'intervalle dans les conditions les plus défavorables, en ne tenant pas compte, dans le cas de continuité, de la charge extérieure de la portée considérée (cela revient, dans le cas des portées < 2m, à ne placer qu'une charge en milieu de travée)
- charges sur couverture en éléments autoportants : les éléments doivent de dimensions et de poids assez modérés pour être manipulables sans appareils. La charge d'entretien est constituée de deux charges de 1kN + le demi poids de l'élément, placée au 1/3 et 2/3 de la portée. Si les éléments sont de grandes portées et mis en place par des moyens spéciaux, la charge d'entretien est à déterminer dans chaque cas en fonction de ces moyens.
- Terrasses et toitures recevant une étanchéité : on considère une charge de surface répartie sur 10m² qui vient s'ajouter au poids propre de la couverture. Sa valeur au m² est égale soit au poids moyen des matériaux constituant l'étanchéité et de ceux placés au dessus d'elle, plus 0.5 kN, soit à 1kN si ce poids n'est pas atteint. Les 10m² forment un rectangle dont un coté est éventuellement déterminé par l'entraxe entre les éléments de structure considérés.

Efforts thermiques : pour la France métropolitaine il est d'usage de négliger les charges dues aux différences thermiques, tant que la longueur du bâtiment, compté à partir du point fixe de contreventement, n'excède pas 50m.

CM66 : $\pm 27^{\circ}\text{C}$ pour une charpente à l'air libre, soit 0.3mm/m ; le coefficient de pondération est le même que pour les charges permanentes.

Nota : pour les structures souples et élancées, il peut être nécessaire d'amplifier les efforts par un coefficient β d'amplification dynamique (fonction de la 1^{ère} période propre de vibration de la structure)

Charges dues aux accumulations d'eaux : processus itératif dans lequel une forte chute d'eau entraîne des déformations de la couvertures, qui elles mêmes entraînent des accumulations d'eaux et d'autre déformations. Ce phénomène est surtout effectif pour les toitures de faible pentes

Charges de givres : elles sont susceptibles d'affecter certaines structures métalliques extérieures de faible poids propre, essentiellement dimensionnées par le vent et comportant un linéaire important de barres et parfois de câbles. (e.g. pylones)

combinaisons pratiques des règles CM66 :

- | | |
|--------------------------|-----------------------------------|
| - G | - G + Se + Q |
| - 1.33G + 1.5Sn | - 1.33G + 0.5*1.42Sn + 1.42Wn |
| - G + Se | - G + 0.5Se + 1.75Wn |
| - 1.33G + 1.5Q | - 1.33G + 1.42Q + 1.42Wn |
| - 1.33G + 1.5Wn | - G + Q + 1.75Wn |
| - G + 1.75Wn | - 1.33G + 1.33Sn + 1.33Wn + 1.33Q |
| - 1.33G + 1.42Sn + 1.42Q | - G + 0.5Se + 1.75Wn + Q |

En présence d'un acrotère le vent ne peut plus balayer la neige :

$$Q + Se + Wn$$

$$Q + S_n + 1.75W_n$$

Combinaisons enveloppe : la plupart des combinaisons sont dans la pratique superflues. On ne retient en général que trois combinaisons enveloppe :

- $G + S_e + Q$ charge descendante
- $1.33G + 1.5(S_n + Q)$ charge descendante
- $G - W_e$ charge ascendante

Conditions de flèches :

Plancher : 1/300

Couverture : 1/200

La flèche due aux seules surcharges rapidement variables ne doit pas dépasser 1/500

Conditions de déplacement poteaux : 1/200° de la hauteur

En cas de poutre consoles la flèche maximum est égale au double de la flèche autorisée pour une poutre sur deux appuis.

CALCUL EN TRACTION/COMPRESSION PURE/ CISAILLEMENT/FLEXION SIMPLE ET DEVIEE

Calcul en traction (Tension)

Loi de Hooke : $\Delta l = \frac{NL}{AE}$

- ΔL variation de longueur de la barre mm
- N effort normal DaN
- L longueur de la barre mm
- A aire de la section mm²
- E module d'élasticité longitudinale DaN/mm²

Coefficient de poisson : $\epsilon_t = \nu \epsilon_l$

$$\epsilon_t = (\Phi_1 - \Phi_2) / \Phi_1$$

$$\epsilon_l = \Delta L / L$$

pour les aciers $\nu = 0.3$

critère de résistance pour la traction : $\sigma_t = \frac{N}{A_{nette}} \leq \sigma_e$;

A_{nette} = Abrute – Atrous ; on envisage toute les sections, droites, obliques, brisées, etc.

Calcul en Compression pure (Compression)

Si la longueur de l'élément comprimé est < à 10 fois sa plus petite dimension transversale, la pièce est dite courte et l'on a de la compression pure

Vérification :

Boulons non ajustés : $\sigma_c = \frac{N}{A_{nette}} \leq \sigma_e$; boulons ajustés : $\sigma_c = \frac{N}{A_{brute}} \leq \sigma_e$

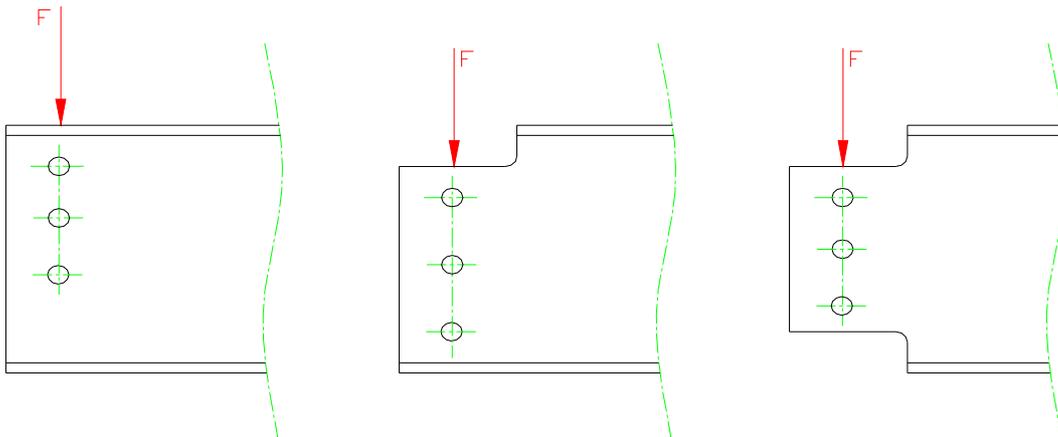
calcul en cisaillement (Transverse Shear Stresses)

critère de résistance : $1.54\tau \leq \sigma_e$ avec $\tau = \frac{T}{A_{nette}}$; formule générale: $\tau = \frac{TS}{eaI}$
; avec :

- T effort tranchant DaN
- ea épaisseur de l'âme en cm
- S moment statique de la section en cm³
- T moment d'inertie de la section en cm⁴

Attention : il faut bien prendre en compte le nombre de sections cisillées pour le calcul de Anette

Cas pratiques :



$$\tau = \frac{T}{A_{âmenette}}$$

$$\tau = \frac{TS}{eaI} \frac{A_{brute\ âme}}{A_{nette\ âme}}$$

$$\tau = \frac{3}{2} \frac{T}{A_{âmenette}}$$

on doit vérifier aussi les contraintes de flexions au droit du grugeage et au droit des trous (sections affaiblies) ; quand cela ne passe pas on peut mettre des plaques de renforts ;

on ne doit pas, en principe (5,202-1), prendre comme valeur de l'effort tranchant du aux charges variables en un point quelconque, une valeur inférieure au quart de la valeur maximale déterminée dans la travée considérée. En effet les hypothèses de chargement retenues conduisent souvent à calculer des valeurs d'effort tranchant nulles ou très faibles en certains endroits. Or les conditions réelles, même avec des chargements

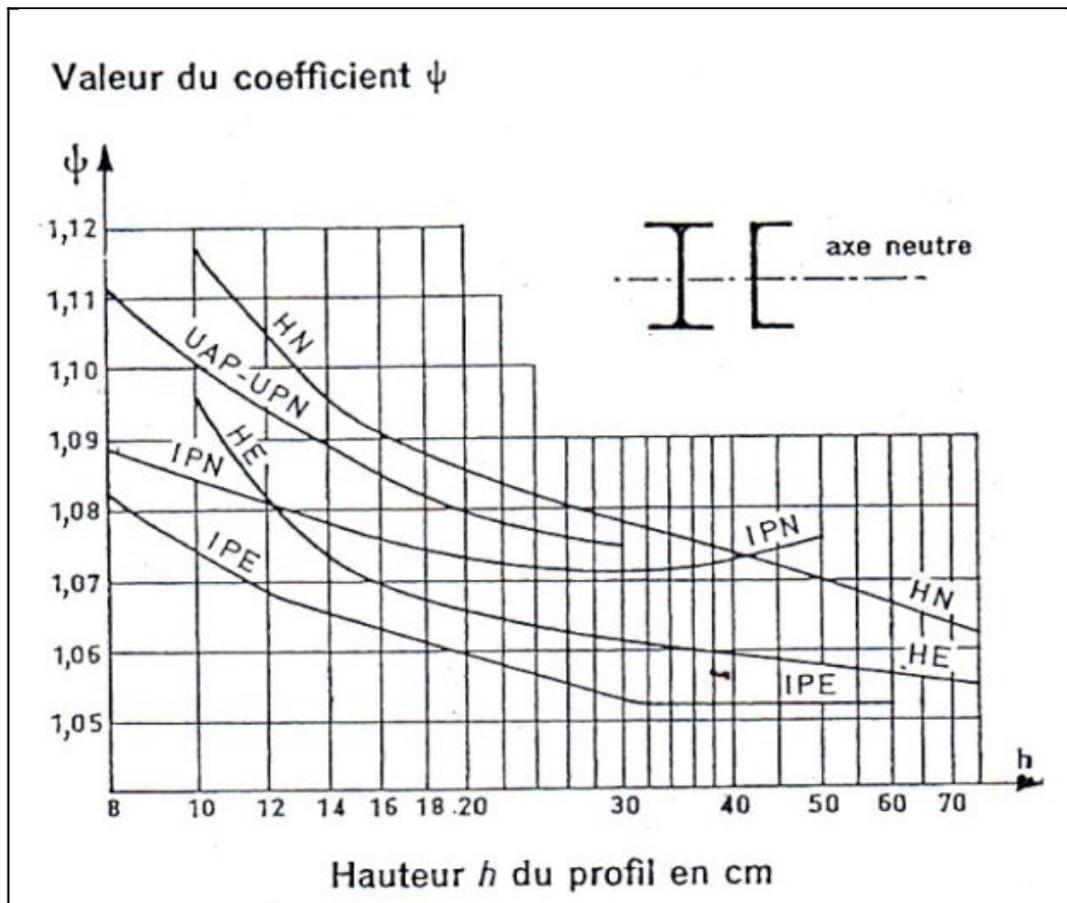
moins importants que ceux prévus au projet, peuvent conduire dès lors à des efforts tranchants nettement supérieurs dans ces zones. Cette règle permet de se prémunir contre ce phénomène.

Calcul en flexion simple (Simple Bending)

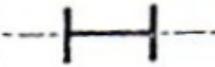
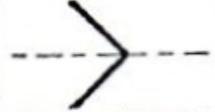
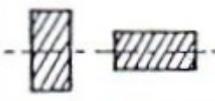
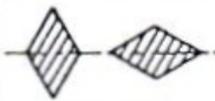
$$\sigma_f = \frac{M_0}{\frac{I_{xx}/v}{\Psi}} \leq \sigma_e$$

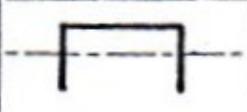
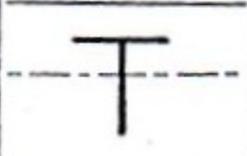
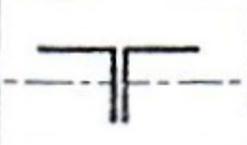
Critère de résistance :

- M_0 moment maximum pondéré obtenu sur la poutre
- I_{xx}/v module d'inertie du profil
- Ψ coefficient d'adaptation plastique du profil art. 13,212



FLEXION SYMÉTRIQUE

Position	Profits	
	IPE, IAP, HN, HE IPN	1,185 1,21
	Fers T	1,20
	Cornières au 1/10 Cornières au 1/15	1,24 1,36
	Section rectangulaire	1,185
	Section en losange	1,38
	Section circulaire pleine	1,27
	Tube circulaire mince	1,093

FLEXION DISSYMMÉTRIQUE		
Position	Profils	
	UAP	1,22
	UPN	1,25
	Demi-poutrelles HN, HE	1,20
	Demi-poutrelles IPE, IPN	1,21
	Fers T	1,23
	Cornières au 1/10	1,36
	Cornières au 1/15	1,31
	Cornières à angles vifs	1,22
	Cornières à } angles arrondis } } au 1/10 } au 1/15	1,26
		1,29

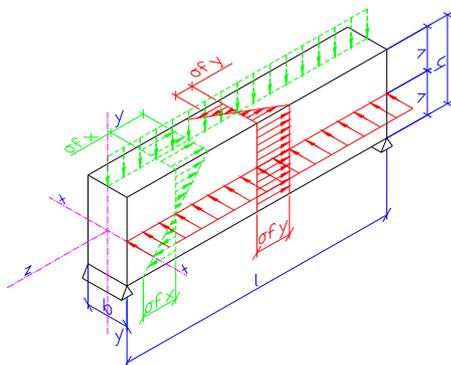
relation entre le moment de flexion et la déformée : $M = EIy''$ (Deflexion of Beams)

y'' est la dérivée seconde de la déformée de la fibre neutre ; on admet que pour les poutres généralement rencontrées en charpente la flèche maxi se trouve très près du milieu de la poutre :

$$f_{\max} = f(L/2)$$

Calcul en flexion déviée (Oblique Bending)

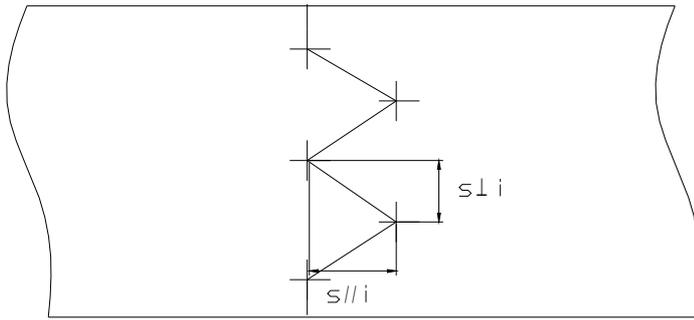
Définition : On a de la flexion déviée lorsque la poutre est fléchie suivant deux plans (de symétrie)



Critère de résistance : au même point les contraintes en x et en y s'ajoutent :

$$\frac{\sigma_{fx}}{\Psi_x} + \frac{\sigma_{fy}}{\Psi_y} \leq \sigma_e$$

Nota : calcul de la section nette, trous en quinconce :



$$A_{\text{nette}} = (b - nd_{tr} + \sum_i \frac{s_i^2}{4s_{\perp i}}) * t$$

avec n nombre de perçages
t épaisseur de la pièce