

Cours structures en métal

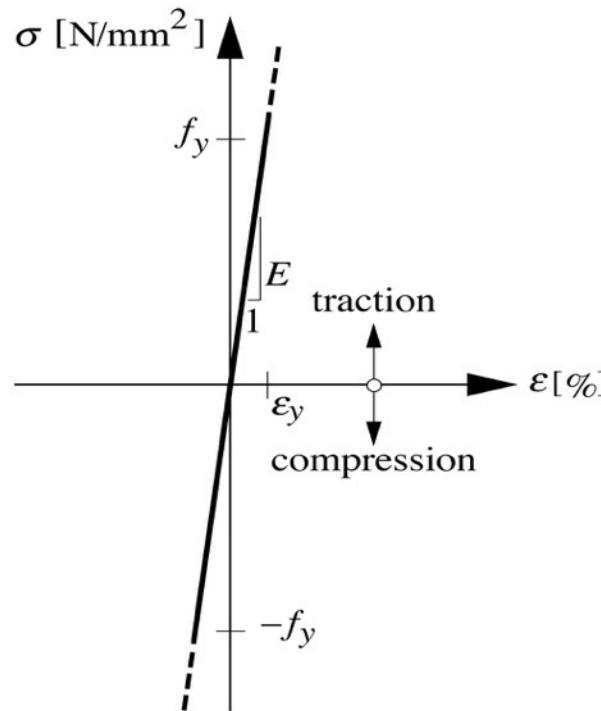
TGC 10, chapitre 4:

Résistance en section, partie 1

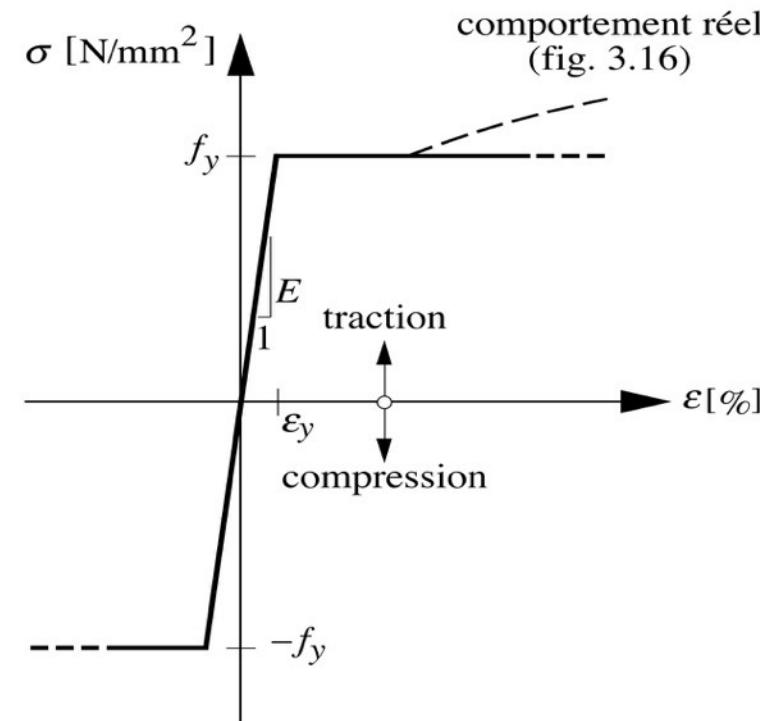
St E460

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

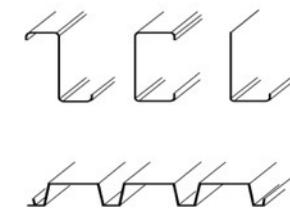
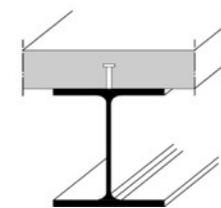
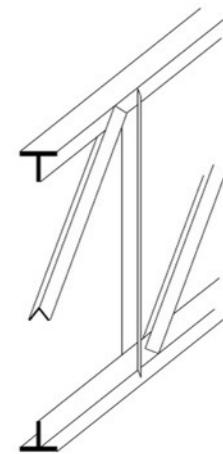
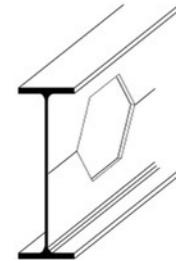
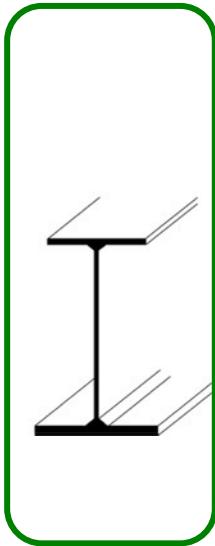
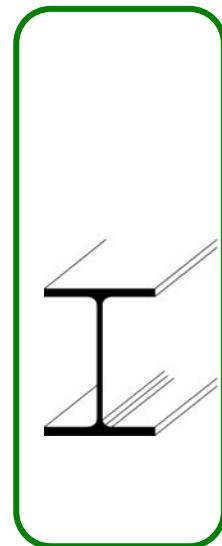
Poutre composée à âme pleine

Poutre ajourée

Poutre à treillis

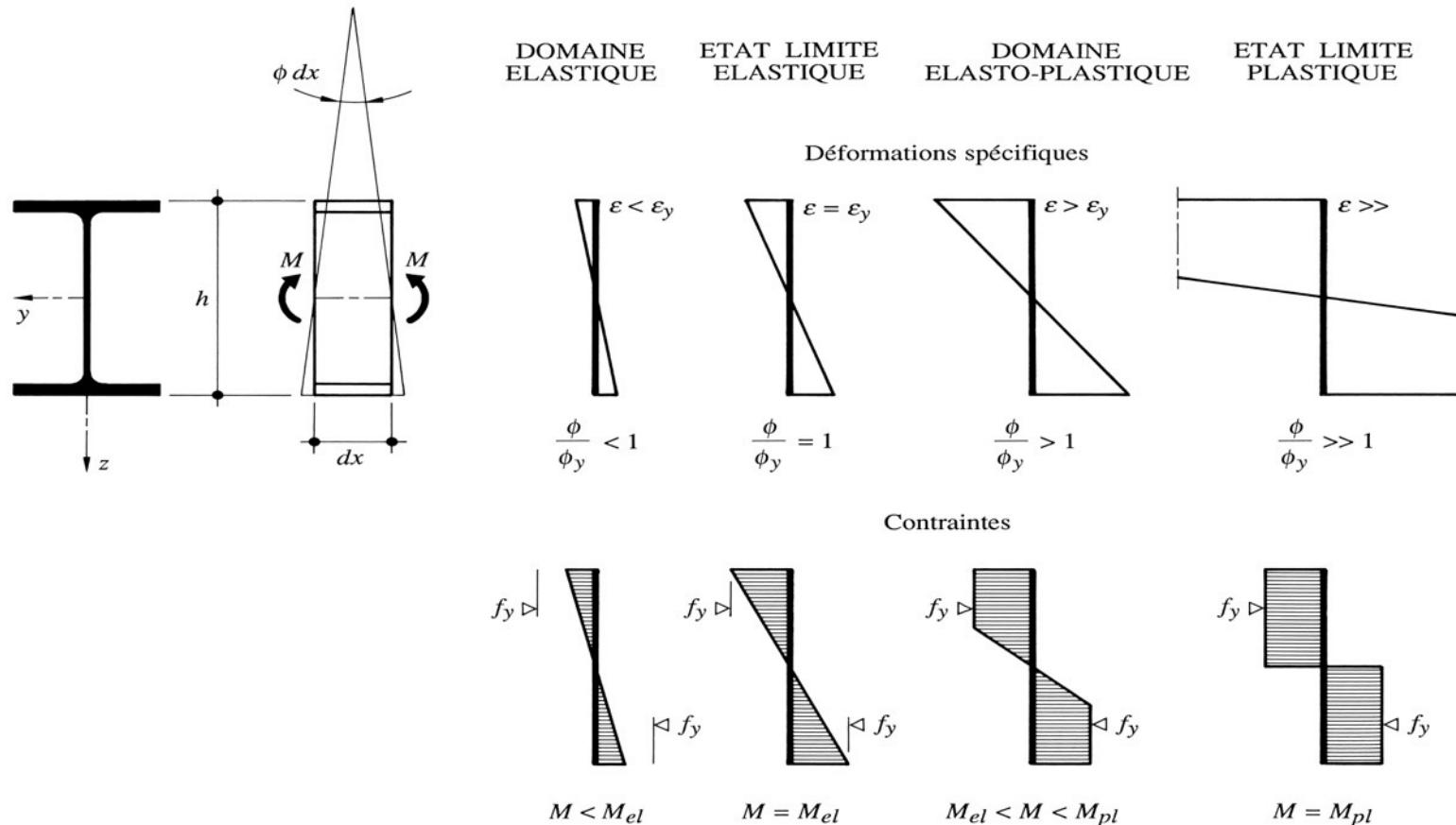
Poutre mixte acier-béton

Elément à parois minces

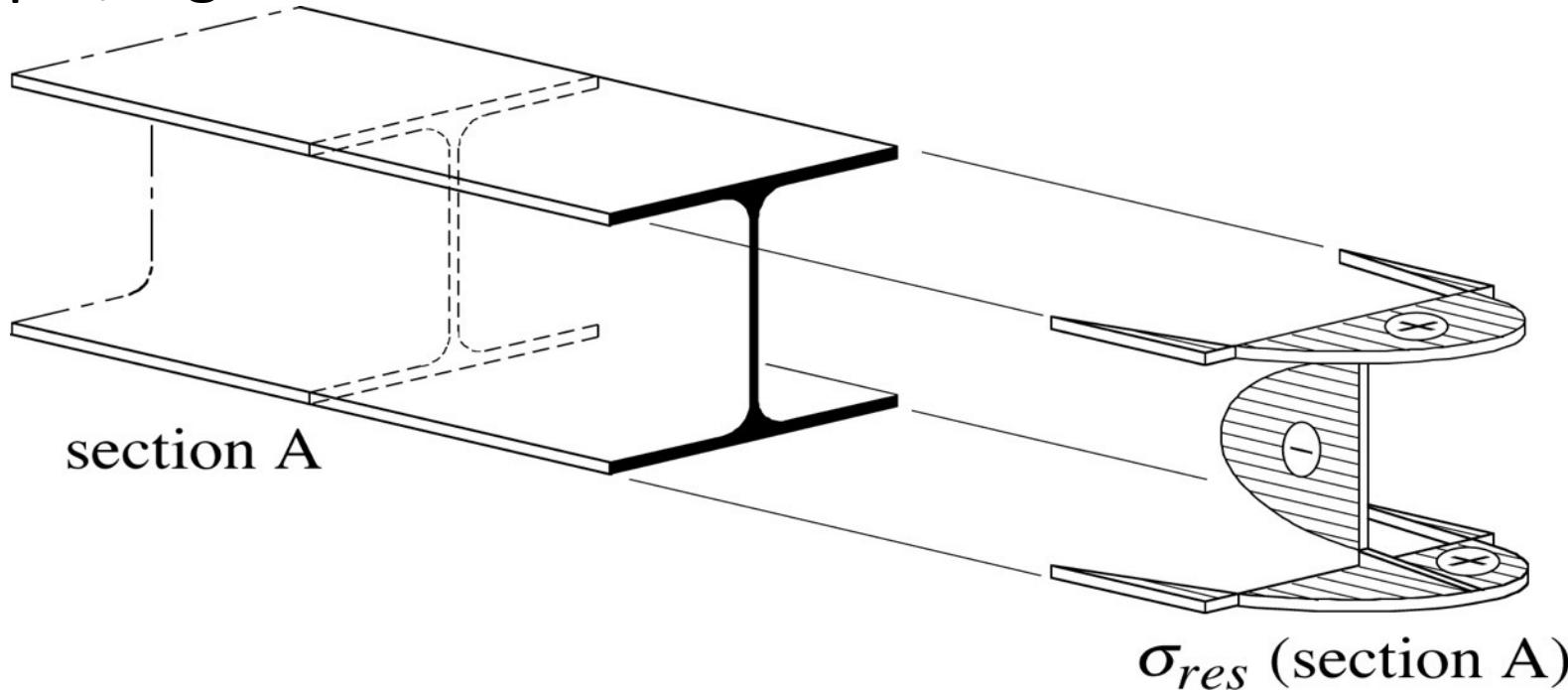


En général
disymétrique

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

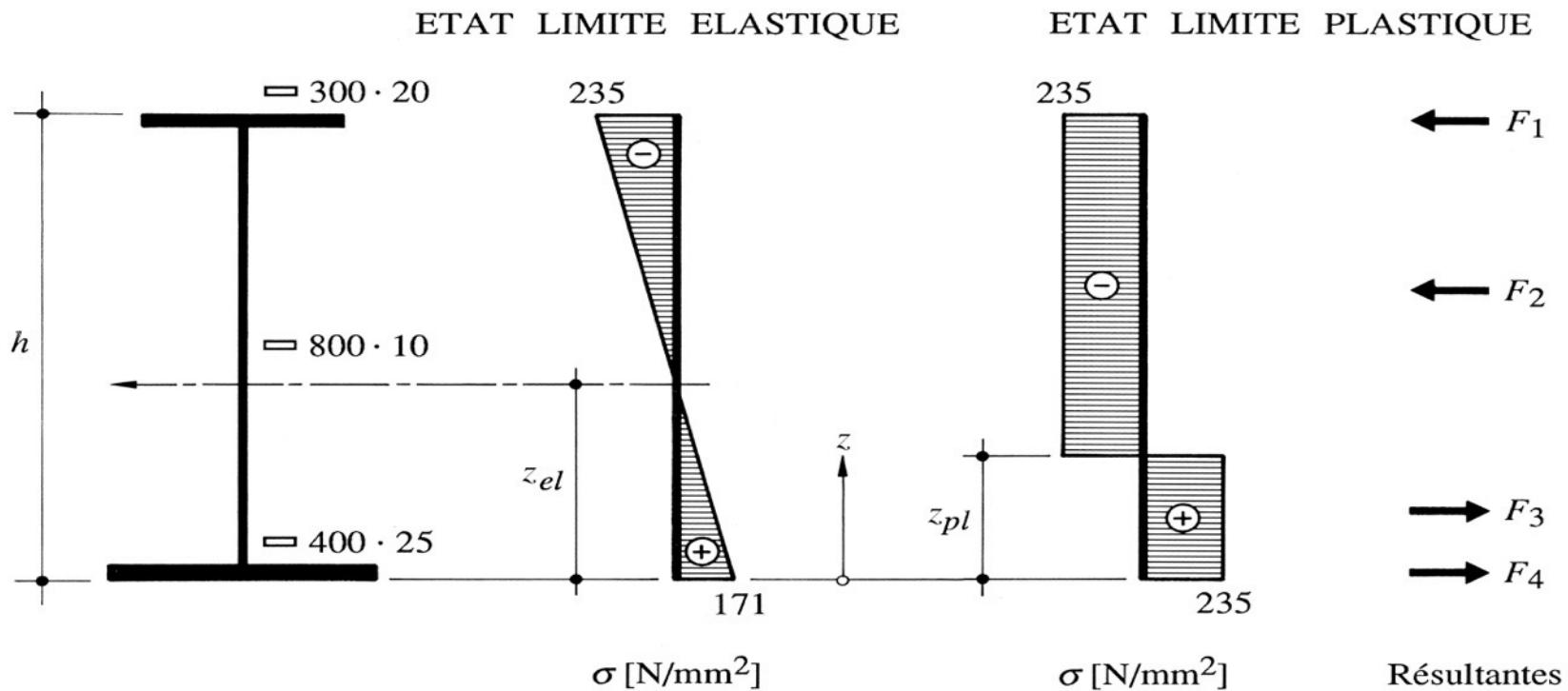


Fig. 4.10: Section hybride

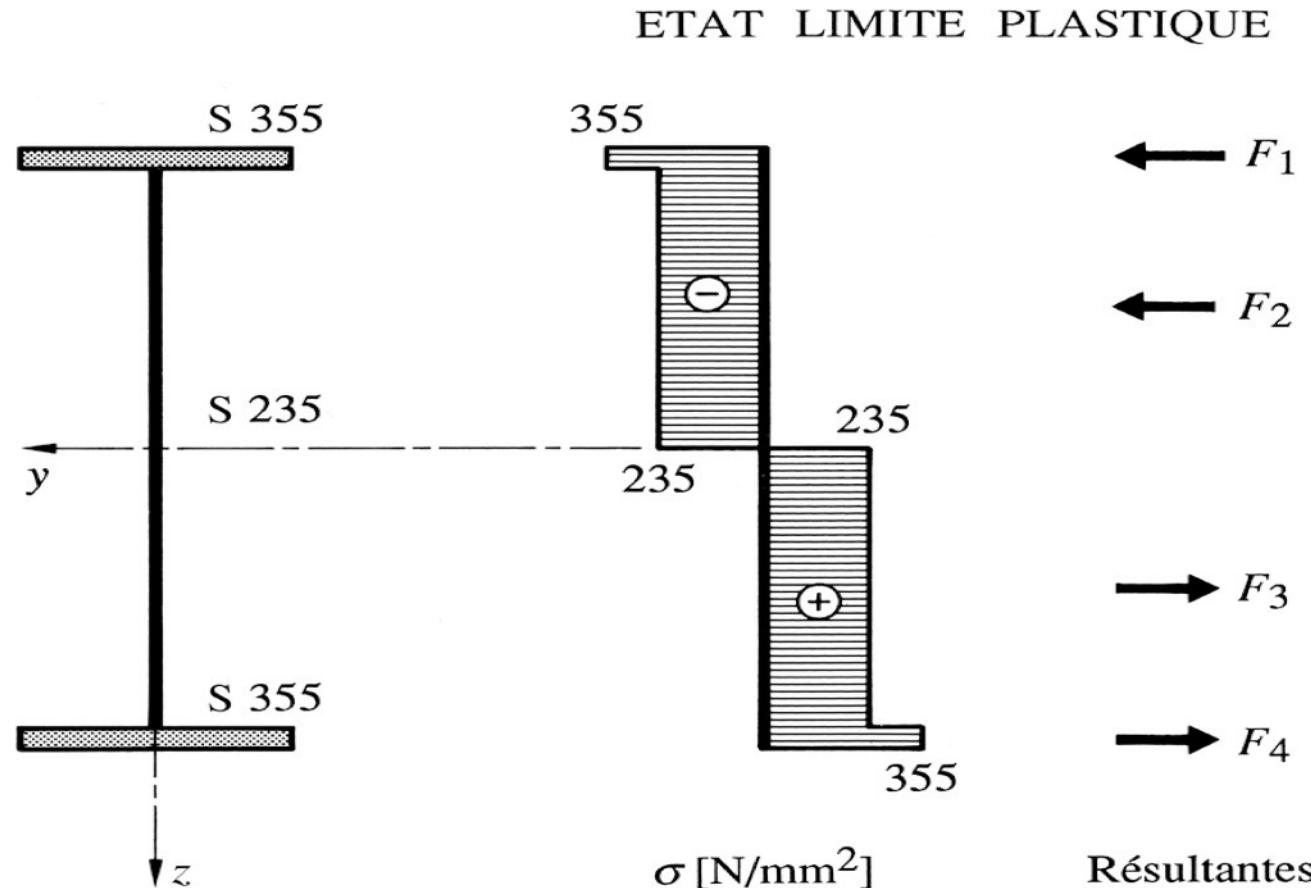
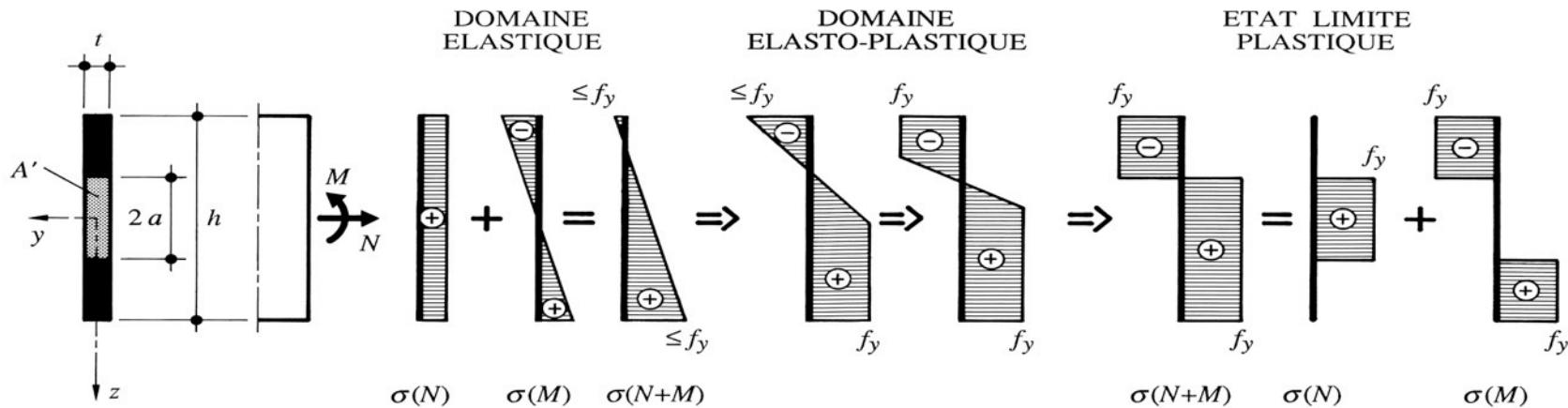


Fig. 4.32: Interaction moment + effort normal

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 $M_{y,Ed} \leq f_y/\gamma_{M1}$

1. Terminologie
2. Principes
3. Matériaux
4. Analyse structurale et dimensionnement \Leftrightarrow Class. sections, méth. vérification, ...
5. Eléments 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:

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

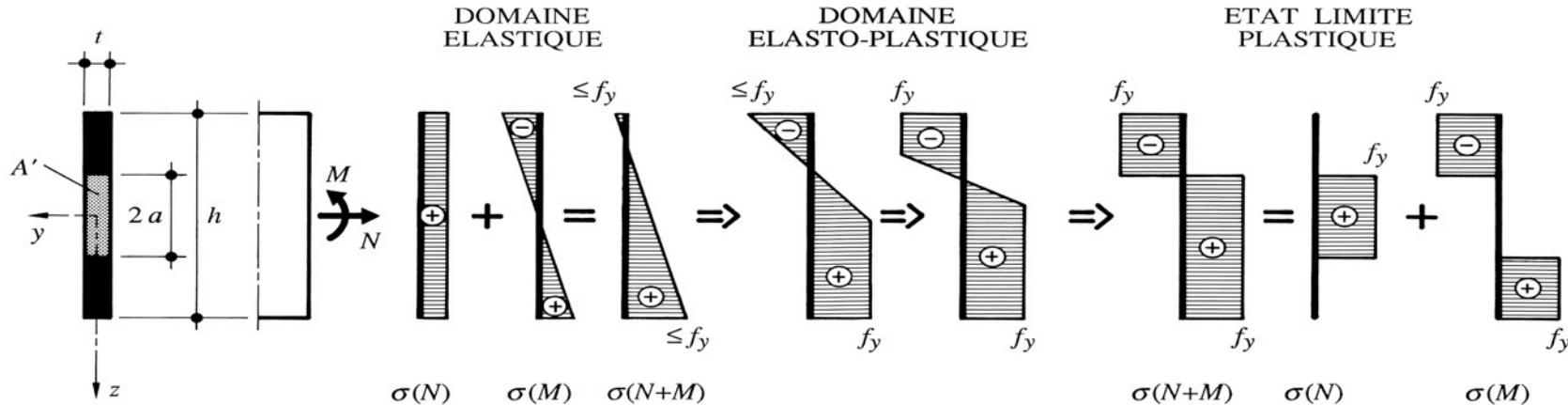
5.2.6 Flexion et effort normal

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:

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

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 :

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

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)

Formulation implicite :

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

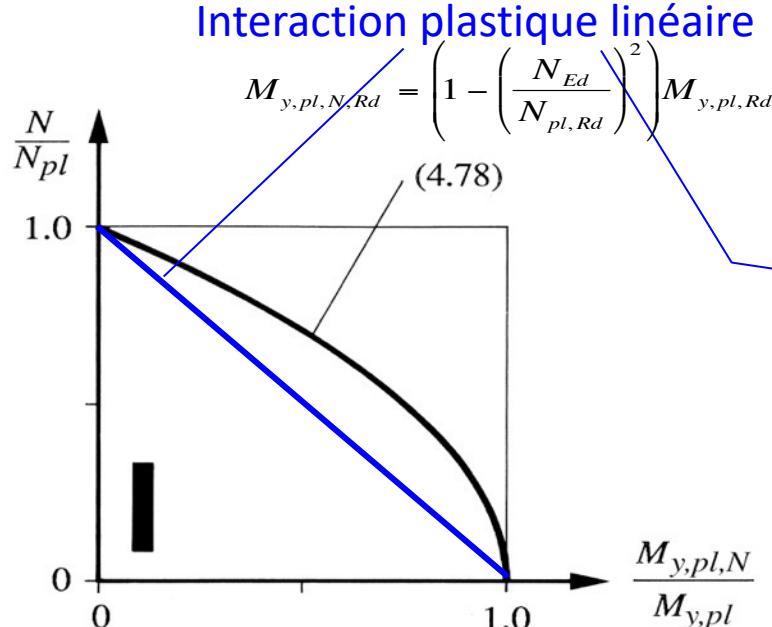
$$M_{y,Ed} \leq \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right) M_{y,Rd} \leq M_{y,Rd}$$

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

Selon axe z, pages suivantes

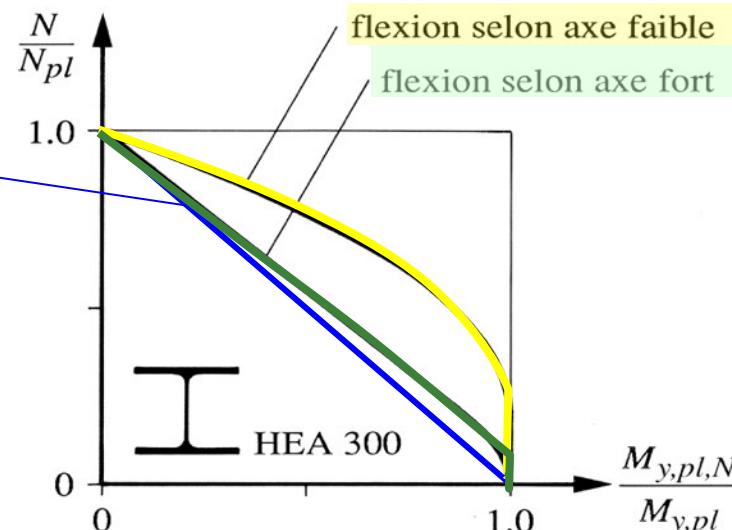
Fig. 4.33: Diagrammes d'interaction M + N

Plusieurs formules applicables en fct: section, axe, conservatisme



(a) Section rectangulaire.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{Ed}}{M_{pl,Rd}} \leq 1.0$$



(b) Profilé en double té.

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: $M_{y,Ed} \leq \frac{M_{y,pl,N}}{\gamma_{M1}} = M_{y,N,Rd}$ (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: $M_{z,Ed} \leq \frac{M_{z,pl,N}}{\gamma_{M1}} = M_{z,N,Rd}$ (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 → N_{Ed} , poutre → 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. $A \geq N_{Ed} \cdot \gamma_M / f_y$
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)																	
IPE	m	$I_y \cdot 10^6$ mm ⁴	Hilfswerte Valeurs auxiliaires	S235				S355				S355					
				N_{Rd}	V_{Rd}	$M_{y,Rd}$	$M_{z,Rd}$	Verfahren Méthode PP	Verfahren Méthode EP	erlaubt für permise avec	n≤ n≤	N_{Rd}	V_{Rd}	$M_{y,Rd}$	$M_{z,Rd}$	Verfahren Méthode PP	Verfahren Méthode EP
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	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	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	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	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	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	0,31	1,0	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	0,28	1,0	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	0,25	1,0	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	0,23	1,0	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	0,20	0,27	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	0,19	0,26	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	0,17	0,24	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	0,16	0,22	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	0,15	0,21	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	0,14	0,21	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	0,13	0,20	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	0,13	0,20	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	0,12	0,19	0,19
750x137	1599	0,49 1,32 54	3907	1200	1089	137,4	0,08	0,15	5903	1813	1645	207,6	N	N	0,05	0,05	
750x147	1661	0,50 1,33 47	4196	1362	1144	141,2	0,16	0,24	6339	2058	1728	213,3	0,05	0,05	0,12	0,12	
750x173	2058	0,48 1,31 60	4954	1505	1392	181,3	0,19	0,28	7483	2273	2102	273,8	0,09	0,09	0,16	0,16	
750x196	2403	0,46 1,30 69	5614	1645	1606	214,6	0,23	0,32	8480	2484	2426	324,2	0,12	0,12	0,19	0,19	
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	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	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	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	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	N	1,0	1,0
200*	42,3	36,9	0,26 1,15 168	1205	234	96,1	45,6	1,0	1,0	1820	353	145,2	68,9	N	N	1,0	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	N	1,0	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	N	1,0	1,0

Fig. 4.11: Résistance élastique à une interaction de moments

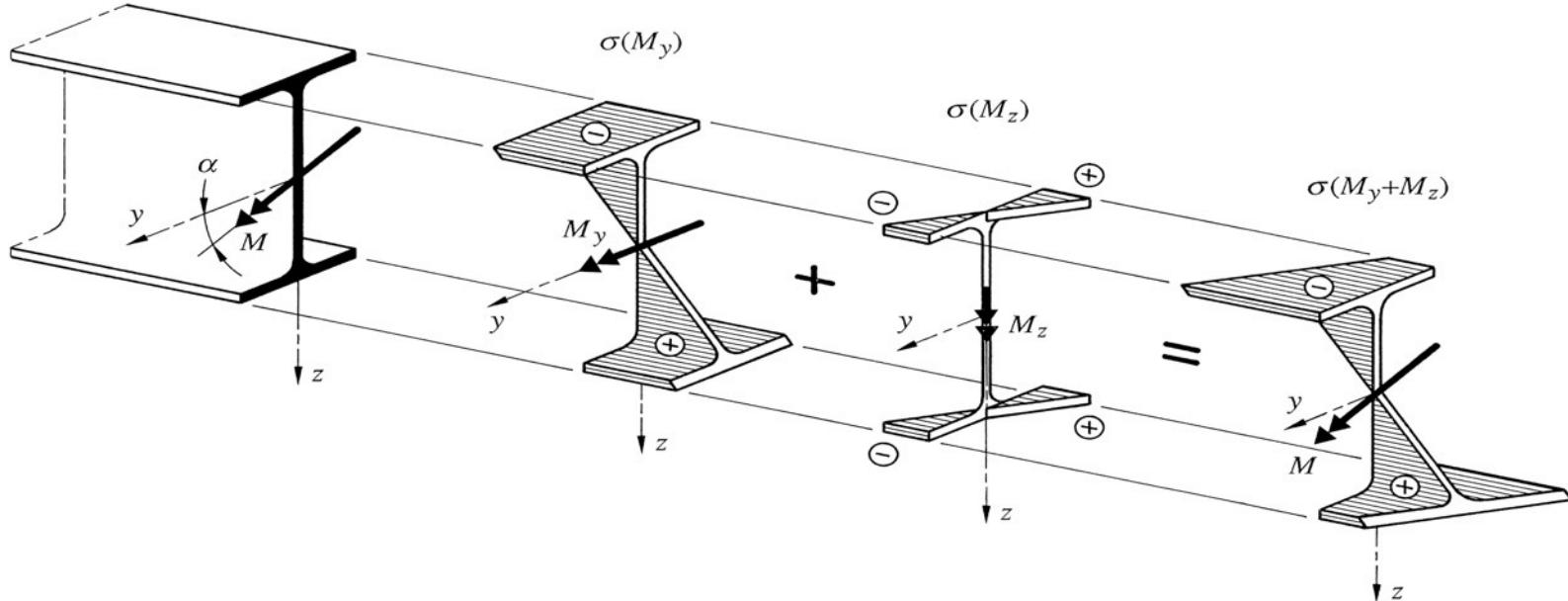


Fig. 4.11: Résistance plastique à une interaction de moments

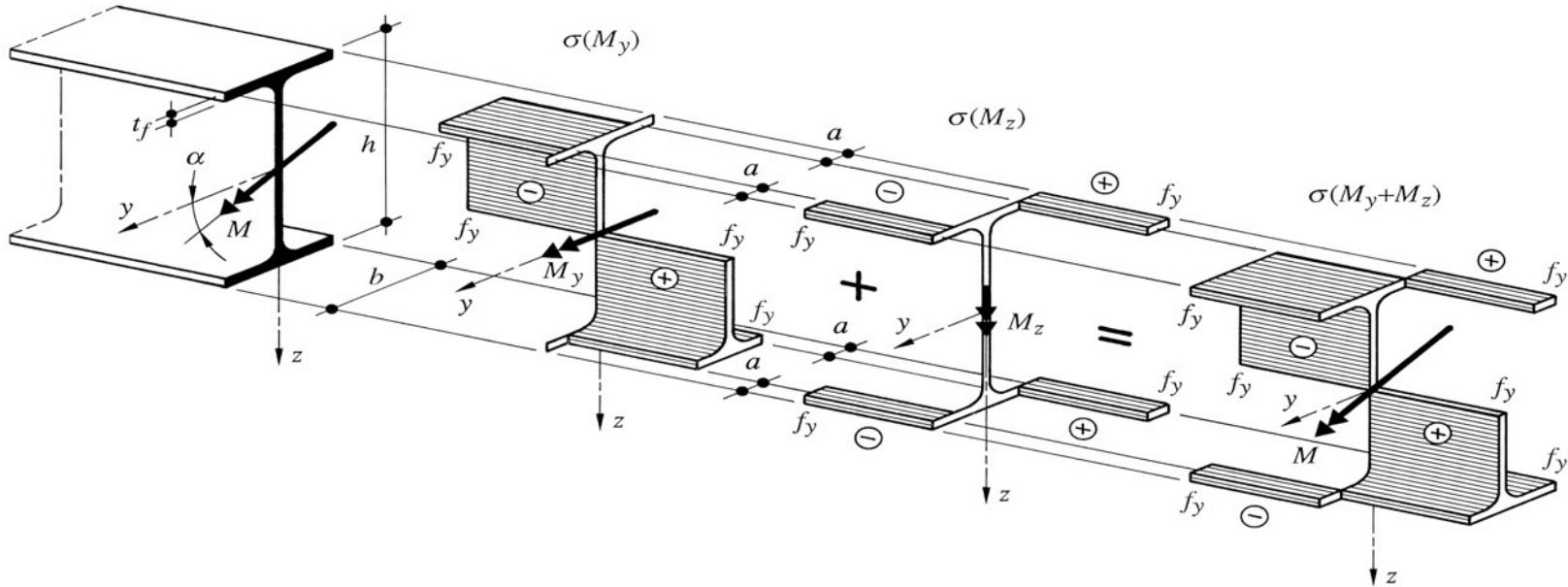
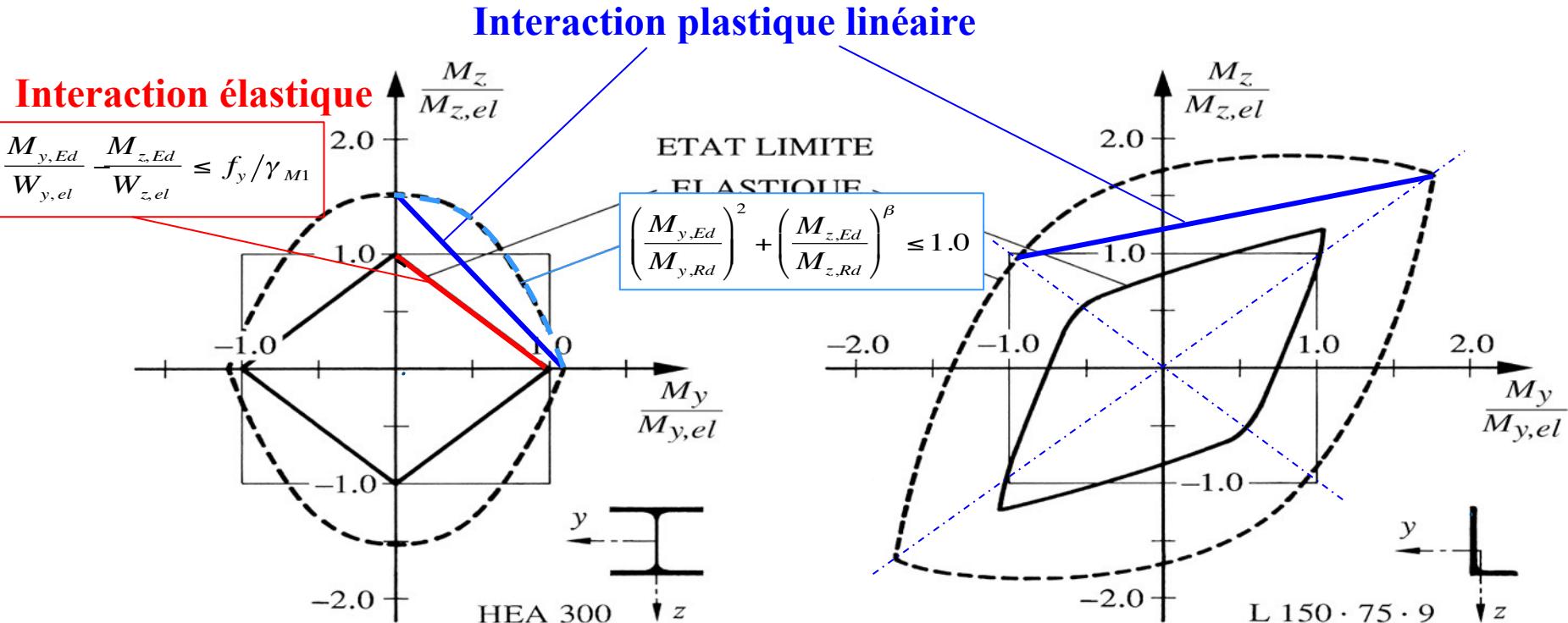
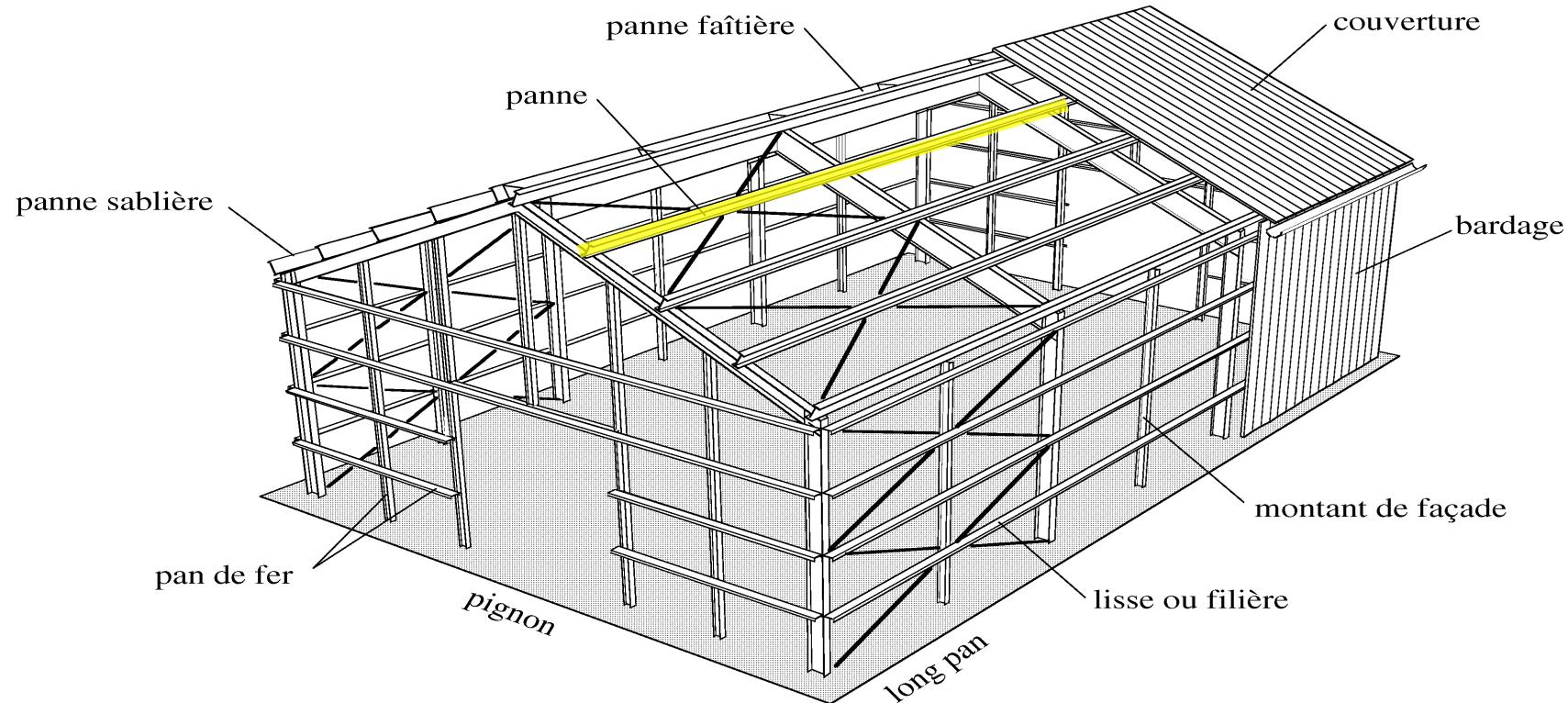


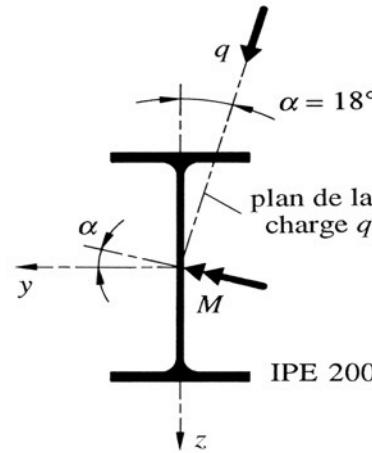
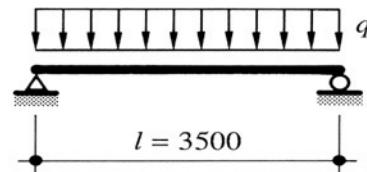
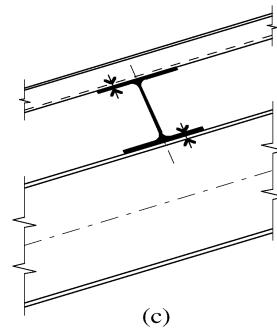
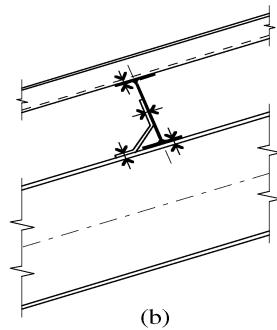
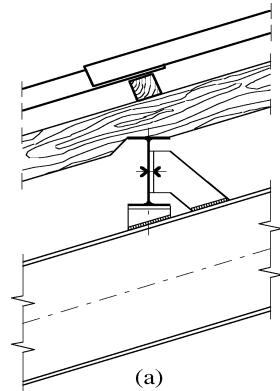
Fig. 4.12: Diagrammes d'interaction My + Mz



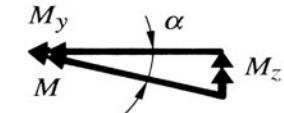
Exemple d'élément en flexion biaxiale: une panne



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

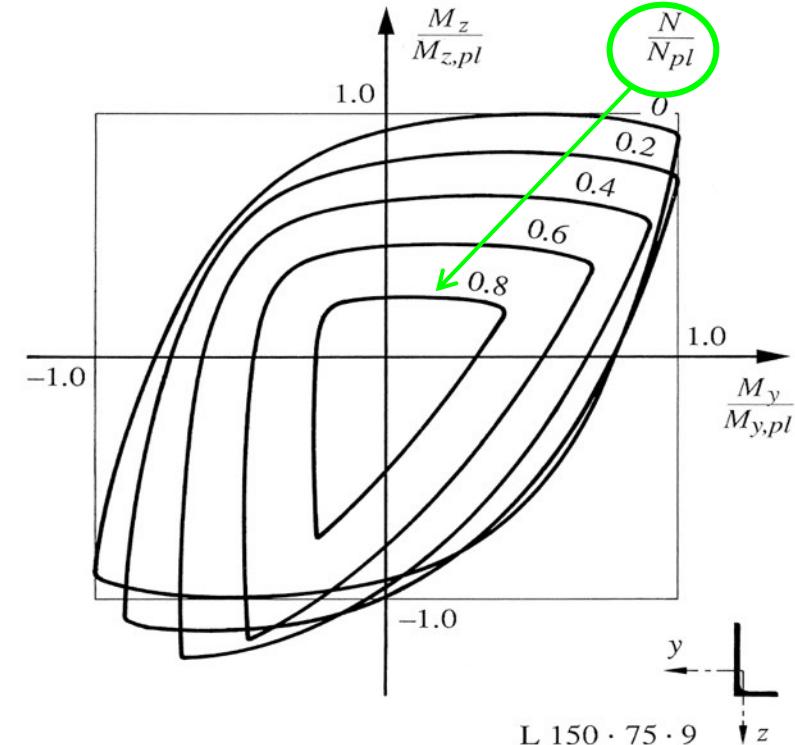
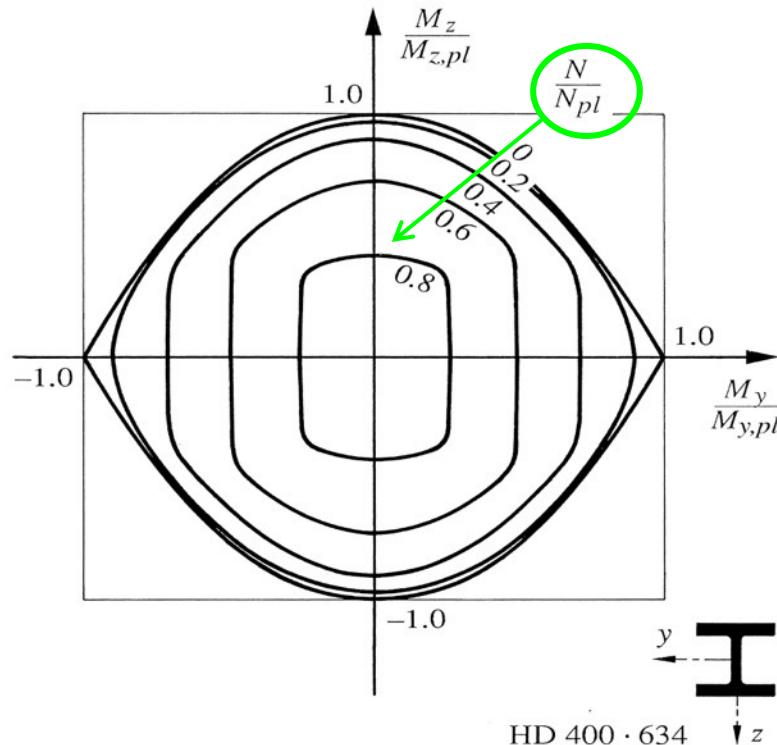


Décomposition
du moment



M : moment de
flexion gauche

Fig. 4.34: Surfaces d'interaction My + Mz + 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:

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:

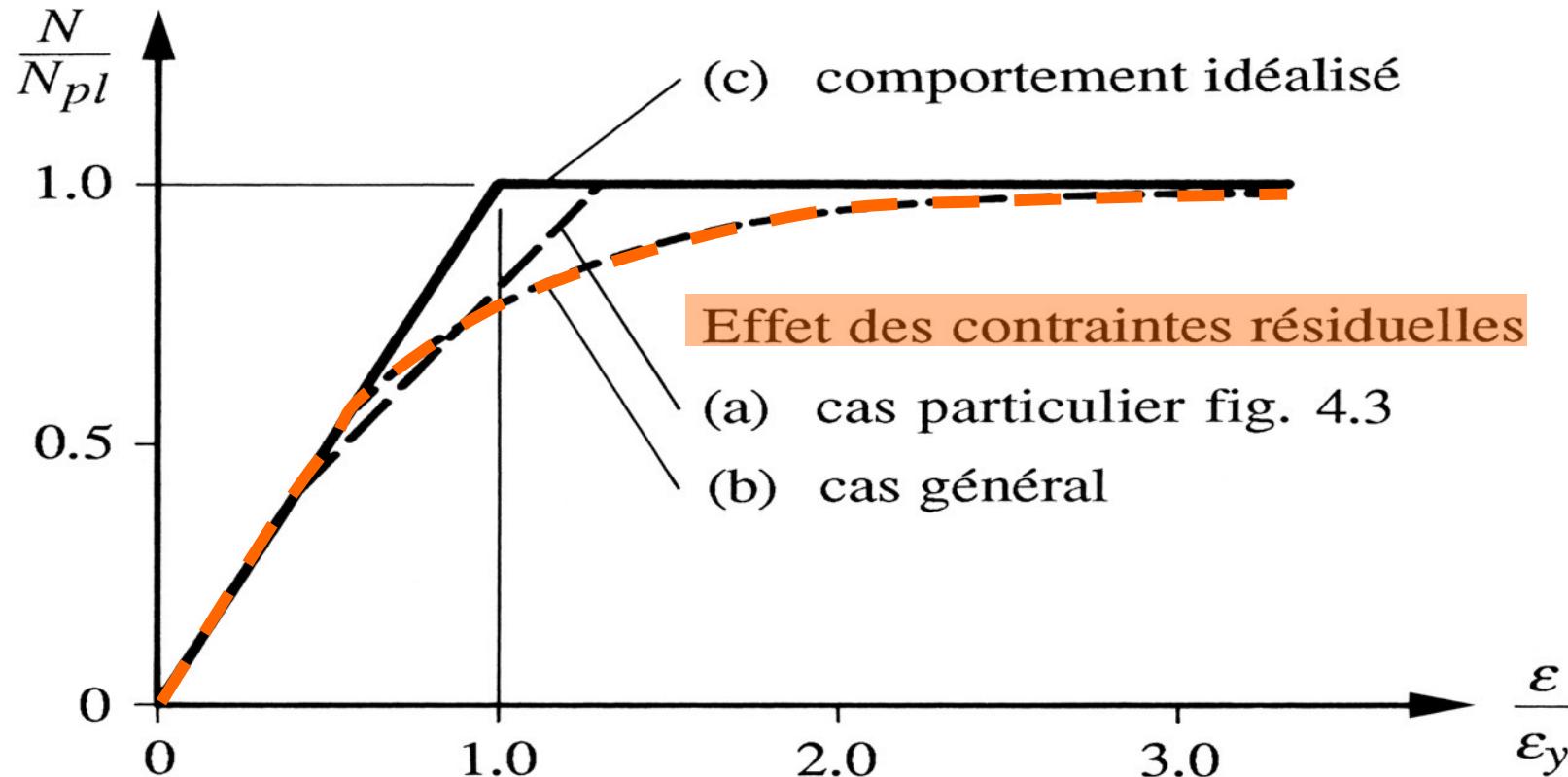
$$\left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,N,Rd}}\right)^\alpha + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,N,Rd}}\right)^\beta \leq 1,0 \quad \text{valable pour } \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} \leq 0,9 \quad (48)$$

où α et β sont des constantes à choisir entre, de manière conservative, la valeur 1,0 et les valeurs suivantes:

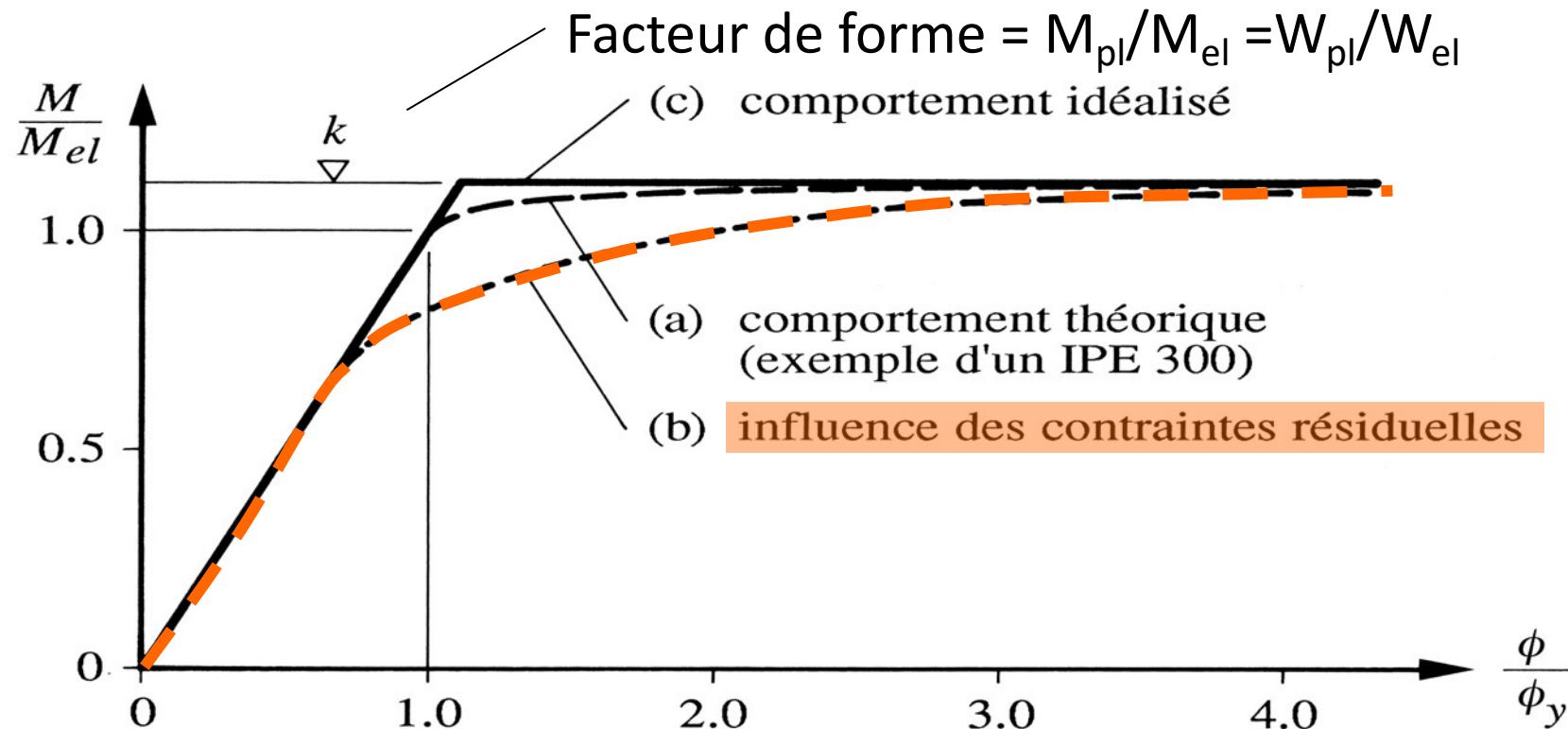
- pour sections en I: $\alpha = 2$ $\beta = 5 \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}$ mais $\beta \geq 1,1$
- pour profilés creux rectangulaires laminés: $\alpha = \beta = \frac{1,66}{1 - 1,33 \left(\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}}\right)^2}$ mais $\alpha = \beta \leq 6$

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



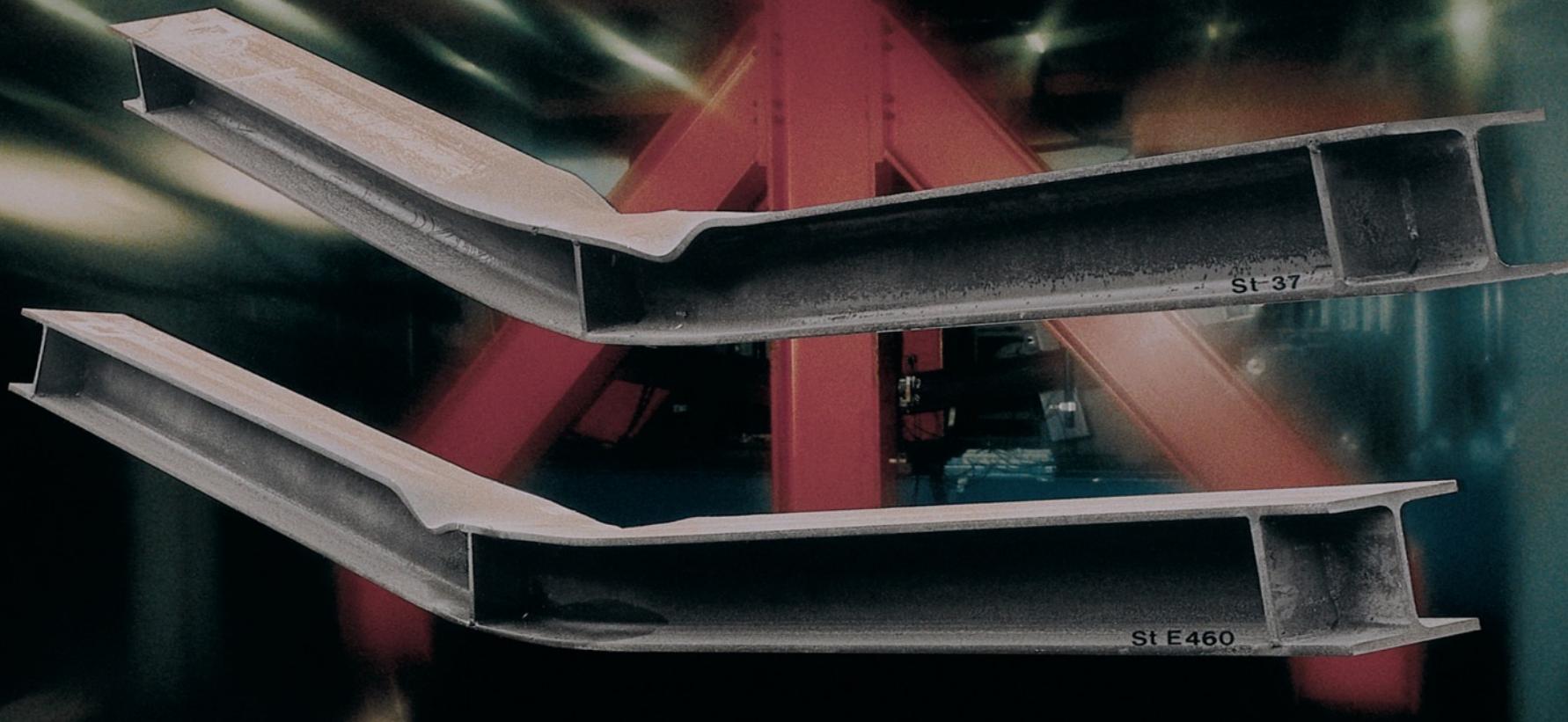


Photo ARBED, Luxembourg

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} , $M_{y,Rd}$, ...)

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

Acier : $\gamma_M = 1,05$

Béton : $\gamma_M = 1,50$

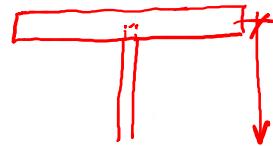
Calcul élastique : $\sigma_{Ed} \leq f_y / \gamma_M \leftrightarrow M_{Ed} \leq f_y \cdot W_e / \gamma_M$

" plastique " : $N_{Ed} \leq N_{Rb} / \gamma_M = f_y \cdot A / \gamma_M$

(en section) $M_{Ed} \leq M_{Rb} / \gamma_M = f_y \cdot W_{pl} / \gamma_M$

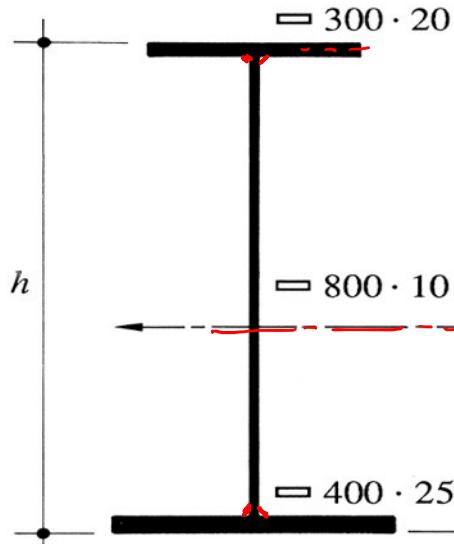
Annexe: Fig. 4.9: Section monosymétrique

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



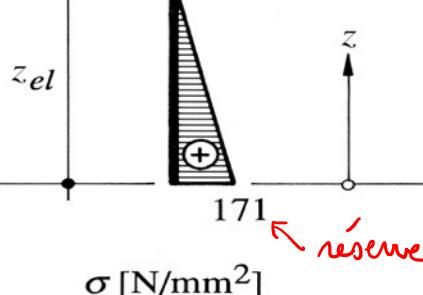
$$M_{el} = W_{y,el} \cdot f_y$$

ETAT LIMITE ELASTIQUE



→ Exemple 4.3

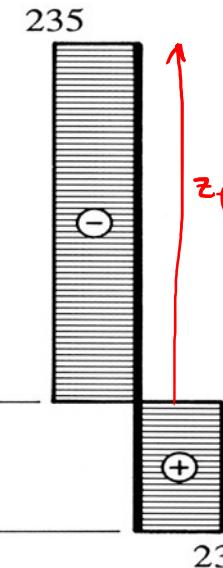
$$235 \quad W_{y,el} = \frac{I_y}{z_{max}}$$



σ [N/mm²]

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

ETAT LIMITE PLASTIQUE



σ [N/mm²]

$$F_1 = f_y \cdot \frac{300}{20}$$

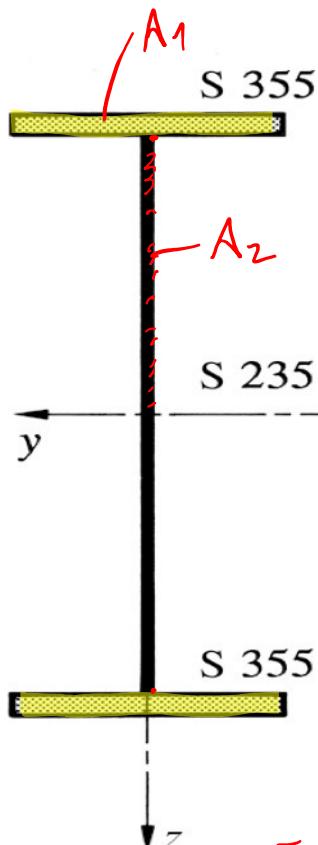
$$F_2$$

$$F_3$$

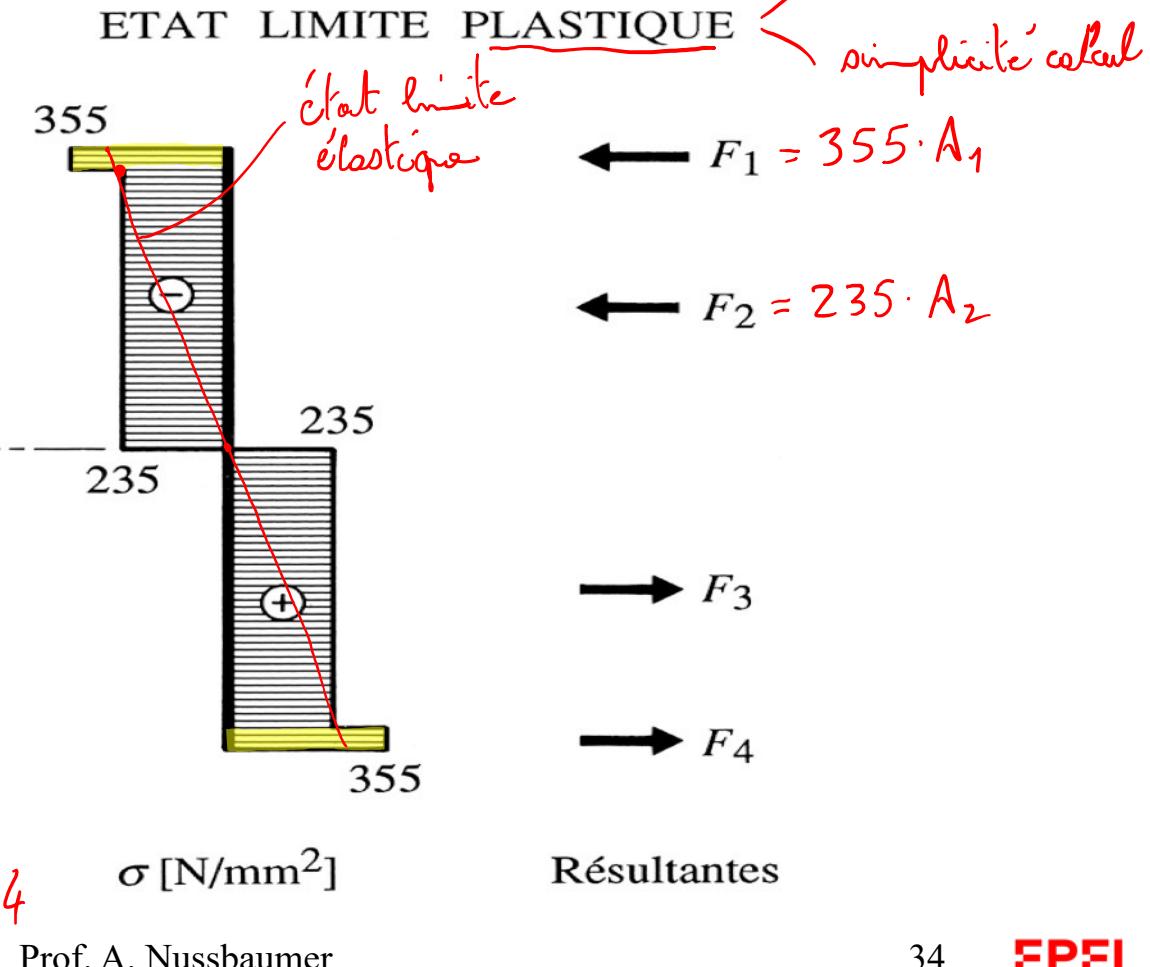
$$F_4$$

Résultantes

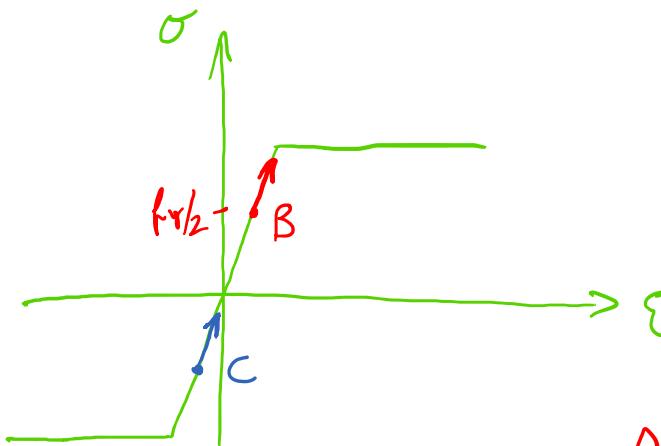
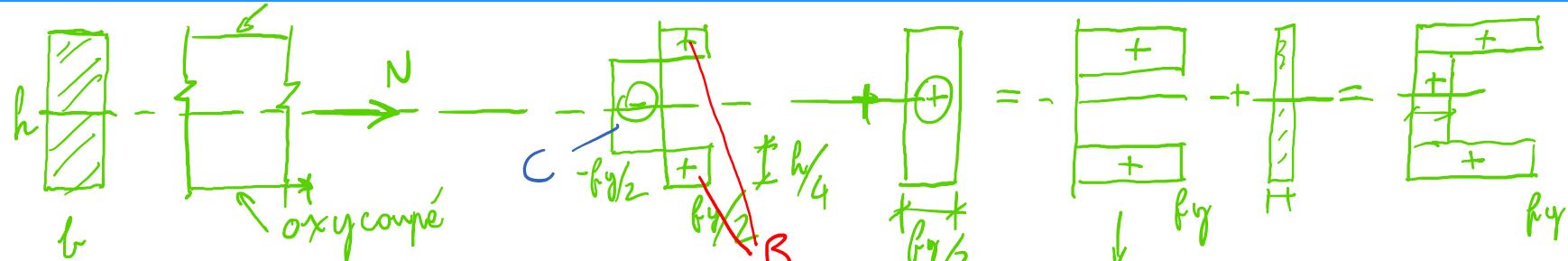
Annexe: Fig. 4.10: Section hybride



→ Exemple 4.4

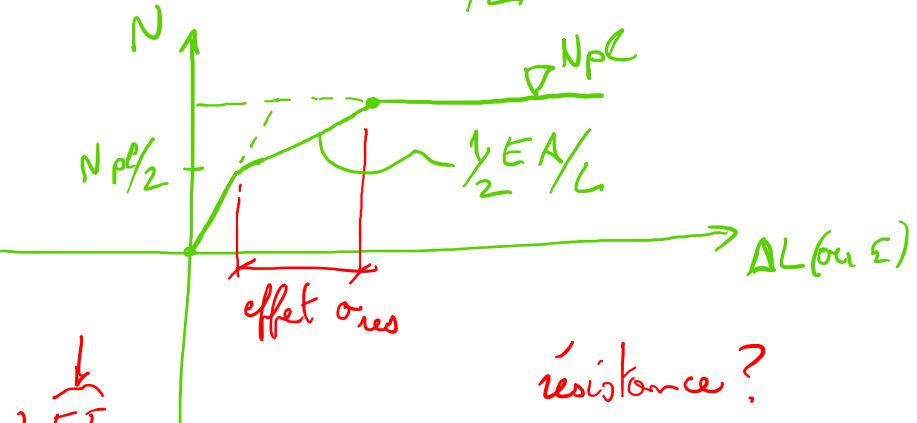


Annexe: Influence des contraintes résid. sur la résistance en section ?



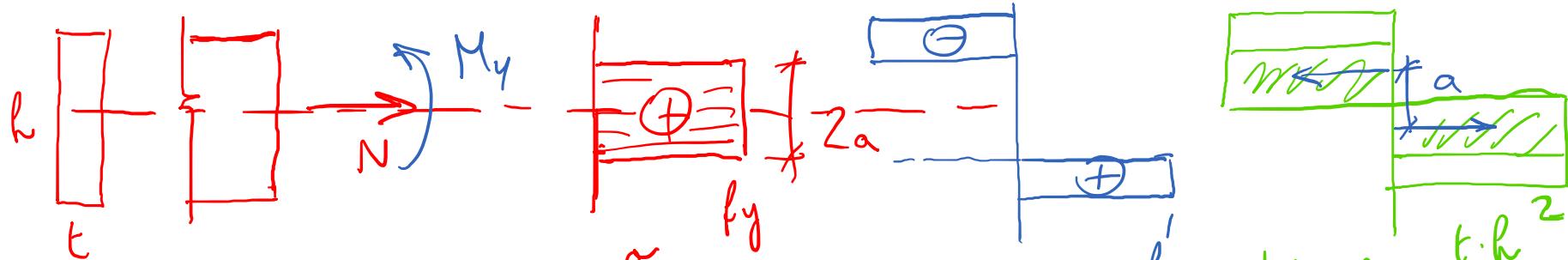
Stabilité ?

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_h^2} \rightarrow \text{OUI}$$



Résistance ?
NON

ANNEXE: Cas section rectangulaire sous N + M



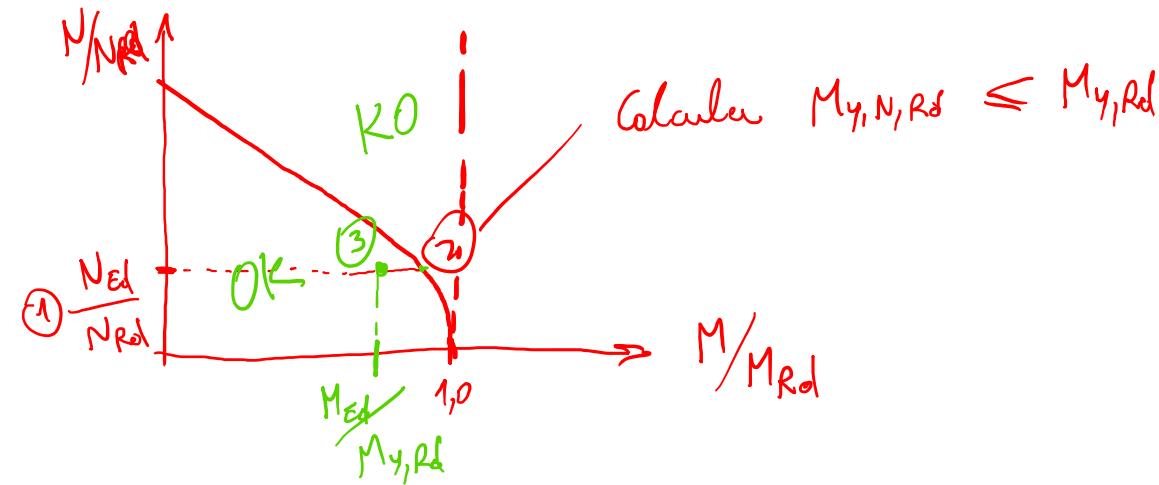
$$1) M_{y,pl,N} = M_{y,pl} - (f_y \cdot a \cdot t) \cdot a$$

$$z) N_{\text{active}} = f_y \cdot 2a \cdot t = N_{Ed} \Rightarrow a = \frac{N_{Ed}}{2f_y \cdot t} = \frac{h}{2} \frac{N_{Ed}}{N_{pl}}$$

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

$$= M_{y,pl} - \underbrace{M_{y,pl}}_4 \left(\frac{N_{ed}}{N_{pl}} \right)^2 = \frac{M_{y,pl}}{\gamma_m} \cdot \left[1 - \left(\frac{N_{ed}}{N_{pl}} \right)^2 \right]$$

Annexe: Explication formule interaction et démarche utilisation



$$\textcircled{3} \quad M_{Ed} \leq M_{y,N,Rd}$$

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

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

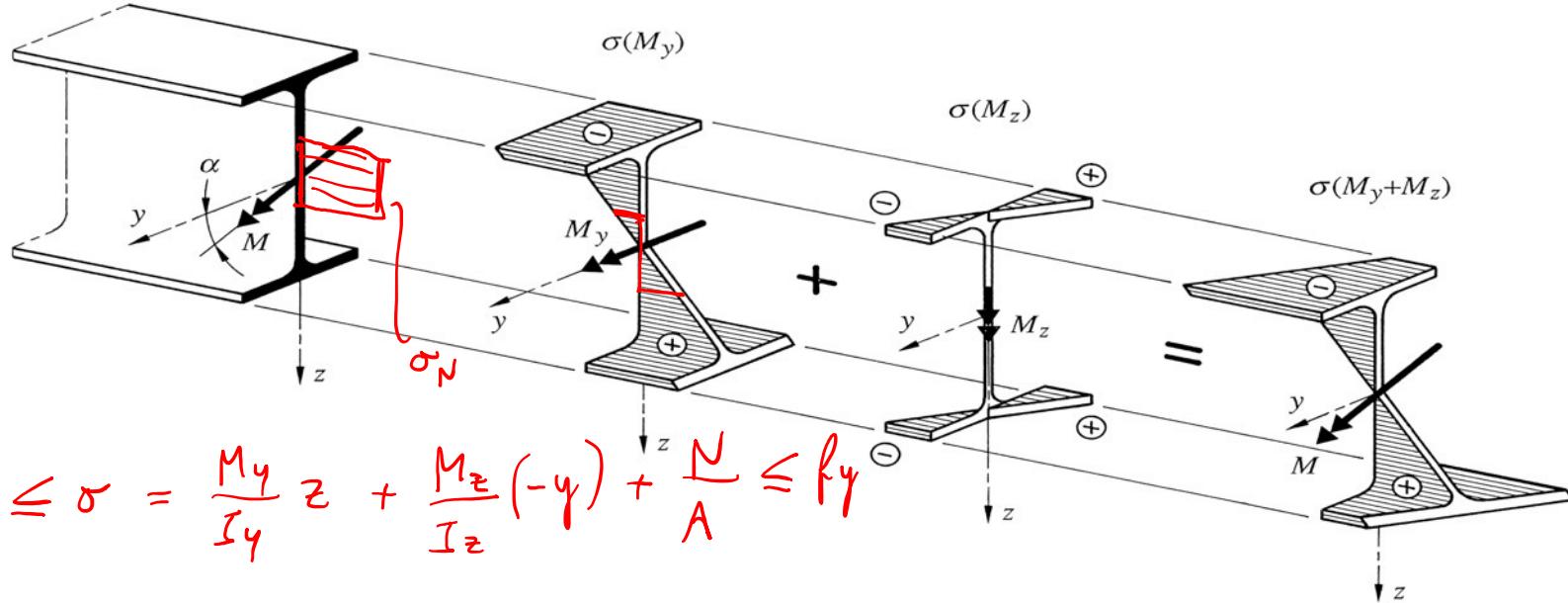
interaction linéaire:

$$\frac{150}{2856} + \frac{400}{441.9} = 0.96 \leq 1$$

OK

		IPE, HEA				Querschnittswiderstände				Résistances des sections							
		Querschnittswiderstände (Bemessungswerte) Résistances des sections (valeurs de calcul)															
IPE	m	$I_y \cdot 10^6$ mm ⁴	a	ξ	a_s	N _{Rd}	V _{Rd}	M _{y,Rd}	M _{z,Rd}	Verfahren PP	Verfahren EP	N _{Rd}	V _{Rd}	M _{y,Rd}	M _{z,Rd}	Verfahren PP	Verfahren EP
		kg/m	mm	mm	mm	kN	kN	kNm	kNm	n≤	n≤	kn	kn	kNm	kNm	n≤	n≤
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
750x137	1599	0,49	1,32	54	3907	1200	1089	137,4	0,08	0,15	5903	1813	1645	207,6	N	0,05	
750x147	1661	0,50	1,33	47	4196	1362	1144	141,2	0,16	0,24	6339	2058	1728	213,3	0,05	0,12	
750x173	2058	0,48	1,31	60	4954	1505	1392	181,3	0,19	0,28	7483	2273	2102	273,8	0,09	0,16	
750x196	2403	0,46	1,30	69	5614	1645	1606	214,6	0,23	0,32	8480	2484	2426	324,2	0,12	0,19	
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	168	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

Annexe: Fig. 4.11: Résistance élastique interaction de moments



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

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