

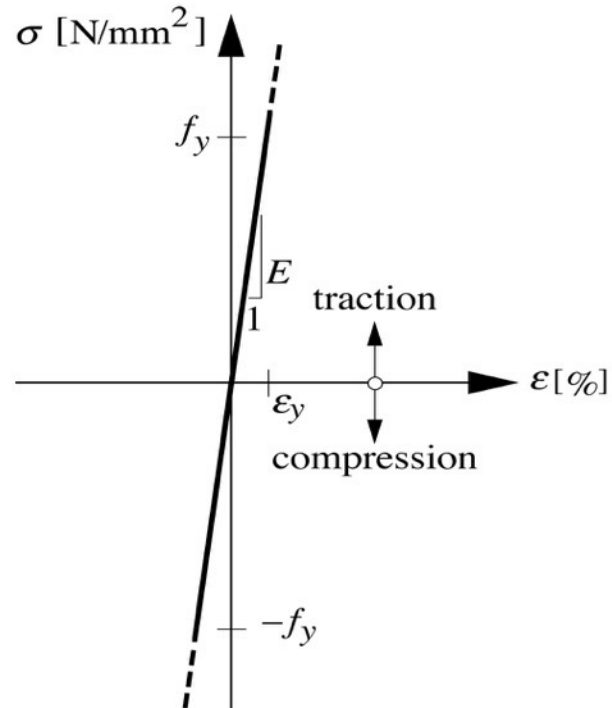


# Cours structures en métal

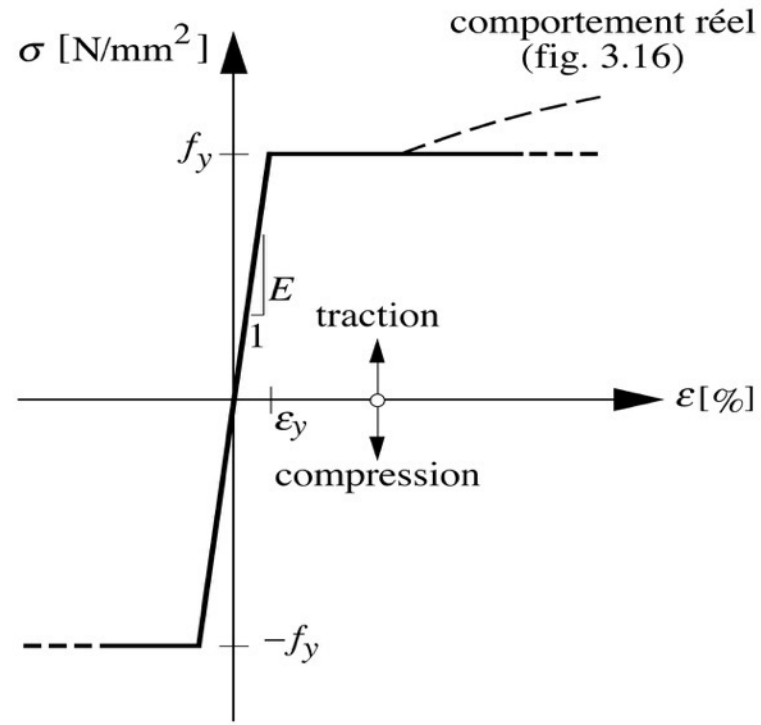
TGC 10, chapitre 4:  
Résistance en section, partie 1

# Fig. 4.1: Loi de comportement idéalisée

CALCUL ELASTIQUE



CALCUL PLASTIQUE



- $E_d$  : Effets d'actions, valeur de calcul ( $N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$ , ...)
- $R_d$  : Résistance, valeur de calcul ( $N_{Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ , ...)

# Fig. 5.1: Types d'éléments fléchis

Profilé laminé

Profilé avec semelles de renfort

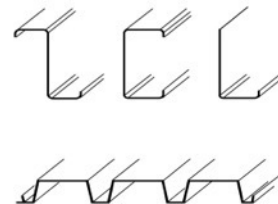
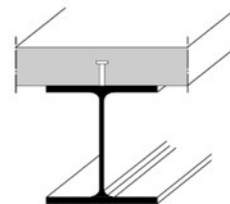
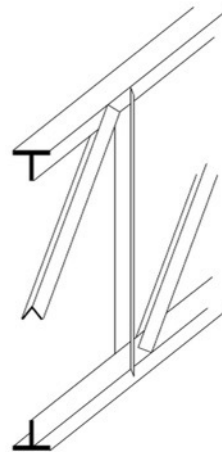
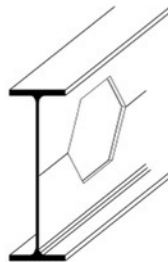
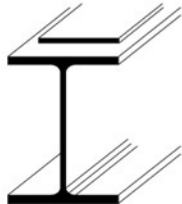
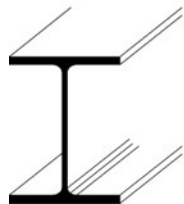
Poutre composée à âme pleine

Poutre ajourée

Poutre à treillis

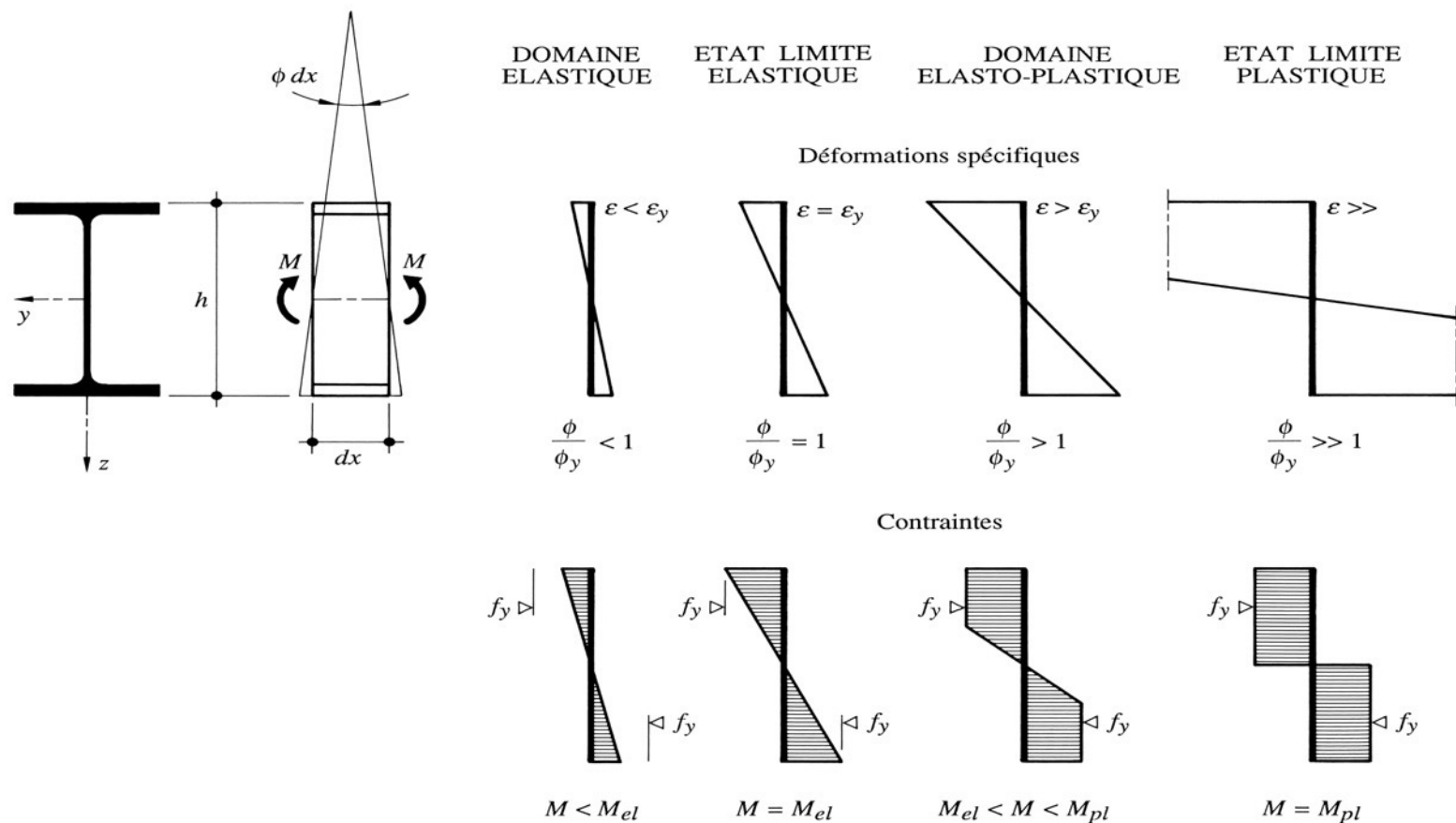
Poutre mixte acier-béton

Élément à parois minces

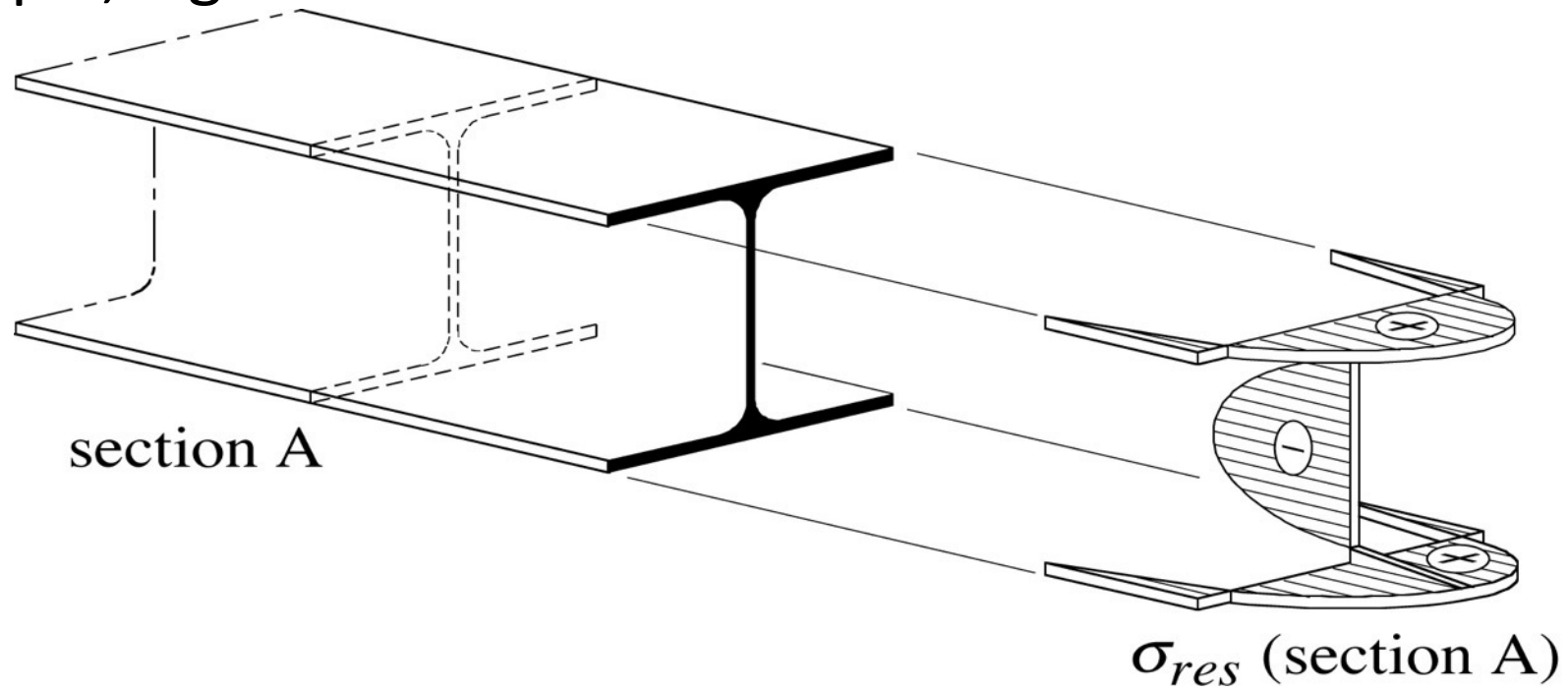


En général  
disymétrique

# Fig. 4.5: Résistance à un moment de flexion M



# Rappel, Fig. 3.16: Distribution des contraintes résiduelles

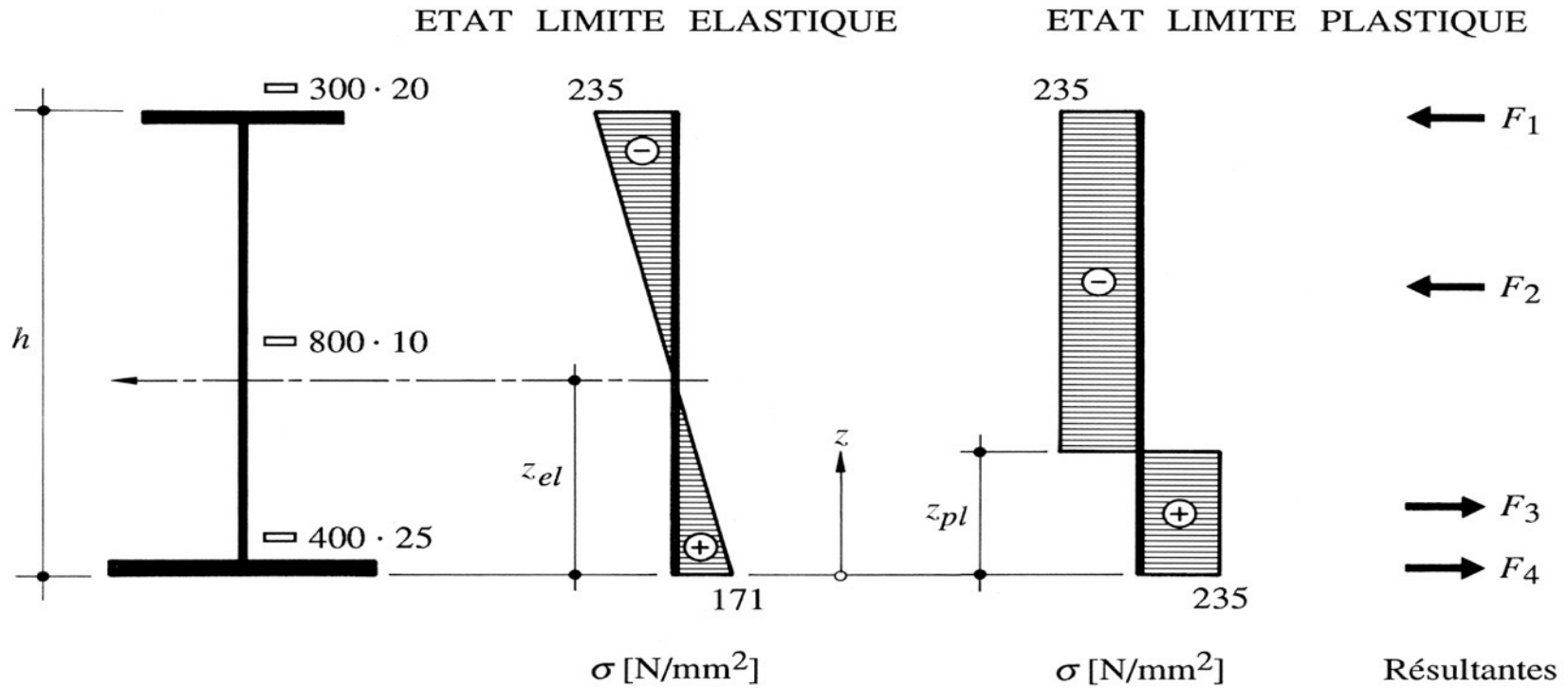


Quelle est l'influence de ces contraintes résiduelles sur la résistance en section:

- Sous un effort normal ?
- Sous un moment de flexion ?

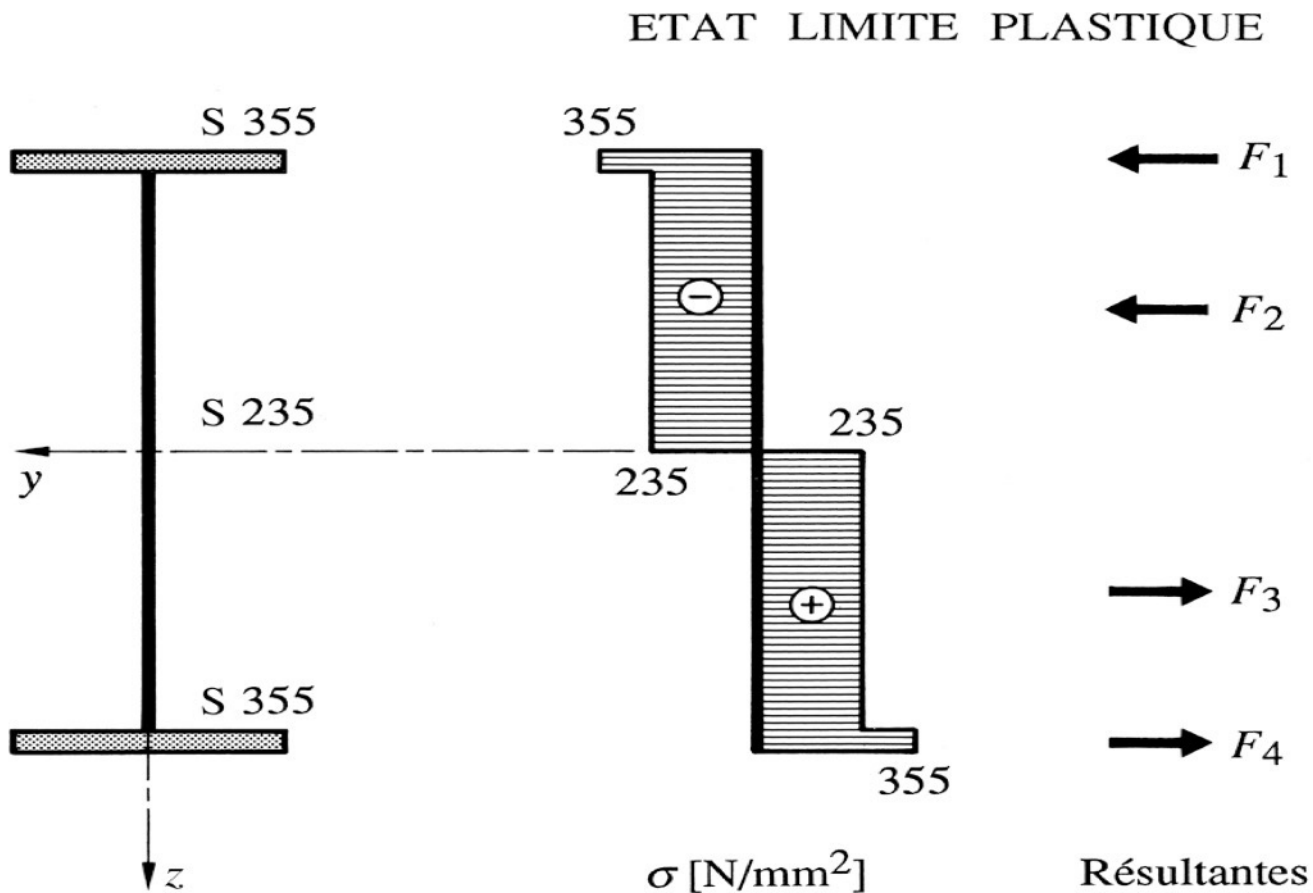
# Influence des contraintes résiduelles sur la résistance en section ?

# Fig. 4.9: Section monosymétrique



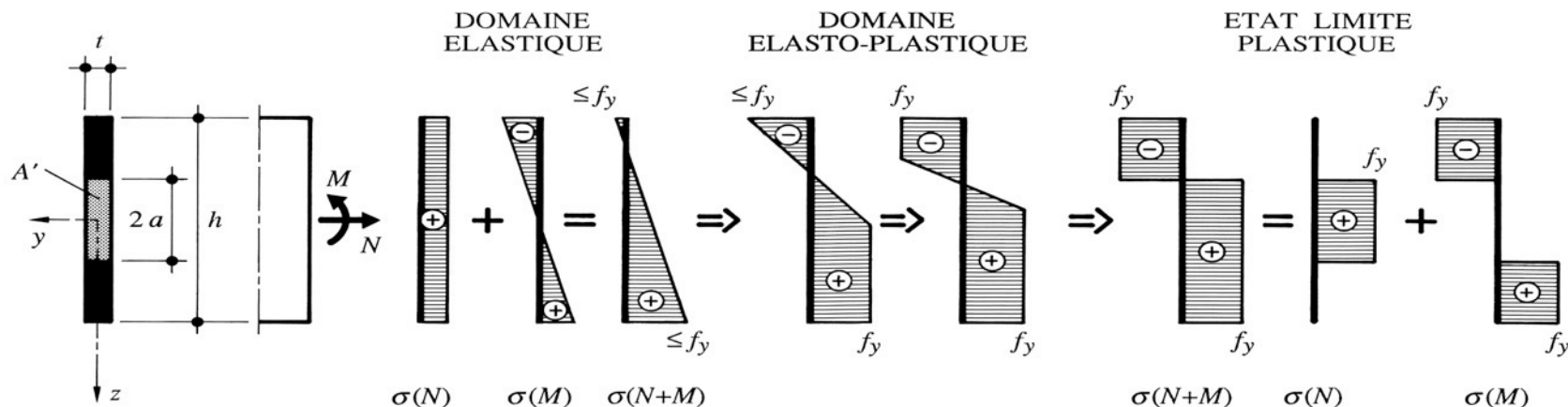


# Fig. 4.10: Section hybride



# Fig. 4.32: Interaction moment + effort normal

## Cas d'une section rectangulaire



En élastique, comment vérifie-t-on une telle section ?

- a)  $N_{Ed} < N_{Rd}$  et  $M_{Ed} < M_{Rd}$
- b)  $N_{Ed}/A + M_{y,Ed}/W_{y,el} \leq f_y/\gamma_{M1}$
- c)  $N_{Ed} \leq f_y/\gamma_{M1}$  et  $M_{y,Ed} \leq f_y/\gamma_{M1}$

# SIA 263, organisation, rappel

1. Terminologie
2. Principes
3. Matériaux
4. Analyse structurale et dimensionnement  $\Leftrightarrow$  Class. sections, méth. vérification, ...
5. Éléments de construction  $\Leftrightarrow$  Résistance des éléments
6. Assemblages
7. Exécution

## Annexes

- A. Choix de la qualité
- B. Moment critique de déversement élastique
- C. Echauffement des éléments en cas d'incendie
- D. à F.

# Formules de résistance dans les normes, par ex. SIA 263

Tableau 7: Renvois pour la vérification de la résistance et de la stabilité aux chiffres de la présente norme, en fonction de la sollicitation et de la classe de section de l'élément considéré

| Classe de section                          |            | 1 (PP) et 2 (EP)       | 3 (EE)         | 4 (EER)               |
|--|------------|------------------------|----------------|-----------------------|
| Effort normal                              | Résistance | 5.1.2                  | 5.1.2          | 5.3.2                 |
|  | Stabilité  | 4.5.1                  | 4.5.1          | 5.3.8                 |
| Flexion                                    | Résistance | 5.1.3                  | 5.2.3          | 5.3.3                 |
|  | Stabilité  | 4.5.2                  | 4.5.2          | 5.6.2                 |
| Effort tranchant                           | Résistance | 5.1.4                  | 5.2.4          | 5.3.4                 |
|  | Stabilité  | 4.5.4                  | 4.5.4          | 4.5.4                 |
|  |            |                        |                |                       |
| Flexion et effort normal                   | Résistance | 5.1.6                  | 5.2.6          | 5.3.5                 |
|  | Stabilité  | 5.1.9 et 5.1.10        | 5.2.9          | 5.3.9, 5.6.2          |
| Flexion et effort tranchant                | Résistance | 5.1.5                  | 5.2.5          | 5.3.6                 |
|  | Stabilité  | 4.5.2 et 4.5.4         | 4.5.2 et 4.5.4 | 4.5.4, 5.6.2 et 5.6.3 |
| Flexion, effort normal et effort tranchant | Résistance | 5.1.7 et 5.1.8         | 5.2.7 et 5.2.8 | 5.3.7                 |
|  | Stabilité  | 4.5.4, 5.1.9 et 5.1.10 | 4.5.4 et 5.2.9 | 4.5.4 et 5.3.9        |

Et aussi von Mises, par ex. interaction avec torsion (SIA263, § 3.2.2.5 et § 4.3.5.4):

$$\sigma_{m,E} = \sqrt{\sigma_{x,E}^2 + \sigma_{y,E}^2 + \sigma_{z,E}^2 - \sigma_{x,E}\sigma_{y,E} - \sigma_{x,E}\sigma_{z,E} - \sigma_{y,E}\sigma_{z,E} + 3(\tau_{xy,E}^2 + \tau_{xz,E}^2 + \tau_{zy,E}^2)}$$

## 5.2 Poutres et poteaux de la classe de section 3

### 5.2.2 Effort normal

La valeur de calcul de la résistance à l'effort normal peut être obtenue selon le chiffre 5.1.2.

### 5.2.3 Flexion

La valeur de calcul de la résistance à la flexion  $M_{Rd}$  d'une barre est:

$$M_{Rd} = \frac{f_y W_{el}}{\gamma_{M1}} \quad (52)$$

·  
·  
·

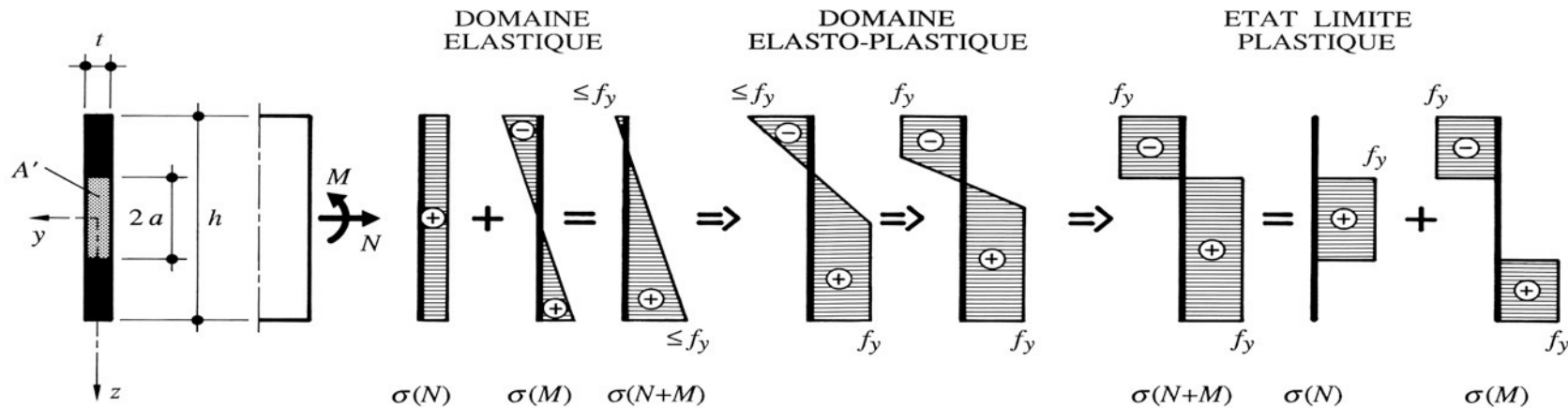
### 5.2.6 Flexion et effort normal

Dans le cas de flexion selon les deux axes et l'action simultanée d'un effort normal, la vérification peut s'effectuer selon la formule:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,el,Ed}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,el,Rd}} \leq 1,0 \quad (54)$$

# Fig. 4.32: Interaction moment + effort normal

## Cas d'une section rectangulaire



Etat limite plastique respecte  
équivalence somme contraintes =  
efforts, contrainte =  $f_y$   
Ne respecte plus sections planes  
restent planes

$$M_{y,pl,N} = M_{y,pl} - M_{y,pl} \left( \frac{N_{Ed}}{N_{pl}} \right)^2 = M_{y,pl} \left[ 1 - \left( \frac{N_{Ed}}{N_{pl}} \right)^2 \right] \quad (4.78)$$

$$M_{Ed} \leq M_{y,pl,N,Rd} = \frac{M_{y,pl}}{\gamma_{M1}} \left[ 1 - \left( \frac{N_{Ed}}{N_{pl}/\gamma_{M1}} \right)^2 \right]$$


« Formulation implicite »

# Cas section rectangulaire sous N + M

# TGC 10, pp. 129-130 : formules d'interaction M + N

Formulation explicite :

Vérification:  $\left| \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right| \leq 1,0$  ou  $\left| \frac{N_{Ed}}{N_{pl}/\gamma_{M1}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,pl}/\gamma_{M1}} \right| \leq 1$  TGC 10 équ.(4.80)



-  $I/z = W$  a un signe, de même le moment appliqué

Formulation implicite :

Selon axe y  $\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \leq 1 - \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$

$$M_{y,Ed} \leq \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right) M_{y,Rd} \leq M_{y,Rd}$$

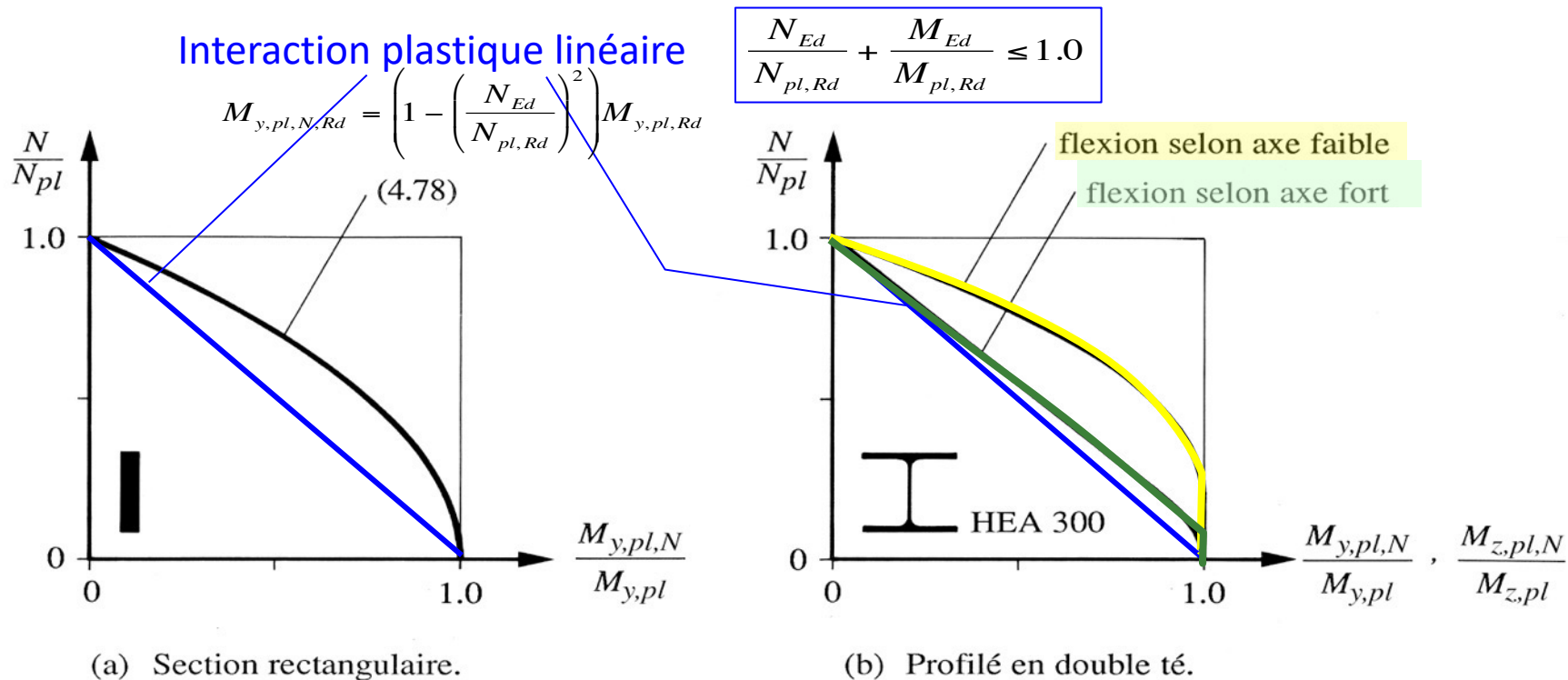
$$M_{y,N,Rd} = M_{y,Rd} \xi (1 - n) \quad \text{mais } M_{y,N,Rd} \leq M_{y,Rd} \quad (\text{SIA 263 équ. (45), double-té bisymétriques et TGC 10 équ.(4.83)})$$

Selon axe z, pages suivantes



# Fig. 4.33: Diagrammes d'interaction M + N

Plusieurs formules applicables en fct: section, axe, conservatisme



# TGC 10, pp. 128- 131 : formules d'interaction M+N (favorables)

## Cas sections en double-té bisymétriques

Interaction  $M_y - N$  dans le cas des sections en double-té bisymétriques:

$$M_{y,pl,N} = M_{y,pl} \cdot \xi \cdot (1 - n) \leq M_{y,pl} \quad (4.83)$$

$$\xi = \frac{1}{1 - 0.5a}$$

Vérification:  $M_{y,Ed} \leq \frac{M_{y,pl,N}}{\gamma_{M1}} = M_{y,N,Rd} \quad (4.85a)$

Interaction  $M_z - N$  dans le cas des sections en double-té bisymétriques:

$$M_{z,pl,N} = M_{z,pl} \left[ 1 - \left( \frac{n-a}{1-a} \right)^2 \right] \quad \text{pour } n > a \quad (4.84a)$$

$$M_{z,pl,N} = M_{z,pl} \quad \text{pour } n \leq a \quad (4.84b)$$

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl}/\gamma_{M1}} \quad a = \frac{A - 2b t_f}{A} \leq 0.5$$

Vérification:  $M_{z,Ed} \leq \frac{M_{z,pl,N}}{\gamma_{M1}} = M_{z,N,Rd} \quad (4.85b)$

SIA 263: 2013,  
équ. (45) à (47)

# Explication formule interaction et démarche utilisation

# Démarche de dimensionnement sous interaction d'efforts

1. Décider de l'effort principal (par ex. tirant ou poteau  $\rightarrow N_{Ed}$ , poutre  $\rightarrow M_{Ed}$ )
2. Choisir le type de section aussi en fonction effort principal
3. Choix de la méthode de calcul (à contrôler ensuite): section élast. ou plast.
4. Prédimensionner avec cet effort (résistance en section, ou élancement)  
par ex.  $A \geq N_{Ed} \gamma_M / f_y$
5. Se garder une marge puisque aussi autre effort(s), par ex. 20%, ou plus selon valeur autre effort(s)
6. Effectuer la vérification avec formule d'interaction (choix: linéaire ou non)
7. Faire les autres vérifications (stabilité, flèche, ...)
8. Si trop de réserve, itérer jusqu'à obtenir la section, l'élément, jugé optimal

Note: se servir des tables SZS pour évaluer rapidement les rapports entre effort et résistance d'une section à cet effort

# Démarche de dimensionnement sous interaction d'efforts

Par exemple, SZS table C5,  
Tableau résumé p. 24

## IPE, HEA      Querschnittswiderstände      Résistances des sections

Querschnittswiderstände (Bemessungswerte)  
Résistances des sections (valeurs de calcul)

$$N_{Rd} = f_y \cdot A / \gamma_{M1} \quad ①$$
$$V_{Rd} = \tau_y \cdot A_v / \gamma_{M1}$$
$$M_{y,Rd} = f_y \cdot W_{ply} / \gamma_{M1} \quad ①$$
$$M_{z,Rd} = f_y \cdot W_{plz} / \gamma_{M1} \quad ①$$

- ① Kumulierung nicht erlaubt  
Interaktion siehe Norm SIA 263  
① Cumul interdit  
Interaction voir norme SIA 263

$$a = \frac{A - 2bt_f}{A}, \quad \xi = \frac{1}{1 - a/2}$$

a, ξ : Hilfswerte für die Formeln  
(46–50) der Norm SIA 263.  
a<sub>S</sub> : Hilfswert für Stützenprofile in  
Rahmenknoten gemäß Norm  
SIA 263, Ziffer 6.6.3.3.

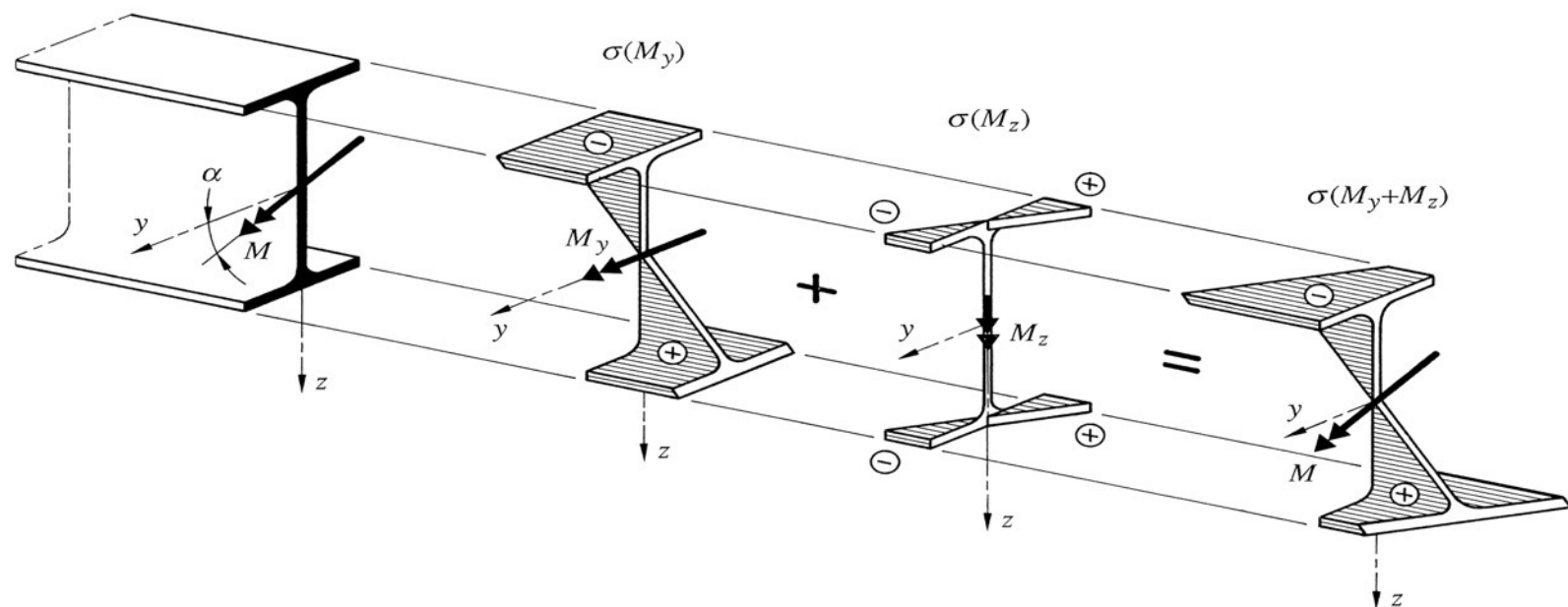
$$a_S = (t_f + 2r) \cdot \left( \frac{A}{A_v} - 1 \right)$$

a, ξ : Valeurs auxiliaires pour les formules  
(46–50) de la norme SIA 263.  
a<sub>S</sub> : Valeur auxiliaire pour profils de  
poteaux dans les nœuds de cadres  
selon la norme SIA 263, chiffre  
6.6.3.3.

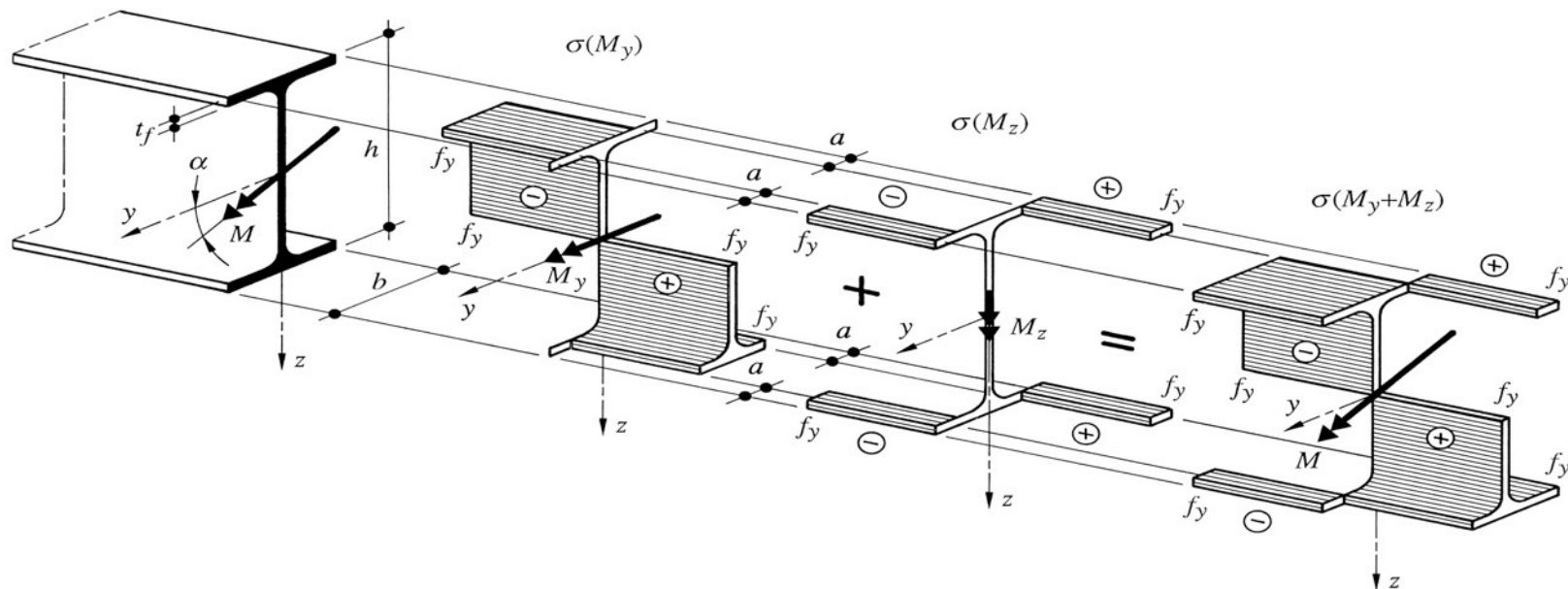
\* siehe S. 26+34 / voir p. 26+34

|          |   | S235                                 |      |                |  |                 |                   |                   |                               |                |  | S355            |                 |                   |                               |                             |                |                |  |  |  |
|----------|---|--------------------------------------|------|----------------|--|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|----------------|--|-----------------|-----------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|----------------|----------------|--|--|--|
| IPE      | m   | Hilfswerte<br>Valeurs<br>auxiliaires |      |                | Querschnittswiderstände<br>Résistances des sections<br>① |                 |                   |                   | Verfahren<br>Méthode<br>PP EP |                | Querschnittswiderstände<br>Résistances des sections<br>① |                 |                 |                   | Verfahren<br>Méthode<br>PP EP |                             |                |                |  |  |  |
|          |   | a                                    | ξ    | a <sub>S</sub> | N <sub>Rd</sub>  | V <sub>Rd</sub> | M <sub>y,Rd</sub> | M <sub>z,Rd</sub> | erlaubt für<br>permise avec   | n <sub>≤</sub> | n <sub>≤</sub>   | N <sub>Rd</sub> | V <sub>Rd</sub> | M <sub>y,Rd</sub> | M <sub>z,Rd</sub>             | erlaubt für<br>permise avec | n <sub>≤</sub> | n <sub>≤</sub> |  |  |  |
|          |   |                                      |      |                |  |                 |                   |                   |                               |                |  |                 |                 |                   |                               |                             |                |                |  |  |  |
|          |   |                                      |      |                |  |                 |                   |                   |                               |                |  |                 |                 |                   |                               |                             |                |                |  |  |  |
| kg/m     | I <sub>y</sub><br>·10 <sup>6</sup><br>mm <sup>4</sup> | mm                                   | kN   | kN             | kNm  | kNm             |                   |                   |                               |                | kN   | kN              | kNm             | kNm               |                               |                             |                |                |  |  |  |
| 80*      | 6,0   | 0,80                                 | 0,37 | 1,23           | 26   | 171             | 46                | 5,20              | 1,30                          | 1,0            | 1,0  | 258             | 70              | 7,85              | 1,97                          | 1,0                         | 1,0            |                |  |  |  |
| 100*     | 8,1   | 1,71                                 | 0,39 | 1,24           | 33   | 231             | 66                | 8,82              | 2,05                          | 1,0            | 1,0  | 349             | 99              | 13,3              | 3,09                          | 1,0                         | 1,0            |                |  |  |  |
| 120*     | 10,4  | 3,18                                 | 0,39 | 1,24           | 33   | 296             | 81                | 13,6              | 3,04                          | 1,0            | 1,0  | 447             | 123             | 20,5              | 4,59                          | 1,0                         | 1,0            |                |  |  |  |
| 140*     | 12,9  | 5,41                                 | 0,39 | 1,24           | 34   | 368             | 99                | 19,8              | 4,31                          | 1,0            | 1,0  | 555             | 149             | 29,9              | 6,51                          | 1,0                         | 1,0            |                |  |  |  |
| 160*     | 15,8  | 8,69                                 | 0,40 | 1,25           | 41   | 450             | 125               | 27,7              | 5,84                          | 1,0            | 1,0  | 679             | 189             | 41,9              | 8,82                          | 1,0                         | 1,0            |                |  |  |  |
| 180*     | 18,8  | 13,2                                 | 0,39 | 1,24           | 42   | 536             | 145               | 37,2              | 7,74                          | 1,0            | 1,0  | 810             | 220             | 56,3              | 11,7                          | 0,31                        | 1,0            |                |  |  |  |
| 200*     | 22,4  | 19,4                                 | 0,40 | 1,25           | 54   | 638             | 181               | 49,4              | 10,0                          | 1,0            | 1,0  | 963             | 273             | 74,6              | 15,1                          | 0,28                        | 1,0            |                |  |  |  |
| 220*     | 26,4  | 27,7                                 | 0,39 | 1,24           | 56   | 747             | 205               | 63,9              | 13,0                          | 1,0            | 1,0  | 1128            | 310             | 96,5              | 19,6                          | 0,25                        | 1,0            |                |  |  |  |
| 240*     | 30,7  | 38,9                                 | 0,40 | 1,25           | 69   | 875             | 247               | 82,1              | 16,5                          | 1,0            | 1,0  | 1323            | 374             | 124,0             | 25,0                          | 0,23                        | 1,0            |                |  |  |  |
| 270*     | 36,1  | 57,9                                 | 0,40 | 1,25           | 68   | 1028            | 286               | 108,3             | 21,7                          | 0,31           | 1,0  | 1553            | 432             | 163,6             | 32,8                          | 0,20                        | 0,27           |                |  |  |  |
| 300*     | 42,2  | 83,6                                 | 0,40 | 1,25           | 66   | 1204            | 332               | 140,6             | 28,0                          | 0,29           | 1,0  | 1819            | 501             | 212,4             | 42,3                          | 0,19                        | 0,26           |                |  |  |  |
| 330*     | 49,1  | 117,7                                | 0,41 | 1,26           | 77   | 1401            | 398               | 180,0             | 34,4                          | 0,27           | 1,0  | 2117            | 601             | 271,9             | 52,0                          | 0,17                        | 0,24           |                |  |  |  |
| 360*     | 57,1  | 162,7                                | 0,41 | 1,25           | 79   | 1628            | 454               | 228,1             | 42,8                          | 0,26           | 1,0  | 2459            | 686             | 344,6             | 64,6                          | 0,16                        | 0,22           |                |  |  |  |
| 400*     | 66,3  | 231,3                                | 0,42 | 1,27           | 86   | 1890            | 552               | 292,6             | 51,3                          | 0,25           | 0,33   | 2856            | 833             | 441,9             | 77,4                          | 0,15                        | 0,21           |                |  |  |  |
| 450*     | 77,6  | 337,4                                | 0,44 | 1,28           | 80   | 2212            | 657               | 380,9             | 61,9                          | 0,24           | 0,32   | 3341            | 992             | 575,4             | 93,4                          | 0,14                        | 0,21           |                |  |  |  |
| 500*     | 90,7  | 482,0                                | 0,45 | 1,29           | 78   | 2585            | 774               | 491,1             | 75,2                          | 0,23           | 0,31   | 3906            | 1169            | 741,8             | 113,6                         | 0,13                        | 0,20           |                |  |  |  |
| 550      | 106   | 671,2                                | 0,46 | 1,30           | 83   | 3008            | 935               | 623,8             | 89,6                          | 0,23           | 0,32   | 4545            | 1412            | 942,3             | 135,4                         | 0,13                        | 0,20           |                |  |  |  |
| 600      | 122   | 920,8                                | 0,46 | 1,30           | 83   | 3491            | 1083              | 786,1             | 108,7                         | 0,23           | 0,31   | 5274            | 1635            | 1188              | 164,2                         | 0,12                        | 0,19           |                |  |  |  |
| 750 x137 | 1599  | 0,49                                 | 1,32 | 54             | 3907   | 1200            | 1089              | 137,4             | 0,08                          | 0,15           | 5903   | 1813            | 1645            | 207,6             | N                             | 0,05                        |                |                |  |  |  |
| 750 x147 | 1661  | 0,50                                 | 1,33 | 47             | 4196   | 1362            | 1144              | 141,2             | 0,16                          | 0,24           | 6339   | 2058            | 1728            | 213,3             | N                             | 0,05                        |                |                |  |  |  |
| 750 x173 | 2058  | 0,48                                 | 1,31 | 60             | 4954   | 1505            | 1392              | 181,3             | 0,19                          | 0,28           | 7483   | 2273            | 2102            | 273,8             | N                             | 0,09                        |                |                |  |  |  |
| 750 x196 | 2403  | 0,46                                 | 1,30 | 69             | 5614   | 1645            | 1606              | 214,6             | 0,23                          | 0,32           | 8480   | 2484            | 2426            | 324,2             | N                             | 0,12                        |                |                |  |  |  |
| HEA      |   |                                      |      |                |  |                 |                   |                   |                               |                |  |                 |                 |                   |                               |                             |                |                |  |  |  |
| 100*     | 16,7  | 3,49                                 | 0,25 | 1,14           | 122  | 475             | 98                | 18,6              | 9,21                          | 1,0            | 1,0  | 718             | 147             | 28,1              | 13,9                          | 1,0                         | 1,0            |                |  |  |  |
| 120*     | 19,9  | 6,06                                 | 0,24 | 1,14           | 121  | 567             | 109               | 26,7              | 13,2                          | 1,0            | 1,0  | 857             | 165             | 40,4              | 19,9                          | 1,0                         | 1,0            |                |  |  |  |
| 140*     | 24,7  | 10,3                                 | 0,24 | 1,14           | 117  | 703             | 131               | 38,8              | 19,0                          | 1,0            | 1,0  | 1062            | 198             | 58,7              | 28,7                          | 1,0                         | 1,0            |                |  |  |  |
| 160*     | 30,4  | 16,7                                 | 0,26 | 1,15           | 137  | 868             | 171               | 54,9              | 26,3                          | 1,0            | 1,0  | 1311            | 258             | 82,9              | 39,8                          | 1,0                         | 1,0            |                |  |  |  |
| 180*     | 35,5  | 25,1                                 | 0,24 | 1,14           | 145  | 1013            | 187               | 72,2              | 35,0                          | 1,0            | 1,0  | 1530            | 282             | 109,8             | 52,9                          | N                           | 1,0            |                |  |  |  |
| 200*     | 42,3  | 36,9                                 | 0,26 | 1,15           | 166  | 1205            | 234               | 96,1              | 45,6                          | 1,0            | 1,0  | 1820            | 353             | 145,2             | 68,9                          | N                           | 1,0            |                |  |  |  |
| 220*     | 50,5  | 54,1                                 | 0,25 | 1,14           | 170  | 1440            | 267               | 127,2             | 60,6                          | 1,0            | 1,0  | 2175            | 404             | 192,2             | 91,5                          | N                           | 1,0            |                |  |  |  |
| 240*     | 60,3  | 77,6                                 | 0,25 | 1,14           | 200  | 1720            | 325               | 166,7             | 78,7                          | 1,0            | 1,0  | 2598            | 491             | 251,8             | 118,9                         | N                           | 1,0            |                |  |  |  |

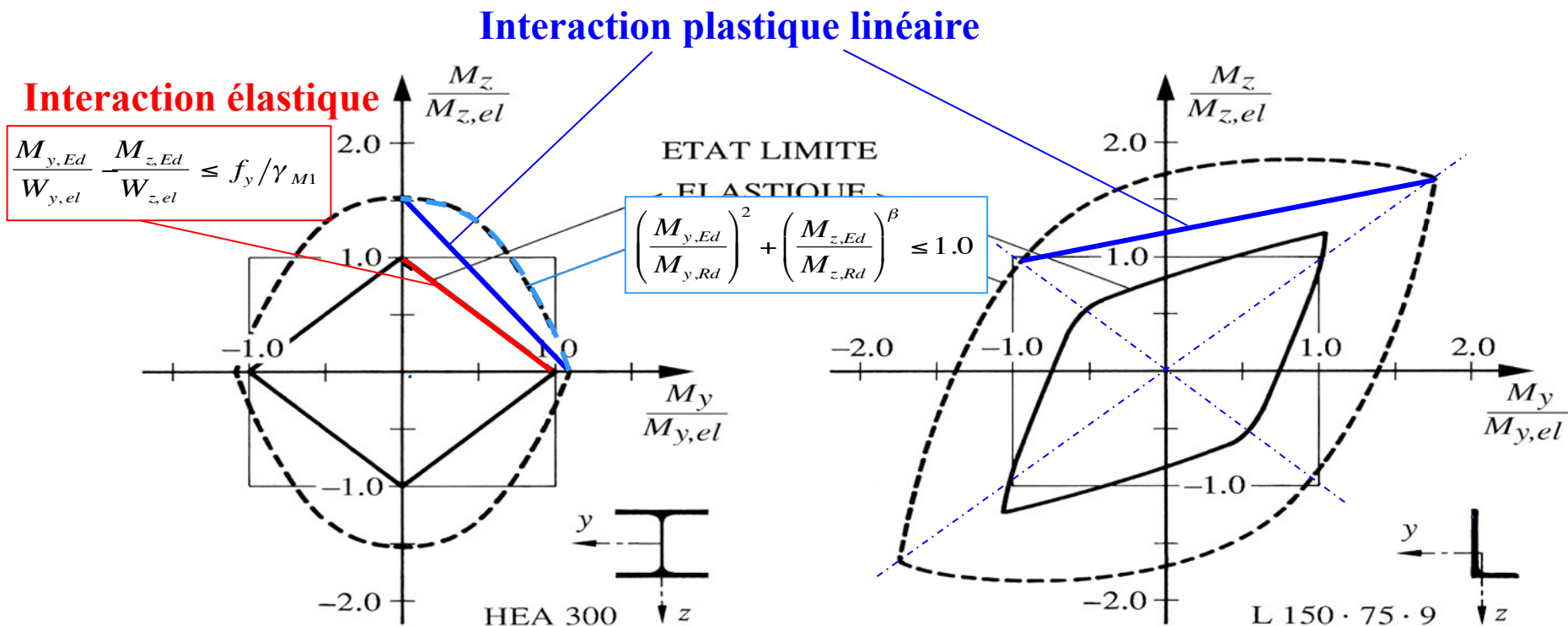
# Fig. 4.11: Résistance élastique à une interaction de moments



## Fig. 4.11: Résistance plastique à une interaction de moments

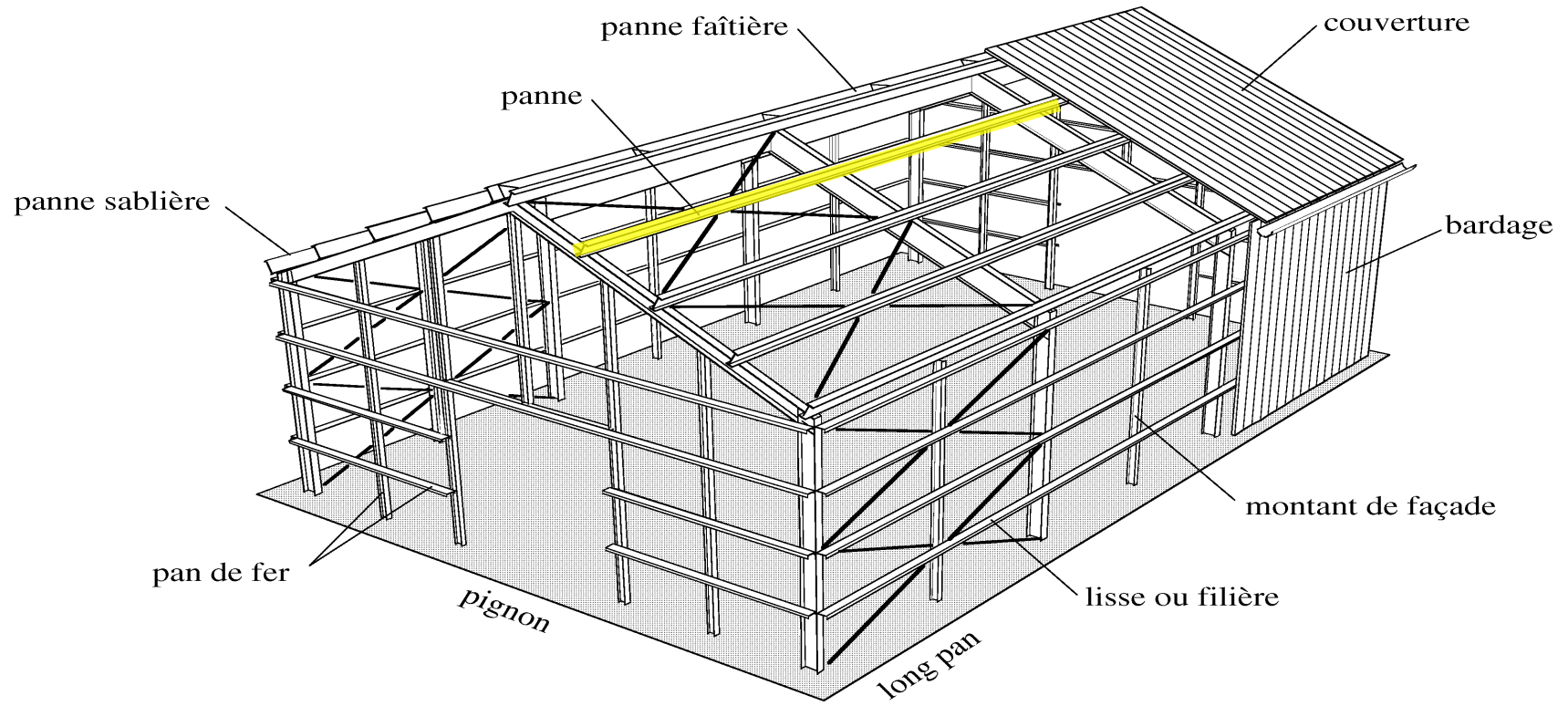


# Fig. 4.12: Diagrammes d'interaction $M_y + M_z$

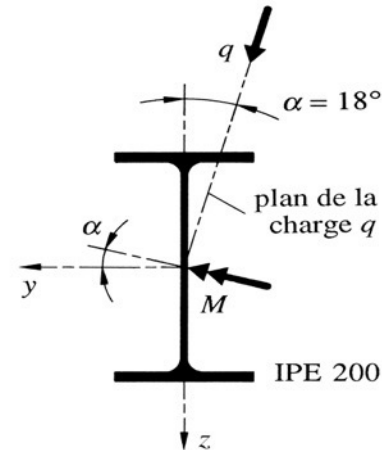
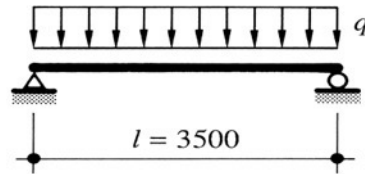
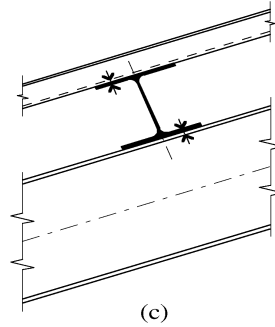
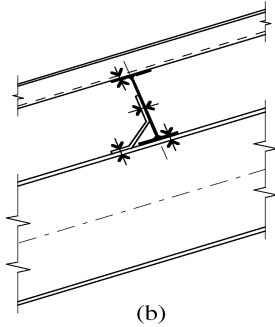
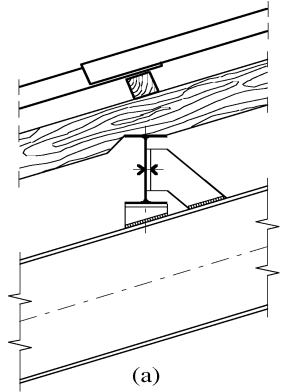




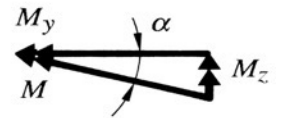
# Exemple d'élément en flexion biaxiale: une panne



# TGC 11, fig. 5.4: panne, exemple d'élément en flexion biaxiale

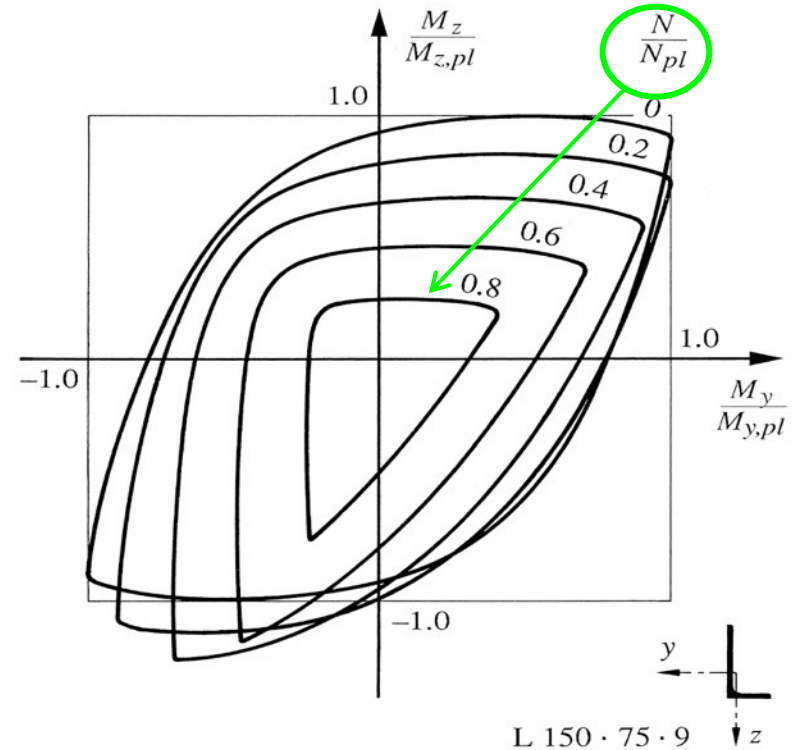
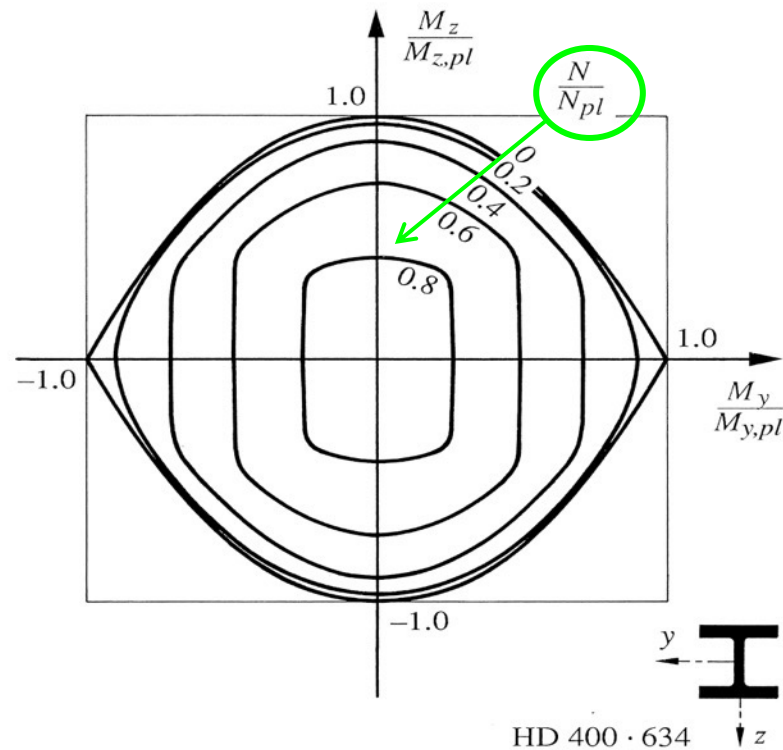


Décomposition  
du moment



$M$  : moment de  
flexion gauche

# Fig. 4.34: Surfaces d'interaction $M_y + M_z + N$



# Formules d'interaction $M_y + M_z + N$

- TGC 10:

Flexion gauche (avec effort normal) dans le cas des sections en double-té bisymétriques:

$$\text{Vérification: } \left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,N,Rd}} \right)^2 + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,N,Rd}} \right)^\beta \leq 1,0 \quad (4.86)$$

avec  $\beta = 5 \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$ , mais  $\beta \geq 1.1$  et l'effort normal  $N_{Ed}$  ne dépasse pas le 90% de la valeur de calcul de la résistance  $N_{Rd}$

- SIA 263 § 5.1.6.4:

Si la section est sollicitée simultanément par les deux moments  $M_{y,Ed}$  et  $M_{z,Ed}$  ainsi que par un effort normal  $N_{Ed}$ , la formule d'interaction suivante est applicable:

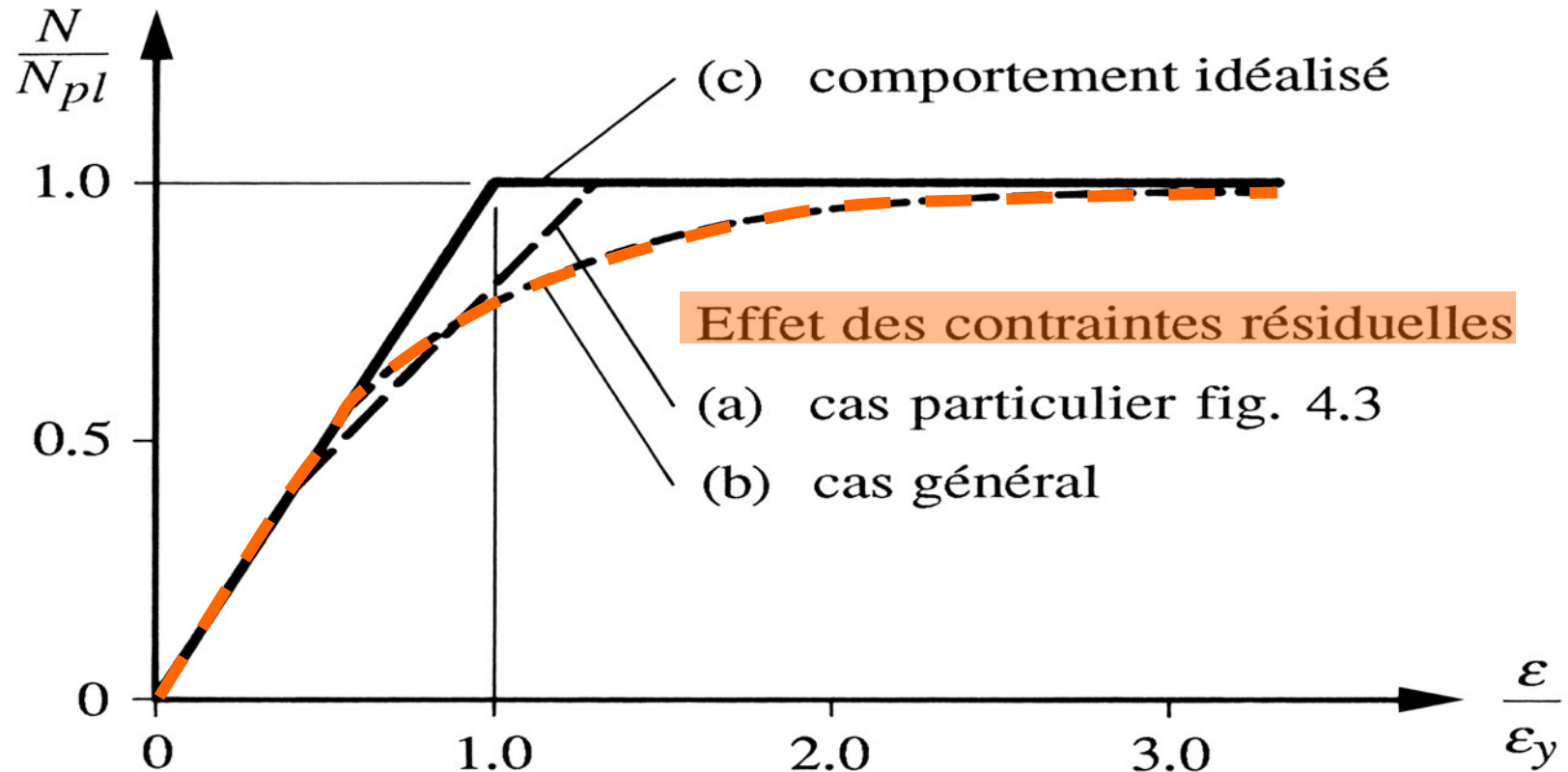
$$\left( \frac{M_{y,Ed}}{M_{y,N,Rd}} \right)^\alpha + \left( \frac{M_{z,Ed}}{M_{z,N,Rd}} \right)^\beta \leq 1,0 \quad \text{valable pour } \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 0,9 \quad (48)$$

où  $\alpha$  et  $\beta$  sont des constantes à choisir entre, de manière conservative, la valeur 1,0 et les valeurs suivantes:

- pour sections en I:  $\alpha = 2$        $\beta = 5 \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$       mais  $\beta \geq 1,1$
- pour profilés creux rectangulaires laminés:  $\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,33 \left( \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \right)^2}$       mais  $\alpha = \beta \leq 6$

Pour  $M_{y,N,Rd}$  et  $M_{z,N,Rd}$ , les valeurs sont données par les formules (45) à (47).

# ANNEXE Fig. 4.4: Comportement déformation - charge sous N



# ANNEXE Fig. 4.6: Comportement déformation-charge sous M

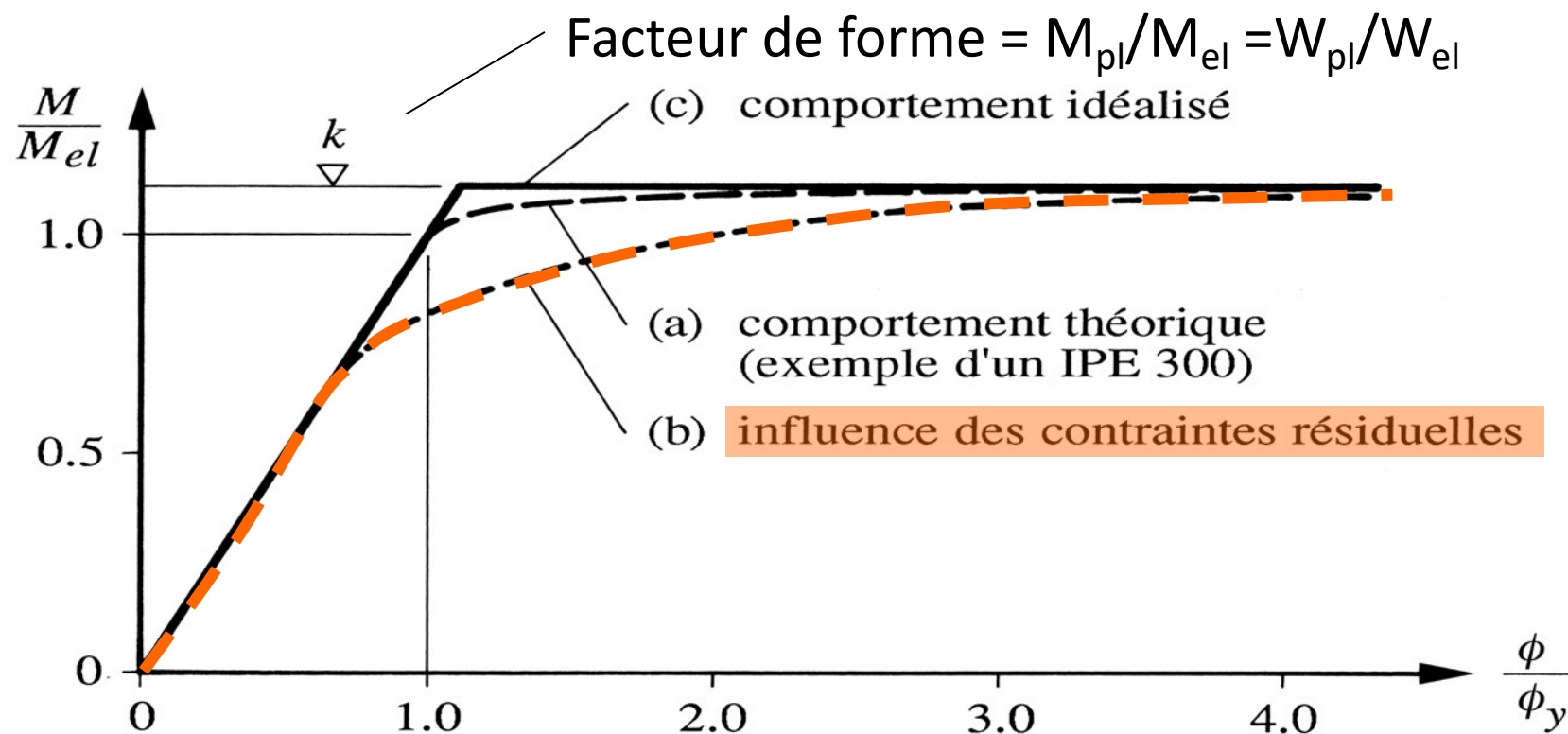






Photo ARBED, Luxembourg

EPFL/RESSLab - Construction métallique

# Annexe: Vérification ELU, rappel

- $E_d$  : Effets d'actions, valeur de calcul ( $N_{Ed}$ ,  $M_{y,Ed}$ , ...)
- $R_d$  : Résistance, valeur de calcul ( $N_{Rd}$ ,  $M_{y,Rd}$ , ...)

$$E_d \leq R_d = R_k / \gamma_M \quad \gamma_{M1} : \text{en général, en section}$$

Acier :  $\gamma_{M1} = 1,05$

Béton :  $\gamma_{M1} = 1,50$

Calcul élastique :

$$\sigma_{Ed} \leq f_y / \gamma_{M1} \quad \leftrightarrow \quad M_{Ed} \leq f_y \cdot W_{el} / \gamma_{M1}$$

" plastique :  
(en section)

$$N_{Ed} \leq N_{Rk} / \gamma_{M1} = f_y \cdot A / \gamma_{M1}$$

$$M_{Ed} \leq M_{Rk} / \gamma_{M1} = f_y \cdot W_{pl} / \gamma_{M1}$$



# Annexe: Fig. 4.9: Section monosymétrique

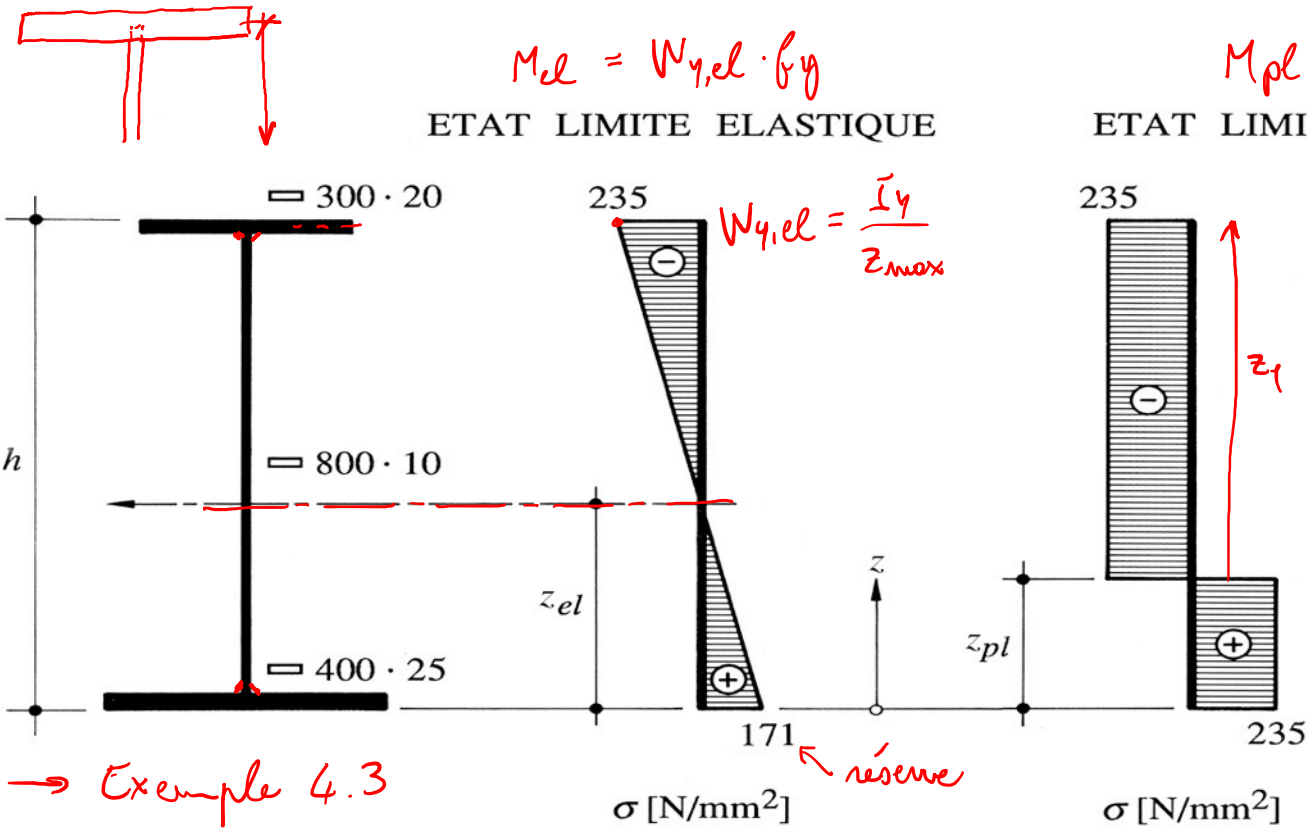
$N = 0 = \int \sigma dA \Rightarrow F_1 + F_2 = F_3 + F_4$

$M_{el} = W_{y,el} \cdot f_y$

$M_{pl} = W_{y,pl} \cdot f_y = \sum F_i \cdot z_i$

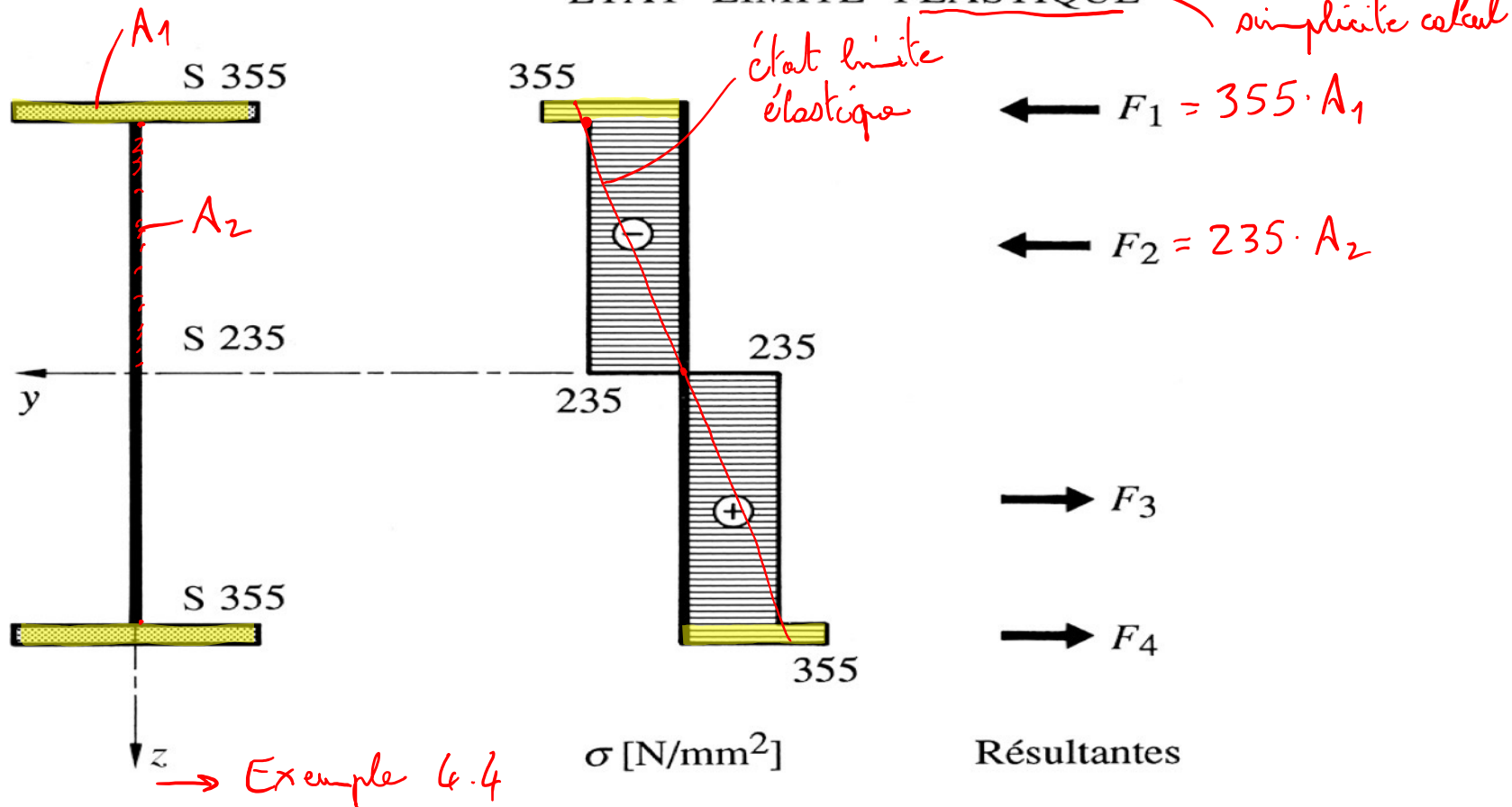
ETAT LIMITE ELASTIQUE

ETAT LIMITE PLASTIQUE

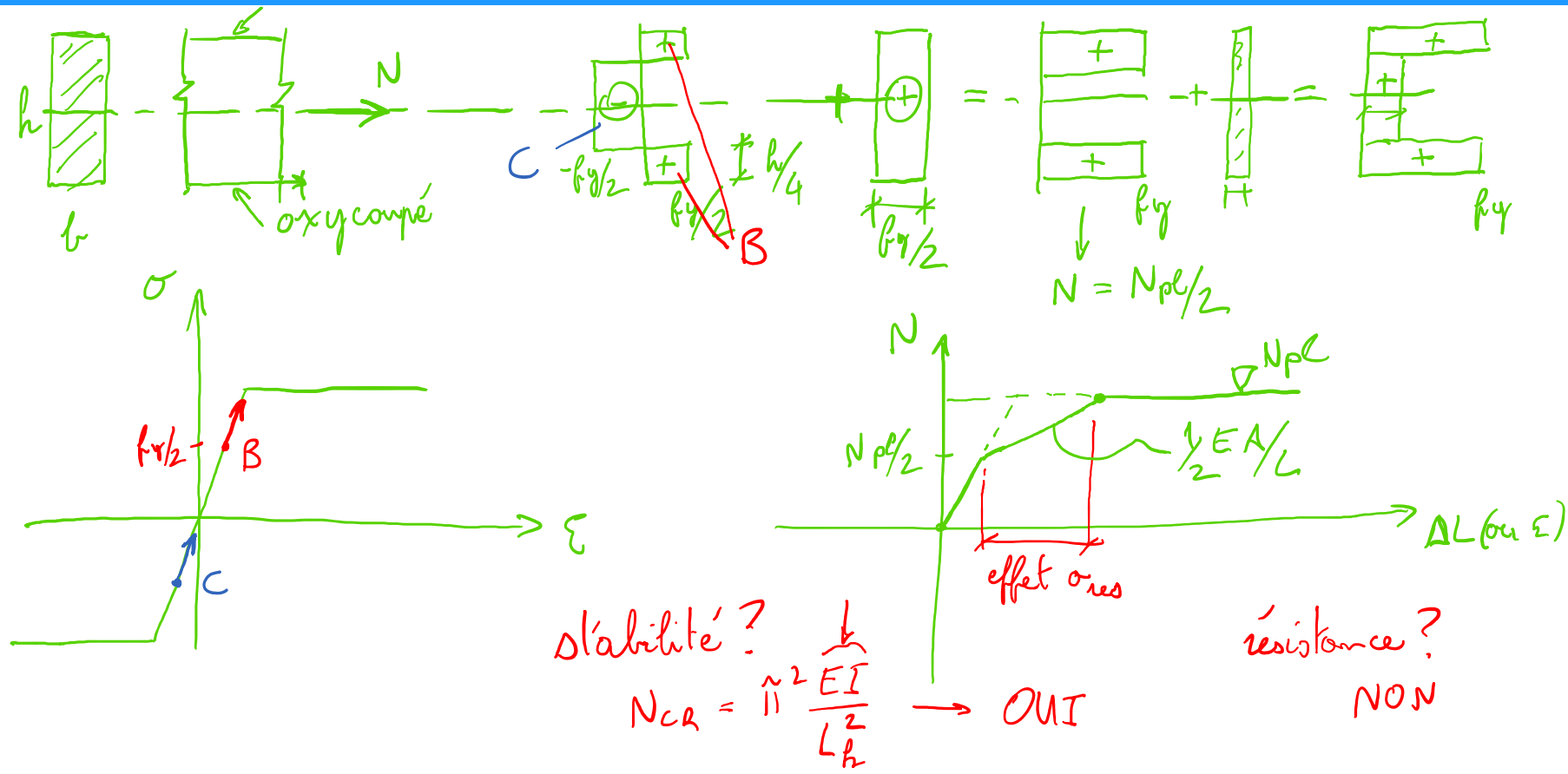


→ Exemple 4.3

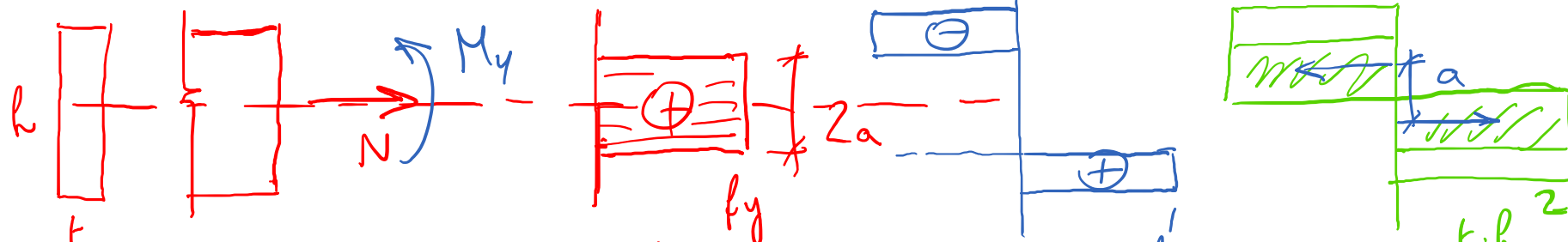
# Annexe: Fig. 4.10: Section hybride



# Annexe: Influence des contraintes résid. sur la résistance en section ?



# ANNEXE: Cas section rectangulaire sous N + M



1)  $M_{y,pl,N} = M_{y,pl} - (f_y \cdot a \cdot t) \cdot a$

2)  $N_{centre} = f_y \cdot Z_a \cdot t = N_{Ed} \Rightarrow a = \frac{N_{Ed}}{Z \cdot f_y \cdot t} \cdot \frac{h}{2} = \frac{h}{2} \cdot \frac{N_{Ed}}{N_{pl}}$

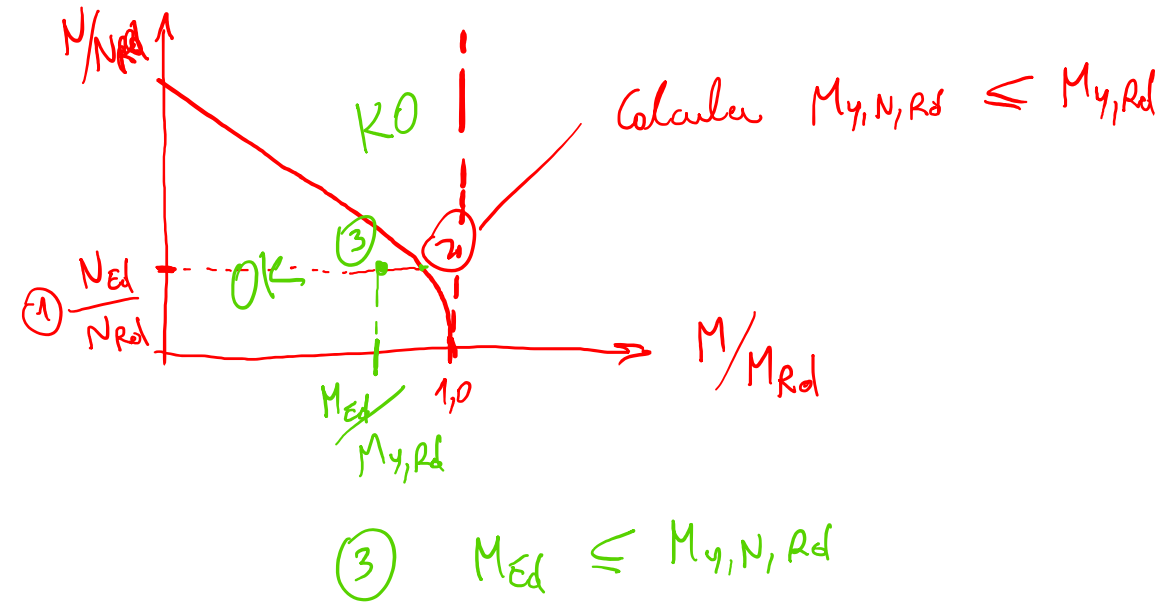
et dans 1)  $M_{y,pl,N,Rd} = M_{y,pl} - f_y \cdot t \cdot \frac{h^2}{4} \left( \frac{N_{Ed}}{N_{pl}} \right)^2$

$= M_{y,pl} - M_{y,pl} \left( \frac{N_{Ed}}{N_{pl}} \right)^2 = \frac{M_{y,pl}}{\gamma_{M1}} \left[ 1 - \left( \frac{N_{Ed}}{N_{pl}} \right)^2 \right]$

$W_{y,pl} = \frac{t \cdot h^3}{6}$   
 $W_{y,pl} = \frac{t \cdot h^3}{4}$

$\gamma_{M1} = 1,5$

# Annexe: Explication formule interaction et démarche utilisation



# Annexe: Démarche de dimens. sous interaction d'efforts

Par exemple, SZS table C5,

Tableau résumé p. 24

Traverse S355 (choix)  
 $N_{Ed} = 150 \text{ kN}$   
 $M_{Ed} = 400 \text{ kNm}$   
IPE 400

comb. util.  $M = \frac{400}{442} = 90\%$

interaction linéaire:

$\frac{150}{2856} + \frac{400}{441,9} = 0,96 \leq 1$   
OK

## IPE, HEA      Querschnittswiderstände      Résistances des sections

Querschnittswiderstände (Bemessungswerte)  
Résistances des sections (valeurs de calcul)

$N_{Rd} = f_y \cdot A / \gamma_{M1}$  ①  
 $V_{Rd} = \tau_v \cdot A_v / \gamma_{M1}$  ①  
 $M_{y,Rd} = f_y \cdot W_{ply} / \gamma_{M1}$  ①  
 $M_{z,Rd} = f_y \cdot W_{plz} / \gamma_{M1}$  ①

$a = \frac{A - 2bt_f}{A}, \xi = \frac{1}{1-a/2}$

$a_s = (t_f + 2r) \cdot (\frac{A}{A_v} - 1)$

① Kumulierung nicht erlaubt  
Interaction siehe Norm SIA 263  
① Cumul interdict  
Interaction voir norme SIA 263

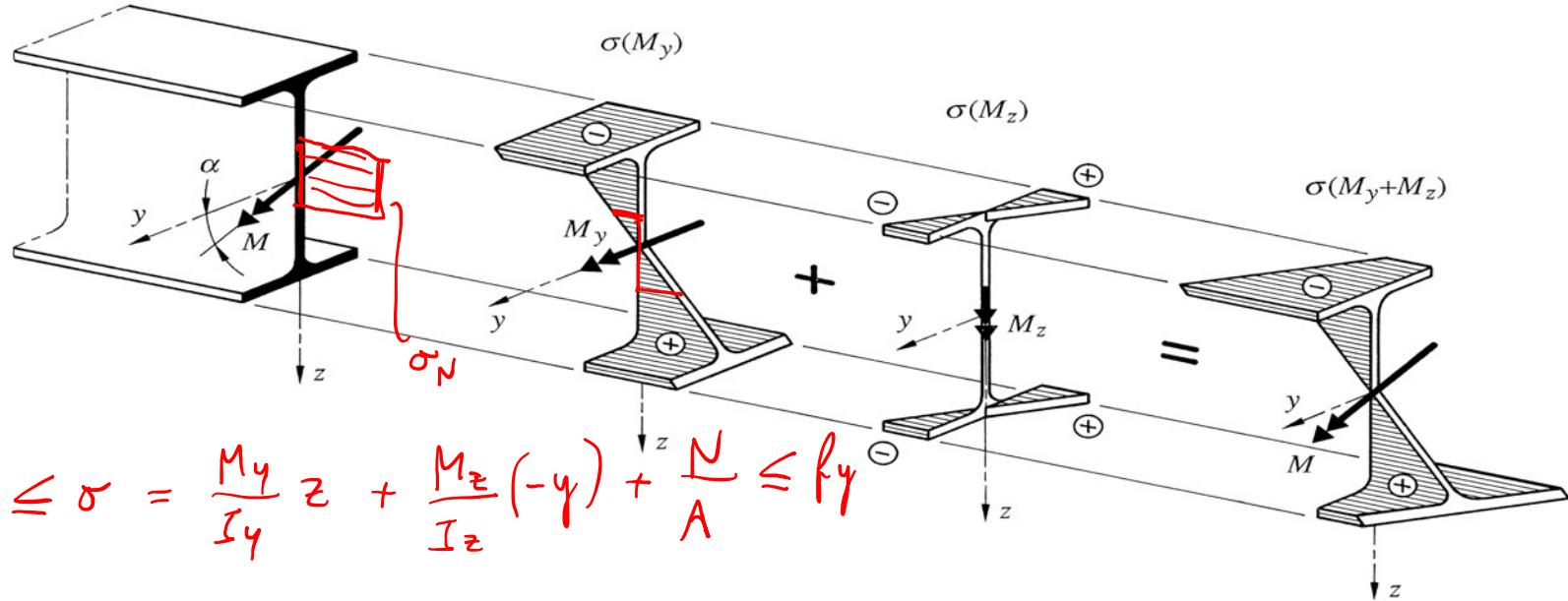
$a, \xi$ : Hilfswerte für die Formeln (46–50) der Norm SIA 263.  
 $a_s$ : Hilfswert für Stützenprofile in Rahmenknoten gemäss Norm SIA 263, Ziffer 6.6.3.3.

$a, \xi$ : Valeurs auxiliaires pour les formules (46–50) de la norme SIA 263.  
 $a_s$ : Valeur auxiliaire pour profils de poteaux dans les nœuds de cadres selon la norme SIA 263, chiffre 6.6.3.3.

\* siehe S. 26+34 / voir p. 26+34

| IPE       | m    | $I_y$<br>· 10 <sup>6</sup><br>mm <sup>4</sup> | $a$  | $\xi$ | $a_s$ | S235   |          |            |            | S355   |          |            |            |
|-----------|------|---|------|-------|-------|--|----------|------------|------------|--|----------|------------|------------|
|           |      |   |      |       |       | Querschnittswiderstände<br>Résistances des sections<br>① |          |            |            | Querschnittswiderstände<br>Résistances des sections<br>① |          |            |            |
|           |      |   |      |       |       | $N_{Rd}$   | $V_{Rd}$ | $M_{y,Rd}$ | $M_{z,Rd}$ | $N_{Rd}$   | $V_{Rd}$ | $M_{y,Rd}$ | $M_{z,Rd}$ |
|           |      |   |      |       |       | kN   | kN       | kNm        | kNm        | kN   | kN       | kNm        | kNm        |
| 80*       | 6,0  | 0,80  | 0,37 | 1,23  | 26    | 171  | 46       | 5,20       | 1,30       | 258  | 70       | 7,85       | 1,97       |
| 100*      | 8,1  | 1,71  | 0,39 | 1,24  | 33    | 231  | 66       | 8,82       | 2,05       | 349  | 99       | 13,3       | 3,09       |
| 120*      | 10,4 | 3,18  | 0,39 | 1,24  | 33    | 296  | 81       | 13,6       | 3,04       | 447  | 123      | 20,5       | 4,59       |
| 140*      | 12,9 | 5,41  | 0,39 | 1,24  | 34    | 368  | 99       | 19,8       | 4,31       | 555  | 149      | 29,9       | 6,51       |
| 160*      | 15,8 | 8,69  | 0,40 | 1,25  | 41    | 450  | 125      | 27,7       | 5,84       | 679  | 189      | 41,9       | 8,82       |
| 180*      | 18,8 | 13,2  | 0,39 | 1,24  | 42    | 536  | 145      | 37,2       | 7,74       | 810  | 220      | 56,3       | 11,7       |
| 200*      | 22,4 | 19,4  | 0,40 | 1,25  | 54    | 638  | 181      | 49,4       | 10,0       | 963  | 273      | 74,6       | 15,1       |
| 220*      | 26,4 | 27,7  | 0,39 | 1,24  | 56    | 747  | 205      | 63,9       | 13,0       | 1128   | 310      | 96,5       | 19,6       |
| 240*      | 30,7 | 38,9  | 0,40 | 1,25  | 69    | 875  | 247      | 82,1       | 16,5       | 1323   | 374      | 124,0      | 25,0       |
| 270*      | 36,1 | 57,9  | 0,40 | 1,25  | 68    | 1028   | 286      | 108,3      | 21,7       | 1553   | 432      | 163,6      | 32,8       |
| 300*      | 42,2 | 83,6  | 0,40 | 1,25  | 66    | 1204   | 332      | 140,6      | 28,0       | 1819   | 501      | 212,4      | 42,3       |
| 330*      | 49,1 | 117,7   | 0,41 | 1,26  | 77    | 1401   | 398      | 180,0      | 34,4       | 2117   | 601      | 271,9      | 52,0       |
| 360*      | 57,1 | 162,7   | 0,41 | 1,25  | 79    | 1628   | 454      | 228,1      | 42,8       | 2459   | 686      | 344,6      | 64,6       |
| 400*      | 66,3 | 231,3   | 0,42 | 1,27  | 86    | 1890   | 552      | 292,6      | 51,3       | 2856   | 833      | 441,9      | 77,4       |
| 450*      | 77,6 | 337,4   | 0,44 | 1,28  | 80    | 2212   | 657      | 380,9      | 61,9       | 3341   | 982      | 575,4      | 93,4       |
| 500*      | 90,7 | 482,0   | 0,45 | 1,29  | 78    | 2585   | 774      | 491,1      | 75,2       | 3906   | 1169     | 741,8      | 113,6      |
| 550       | 106  | 671,2   | 0,46 | 1,30  | 83    | 3008   | 935      | 623,8      | 89,6       | 4545   | 1412     | 942,3      | 135,4      |
| 600       | 122  | 920,8   | 0,46 | 1,30  | 83    | 3491   | 1083     | 786,1      | 108,7      | 5274   | 1635     | 1188       | 164,2      |
| 750 x 137 | 1599 | 0,49  | 1,32 | 54    | 3907  | 1200   | 1089     | 137,4      | 0,08       | 5903   | 1813     | 1645       | 207,6      |
| 750 x 147 | 1661 | 0,50  | 1,33 | 47    | 4196  | 1362   | 1144     | 141,2      | 0,16       | 6339   | 2058     | 1728       | 213,3      |
| 750 x 173 | 2058 | 0,48  | 1,31 | 60    | 4954  | 1505   | 1392     | 181,3      | 0,19       | 7483   | 2273     | 2102       | 273,8      |
| 750 x 196 | 2403 | 0,46  | 1,30 | 69    | 5614  | 1645   | 1606     | 214,6      | 0,23       | 8480   | 2484     | 2426       | 324,2      |
| HEA       |      |   |      |       |       |  |          |            |            |  |          |            |            |
| 100*      | 16,7 | 3,49  | 0,25 | 1,14  | 122   | 475  | 98       | 18,6       | 9,21       | 718  | 147      | 28,1       | 13,9       |
| 120*      | 19,9 | 6,06  | 0,24 | 1,14  | 121   | 567  | 109      | 26,7       | 13,2       | 857  | 165      | 40,4       | 19,9       |
| 140*      | 24,7 | 10,3  | 0,24 | 1,14  | 117   | 703  | 131      | 38,8       | 19,0       | 1062   | 198      | 58,7       | 28,7       |
| 160*      | 30,4 | 16,7  | 0,26 | 1,15  | 137   | 868  | 171      | 54,9       | 26,3       | 1311   | 258      | 82,9       | 39,8       |
| 180*      | 35,5 | 25,1  | 0,24 | 1,14  | 145   | 1013   | 187      | 72,2       | 35,0       | 1530   | 282      | 109,8      | 52,9       |
| 200*      | 42,3 | 36,9  | 0,26 | 1,15  | 166   | 1205   | 234      | 96,1       | 45,6       | 1820   | 353      | 145,2      | 68,9       |
| 220*      | 50,5 | 54,1  | 0,25 | 1,14  | 170   | 1440   | 267      | 127,2      | 60,6       | 2175   | 404      | 192,2      | 91,5       |
| 240*      | 60,3 | 77,6  | 0,25 | 1,14  | 200   | 1720   | 325      | 166,7      | 78,7       | 2598   | 491      | 251,8      | 118,9      |

# Annexe: Fig. 4.11: Résistance élastique interaction de moments



$$-f_y \leq \sigma = \frac{M_y}{I_y} z + \frac{M_z}{I_z} (-y) + \frac{N}{A} \leq f_y$$

$$\left| \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,el}} - \frac{M_{z,Ed}}{W_{z,el}} + \frac{N_{Ed}}{A} \right| \leq f_y / \gamma_{M1}$$