

CHAPITRE III : DEVERSEMENT

Le déversement ou le flambement latéral, est un phénomène d'instabilité élastique (voir Chapitre I, S2). Ce problème touche les poutres fléchies. Il peut être défini comme **étant un déplacement + une rotation (Δ', θ), après flexion dans le plan de faible inertie.**

Cause : la compression excessive dans la partie comprimée de la poutre fait engendrer un flambement de cette partie, ce qui la fait sortir de son plan principale de flexion (**flambement latéral**), tandis que la partie tendue reste dans son plan. Ce qui nous donne la rotation (θ) et le déplacement (Δ') ; c'est le déversement (voir définition et figure 1).

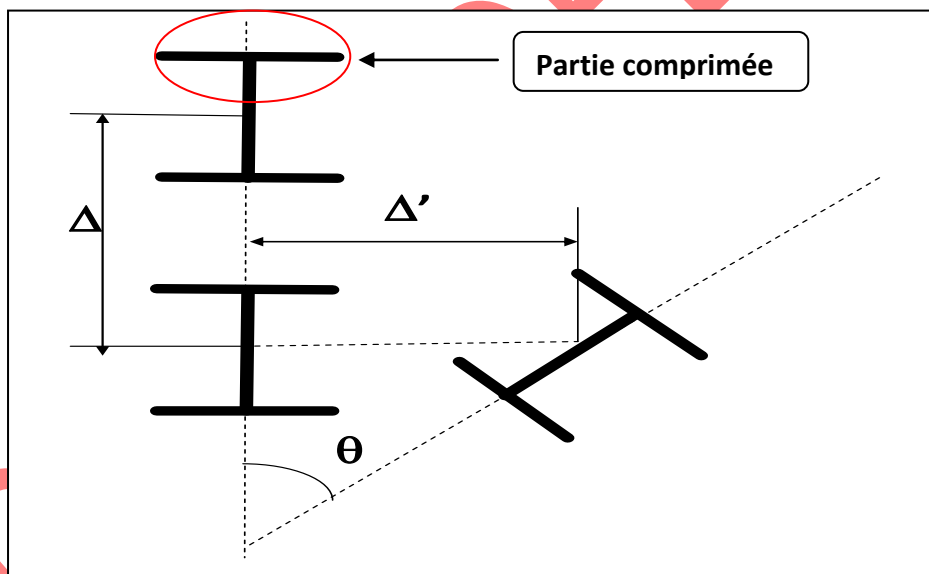


Figure 1 : schéma explicatif du phénomène de déversement

Plusieurs paramètres influent sur ce phénomène, dont on peut citer :

- les dimensions de la section transversale (épaisseur de l'âme et de la semelle, la hauteur, l'inertie...),
- la longueur de la poutre,
- la nature des appuis

➤ et enfin la nature et le niveau d'application des charges.

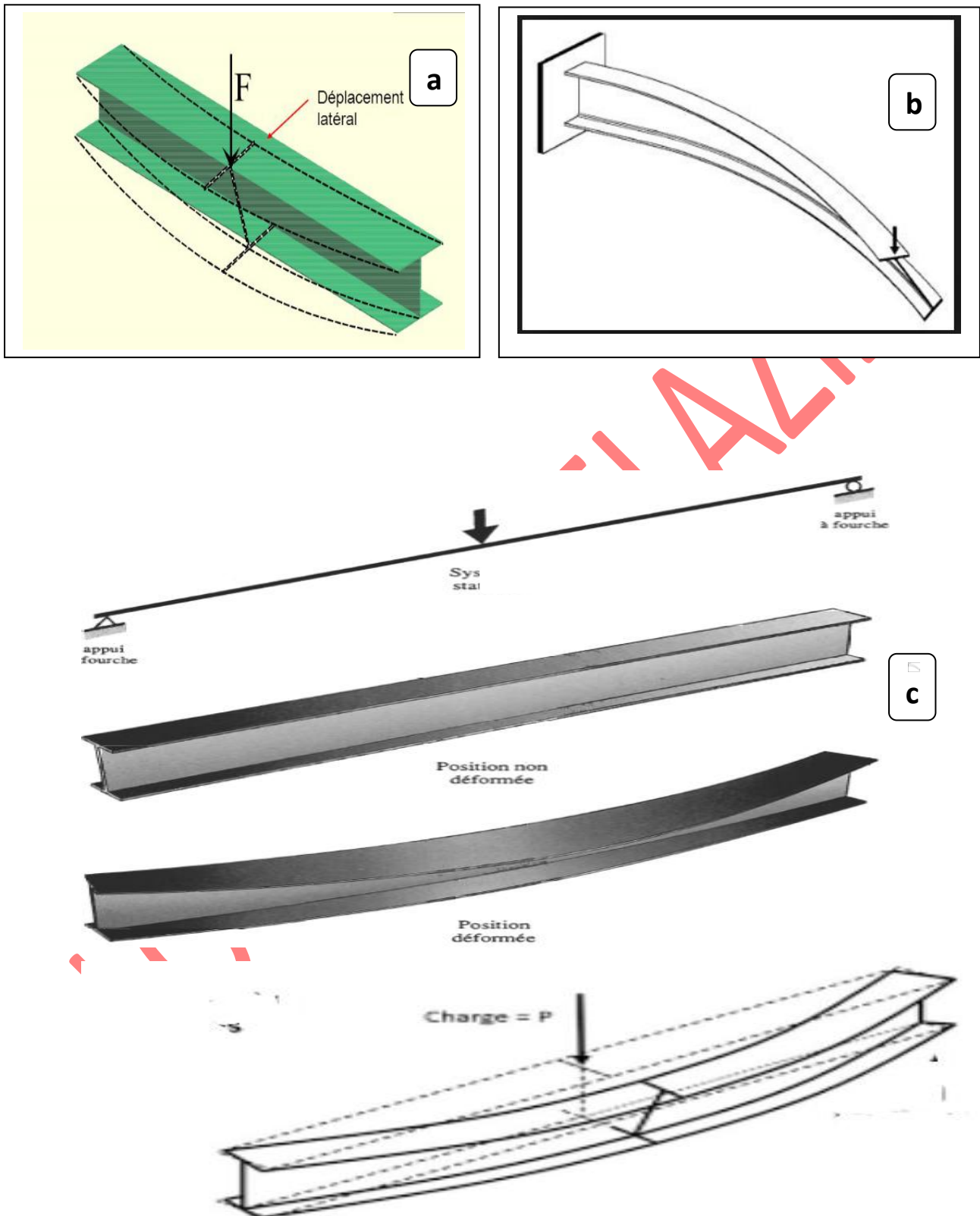


Figure 2 : (a, b, c), phénomènes de déversement sur des poutres fléchies.

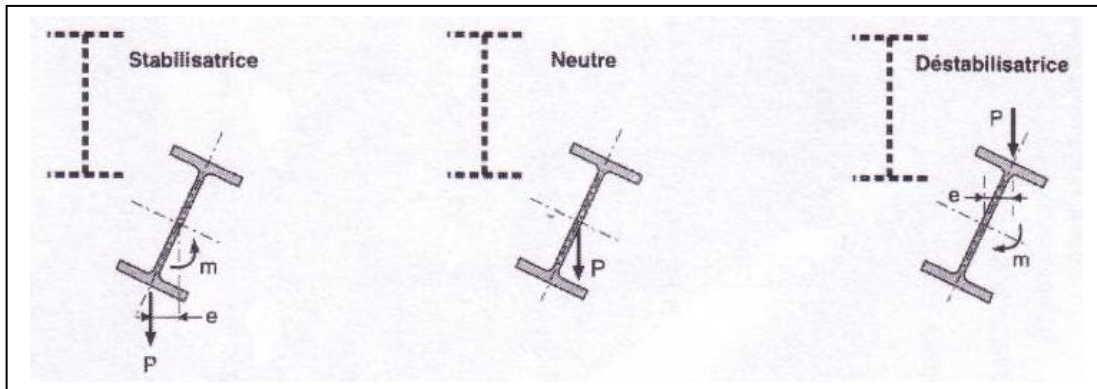


Figure 3 : effet du niveau d'application de la charge (semelle supérieure et semelle inférieure) sur le phénomène de déversement

Calcul et vérification :

La vérification du déversement dans les poutres fléchies se base sur la cause principale de ce problème. **En effet la compression excessive dans la partie comprimée de la poutre fait engendrer un flambement partiel de la semelle comprimée, ce qui fait sortir cette partie de son plan principale de flexion. Et ce qui nous donne le déversement (voir définition et figure 1).**

C'est pour cette raison que le déversement se chevauche avec la compression simple dans l'aspect théorique et réglementaire.

Vérification selon l'Eurocode 3 :

Pour la vérification et le calcul on doit consulter (le chapitre IV ; Semestre 1 ; la flexion simple), où on doit déterminer le moment fléchissant appliqué (M_f).

Le calcul et la vérification se fait comme suit :

Calcul de l'élanement du déversement λ_{LT} :

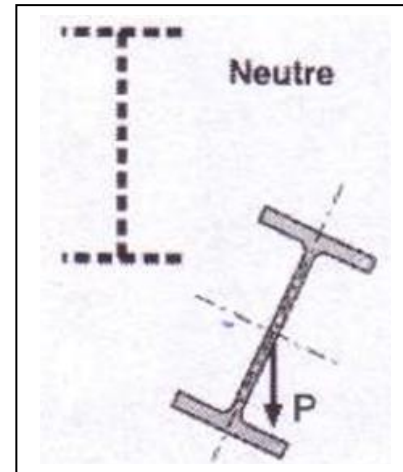
On distingue 2 situations :

SITUATION 1 : charge appliquée au centre de gravité (situation neutre :

Fig3)

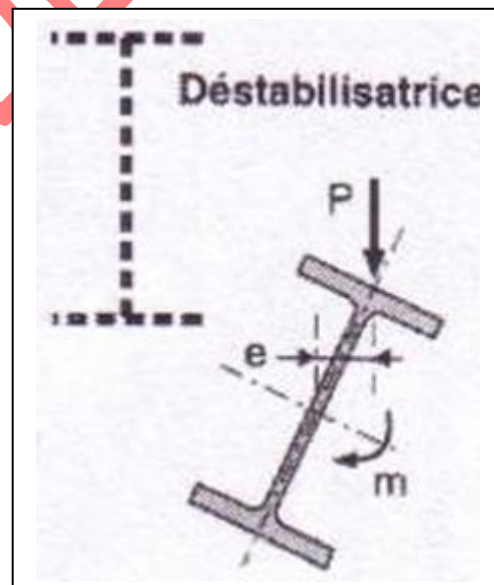
Pour cette situation et pour toute section courante en IPE ou HEA, HEB, HEM à semelles égales, l'approximation ci-après place en sécurité:

$$\lambda_{LT} = \frac{L/i_z}{(C_1)^{0,5} \left[1 + \frac{1}{20} \left[\frac{L/i_z}{h/t_f} \right]^2 \right]^{0,25}}$$



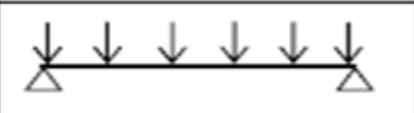

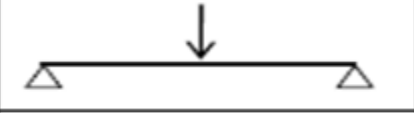
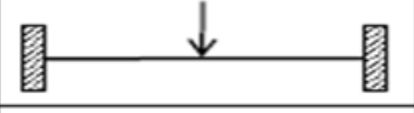
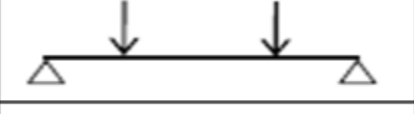
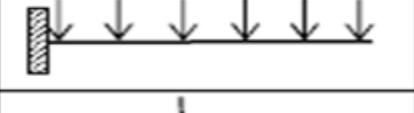
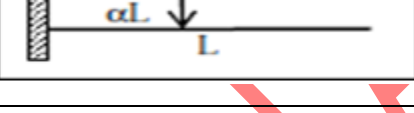
SITUATION 2 : charge appliquée à distance (Z_g) au-dessus ou au-dessous du centre de gravité (situation défavorable ou favorable : Figure.2)

Avec : ($Z_g > 0$) si la charge est au-dessus du centre de gravité et ($Z_g < 0$) si elle est en dessous du centre de gravité. Dans ce cas là on utilise : Avec : $k=k_w=1$ (en général)



$$\lambda_{LT} = \frac{kL/i_z}{(C_1)^{0,5} \left\{ \left[\frac{k}{k_w} \right]^2 + \frac{1}{20} \left[\frac{kL/i_z}{h/t_f} \right]^2 + \left[\frac{2C_2 Z_g}{h_s} \right]^2 \right\}^{0,5} - \frac{2C_2 Z_g}{h_s}}$$

Tableau donnant les valeurs des coefficients C1 et C2 selon l'état et le niveau d'application de la charge

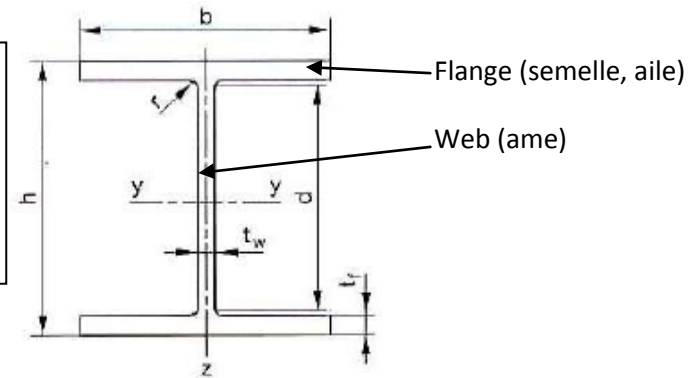
Etat de charge	Coefficient C ₁	Coefficient C ₂
	1,13	0,46
	1,28	1,56
	1,36	0,55
	1,56	1,27
	1,05	0,43
	2,05	0,83
	1,28/alpha	0,43

Calcul de l'élanement réduit $\bar{\lambda}_{LT}$:

- $\bar{\lambda}_{LT} = \lambda_{LT} / \lambda_l$ avec $\lambda_l = 93,9$ si $f_y = 235 \text{ MPa}$
- Et $\lambda_l = 93,9 * (235 / f_y)^{0,5}$ si $f_y = 275 \text{ MPa}$ ou 355 MPa
(Aciers de nuances S275 ou S355)

CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES SECTIONS USUELLES

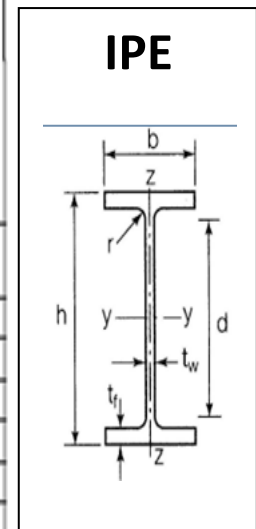
Les caractéristiques géométriques des sections usuelles (IPE, HEA, UPN, UAP) sont récapitulées dans les tableaux suivants :



Poutrelles HEA (HEA 100 à 600)

	Dimensions						Masse par mètre P kg/m	Aire de la section Aire de cm ²	Surface de peinture m ² /m m ² /t	Caractéristiques de calcul										
	h mm	b mm	t _w mm	t _f mm	r mm	d mm				I _y cm ⁴	W _{el,y} cm ³	i _y cm	W _{pl,y} cm ³	A _{vz} cm ²	I _z cm ⁴	W _{el,z} cm ³	i _z cm	W _{pl,z} cm ³	A _{vy} cm ²	
HEA 100	96	100	5.0	8.0	12	56	16.7	21.2	0.561	33.68	349.2	72.8	4.06	83.0	7.6	133.8	26.8	2.51	41.1	16.9
HEA 120	114	120	5.0	8.0	12	74	19.9	25.3	0.677	34.06	606.2	106.3	4.89	119.5	8.5	230.9	38.5	3.02	58.9	20.1
HEA 140	133	140	5.5	8.5	12	92	24.7	31.4	0.794	32.21	1033.1	155.4	5.73	173.5	10.1	389.3	55.6	3.52	84.8	24.8
HEA 160	152	160	6.0	9.0	15	104	33.4	38.8	0.906	29.78	1673.0	220.1	6.57	245.1	13.2	615.5	76.9	3.98	117.6	30.1
HEA 180	171	180	6.0	9.5	15	122	35.5	45.3	1.024	28.83	2510.3	293.6	7.45	324.9	14.5	924.6	102.7	4.52	156.5	35.5
HEA 200	190	200	6.5	10.0	18	134	42.3	53.8	1.136	26.89	3692.2	388.6	8.28	429.5	18.1	1335.6	133.6	4.98	203.8	41.6
HEA 220	210	220	7.0	11.0	18	152	50.5	64.5	1.255	24.85	5409.7	515.2	9.17	568.5	20.7	1954.5	177.7	5.51	270.6	50.2
HEA 240	230	240	7.5	12.0	21	164	60.3	76.8	1.369	22.70	7763.2	675.1	10.05	744.6	25.2	2768.9	230.7	6.00	351.7	59.7
HEA 260	250	260	7.5	12.5	24	177	68.2	86.8	1.484	21.77	10455	836.4	10.97	919.8	28.8	3668.2	282.6	6.50	430.2	67.4
HEA 280	270	280	8.0	13.0	24	196	76.4	97.3	1.603	20.99	13673	1012.8	11.86	1112.2	31.7	4763.0	340.2	7.00	518.1	75.4
HEA 300	290	300	8.5	14.0	27	208	88.3	112.5	1.717	19.43	18263	1259.6	12.74	1383.3	37.3	6310.5	420.7	7.49	641.2	87.0
HEA 320	310	300	9.0	15.5	27	225	96.6	124.4	1.756	17.98	22928	1479.3	13.58	1628.1	41.1	6985.8	465.7	7.49	709.7	96.2
HEA 340	330	300	9.5	16.5	27	243	104.8	133.5	1.795	17.13	27693	1678.4	14.40	1850.5	45.0	7436.3	495.8	7.46	755.9	102.5
HEA 360	350	300	10.0	17.5	27	261	112.1	142.8	1.834	16.36	33090	1890.8	15.22	2088.5	49.0	7886.8	525.8	7.43	802.3	108.7
HEA 400	390	300	11.0	19.0	27	298	124.8	159.0	1.912	15.32	45069	2311.3	16.84	2561.8	57.3	8563.1	570.9	7.34	872.9	118.2
HEA 450	440	300	11.5	21.0	27	344	139.8	178.0	2.011	14.39	63722	2896.4	18.92	3215.9	65.8	9464.2	630.9	7.29	965.1	130.4
HEA 500	490	300	12.0	23.0	27	390	155.1	197.5	2.110	13.60	86975	3550.0	20.98	3948.9	74.7	10365.6	91.0	7.24	1058.5	142.7
HEA 550	540	300	12.5	24.0	27	438	166.2	211.8	2.209	13.29	111932	4145.6	22.99	4321.8	83.7	10817.2	721.1	7.15	1106.9	148.6
HEA 600	590	300	13.0	25.0	27	486	177.8	226.5	2.308	12.98	141208	4786.7	24.97	5350.4	93.2	11269.1	751.3	7.05	1155.7	155.2

Profil	h	b	t _w	t _r	r	Masse par mètre P	Aire de la section A	Moment quadratique I _y	Module de résistance élastique à la flexion W _{el.y}	Rayon de giration i _y	2×S _y	A _{vz}	I _z	W _{el.z}	i _z	2×S _z	A _{vy}
											Module plastique W _{pl.y}					Module plastique W _{pl.z}	
	mm	mm	mm	mm	m/m	kg/m	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ²
80	80	46	3,8	5,2	5	6,0	7,64	80,1	20,0	3,24	23,2	3,6	8,48	3,69	1,05	5,8	5,1
100	100	55	4,1	5,7	7	8,1	10,3	171,0	34,2	4,07	39,4	5,1	15,91	5,78	1,24	9,1	6,7
120	120	64	4,4	6,3	7	10,4	13,2	317,8	53,0	4,90	60,7	6,3	27,65	8,64	1,45	13,6	8,6
140	140	73	4,7	6,9	7	12,9	16,4	541,2	77,3	5,74	88,3	7,6	44,90	12,30	1,65	19,2	10,6
160	160	82	5,0	7,4	9	15,8	20,1	869,3	108,7	6,58	123,9	9,7	68,28	16,65	1,84	26,1	12,8
180	180	91	5,3	8,0	9	18,8	23,9	1 317,0	146,3	7,42	166,4	11,3	10,81	22,16	2,05	34,6	15,3
200	200	100	5,6	8,5	12	22,4	28,5	1 943,2	194,3	8,26	220,6	14,0	142,31	28,46	2,24	44,6	18
220	220	110	5,9	9,2	12	26,2	33,4	2 771,8	252,0	9,11	285,4	15,9	204,81	37,24	2,48	58,1	21,3
240	240	120	6,2	9,8	15	30,7	39,1	3 891,6	324,3	9,97	366,6	19,1	283,58	47,26	2,69	73,9	14,8
270	270	135	6,6	10,2	15	36,1	45,9	5 789,8	428,9	11,23	484,0	22,1	419,77	62,19	3,02	97,0	29
300	300	150	7,1	10,7	15	42,2	53,8	8 356,1	557,1	12,46	628,4	25,7	603,62	80,48	3,35	125,2	33,7
330	330	160	7,5	11,5	18	49,1	62,6	11 766,9	713,1	13,71	804,3	30,8	788,00	98,50	3,55	153,7	38,7
360	360	170	8,0	12,7	18	57,1	72,7	16 265,6	903,6	14,95	1 019,1	35,1	1 043,20	122,73	3,79	191,1	45,3
400	400	180	8,6	13,5	21	66,3	84,5	23 128,4	1 156,4	16,55	1 307,1	42,7	1 317,58	146,40	3,95	229,0	51,1
450	450	190	9,4	14,6	21	77,6	98,8	33 742,9	1 499,7	18,48	1 701,8	50,8	1 675,35	176,35	4,12	276,4	58,3
500	500	200	10,2	16,0	21	90,7	116	48 198,5	1 927,9	20,43	2 194,1	59,9	2 140,90	214,09	4,30	335,9	67,2
550	550	210	11,1	17,2	24	106	134	67 116,5	2 440,6	22,35	1 390	72,3	2 666,49	253,95	4,45	400,5	76,1
600	600	220	12,0	19,0	24	122	156	92 083,5	3 069,4	24,30	1 760	83,8	3 385,78	307,80	4,66	485,6	87,9



Détermination du coefficient de réduction de déversement χ_{LT}

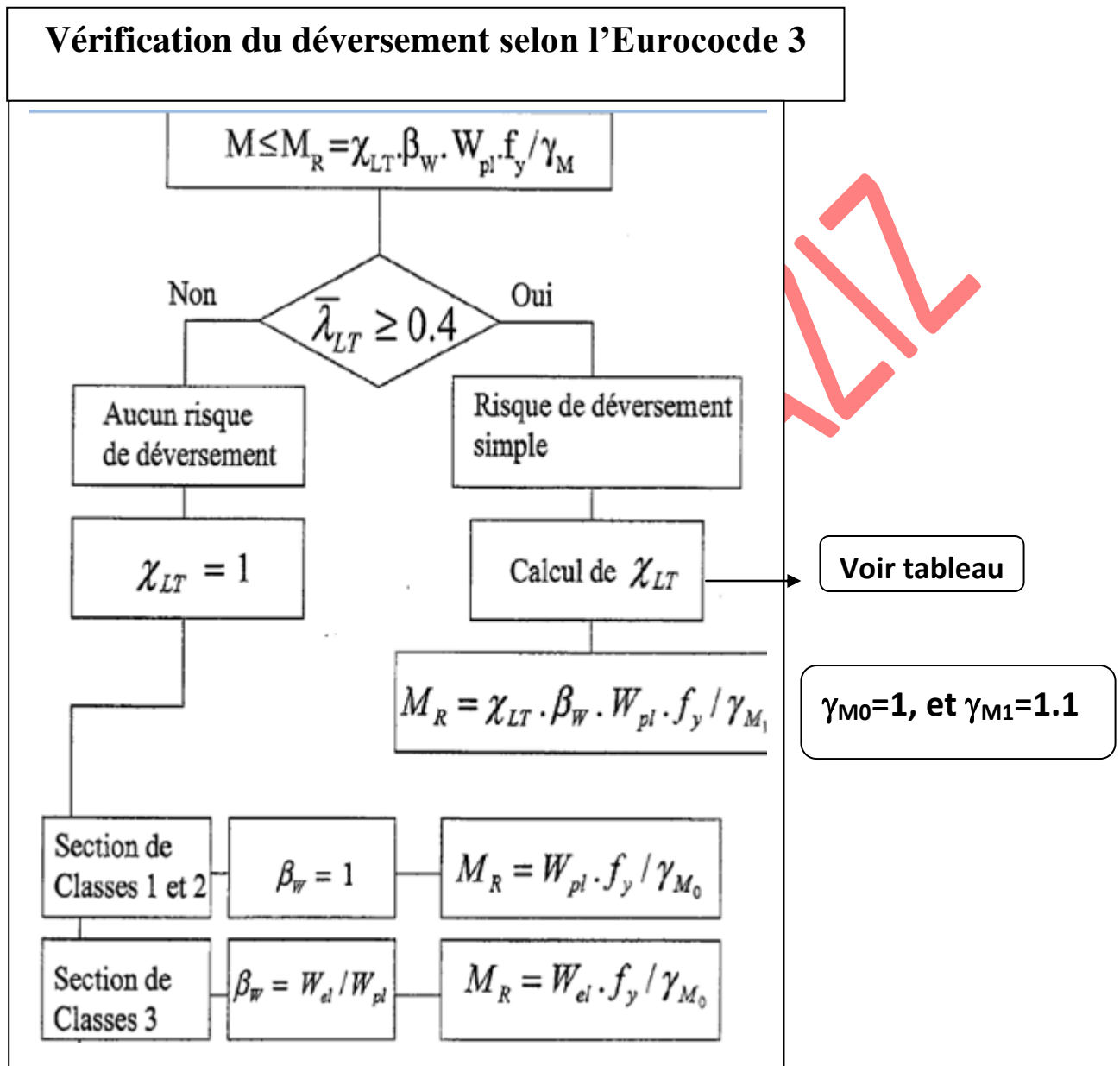
Après avoir calculé $\bar{\lambda}_{LT}$, les valeurs du coefficient χ_{LT} peuvent être obtenues à partir du tableau des coefficients de réduction de flambement (compression simple) en faisant :

$$\bar{\lambda} = \bar{\lambda}_{LT} \text{ et } \chi = \chi_{LT}$$

- pour les profilés laminés (IPE et HEA) on utilise la courbe (a).
- pour les profilés reconstitués soudés (PRS) on utilise la courbe (c).

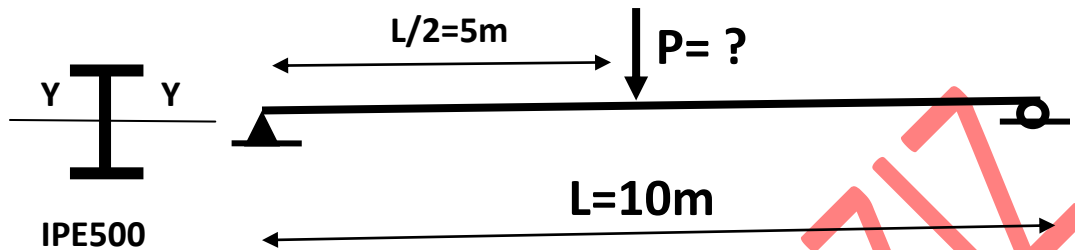
$\bar{\lambda}_{LT}$	Valeur du coefficient réduction du déversement			
	IPE et HEA	(χ_{LT})	PRS	
	a		c	
0,2	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
0,3	0,9775	0,9641	0,9491	0,9235
0,4	0,9528	0,9261	0,8973	0,8504
0,5	0,9243	0,8842	0,8430	0,7793
0,6	0,8900	0,8371	0,7854	0,7100
0,7	0,8477	0,7837	0,7247	0,6431
0,8	0,7957	0,7245	0,6622	0,5797
0,9	0,7339	0,6612	0,5998	0,5208
1,0	0,6656	0,5970	0,5399	0,4671
1,1	0,5960	0,5352	0,4842	0,4189
1,2	0,5300	0,4781	0,4338	0,3762
1,3	0,4703	0,4269	0,3888	0,3385
1,4	0,4179	0,3817	0,3492	0,3055
1,5	0,3724	0,3422	0,3145	0,2766
1,6	0,3332	0,3079	0,2842	0,2512
1,7	0,2994	0,2771	0,2577	0,2389
1,8	0,2702	0,2521	0,2345	0,2093
1,9	0,2449	0,2294	0,2141	0,1920
2,0	0,2229	0,2095	0,1962	0,1766
2,1	0,2036	0,1920	0,1803	0,1630
2,2	0,1867	0,1765	0,1662	0,1508
2,3	0,1717	0,1628	0,1537	0,1399
2,4	0,1585	0,1506	0,1425	0,1302
2,5	0,1467	0,1397	0,1325	0,1214
2,6	0,1362	0,1299	0,1234	0,1134
2,7	0,1267	0,1211	0,1153	0,1062
2,8	0,1182	0,1132	0,1079	0,0997
2,9	0,1105	0,1060	0,1012	0,0937
3,0	0,1036	0,0994	0,0951	0,0882

Organigramme donnant les étapes de vérification du déversement selon l'Eurocode 3



Applications :**Exercice 1 :**

Soit la poutre isostatique suivante (IPE500) de nuance d'acier (S235) :

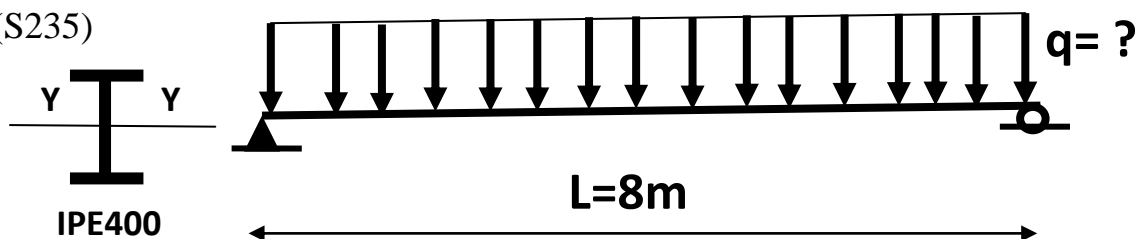


- 1- si on néglige le déversement (pas de déversement), calculer la charge pondérée maximale (P_{max}) que peut supporter la poutre, (on considère que la flexion simple sans déversement : voir chapitre 4, Semestre 1).
- 2- Calculer λ_{LT} et $\bar{\lambda}_{LT}$, que constatez vous ? (la charge est appliquée au centre de gravité)
- 3- Calculer de nouveau (P_{max}) dans le cas où on prend le déversement en considération.
- 4- Conclusion
- 5- Si la charge est uniformément répartie, le risque de déversement augmente ou diminue ? pourquoi ?
- 6- Si P est une charge d'exploitation, vérifier la flèche.
- 7- Vérifier la résistance à l'effort tranchant

Données : acier S235, $\delta_{adm} = L/250$

Exercice 2 : Soit la poutre isostatique suivante (IPE400) de nuance d'acier

(S235)



- 1- si on néglige le déversement (pas de déversement), calculer la charge pondérée maximale (P_{max}) que peut supporter la poutre, (on considère que la flexion simple sans déversement : voir chapitre 4, Semestre 1).
- 2- Calculer λ_{LT} et $\bar{\lambda}_{LT}$, que constatez vous ?
- 3- Calculer de nouveau (P_{max}) dans le cas où on prend le déversement en considération.
- 4- Conclusion
- 5- Si la charge est concentrée au milieu, le risque de déversement augmente ou diminue ? pourquoi ?
- 6- Si (q) est une charge d'exploitation, vérifier la flèche.
- 7- Vérifier la résistance à l'effort tranchant

Données : acier S235, $\delta_{adm}=L/250$

Exercice 3 :

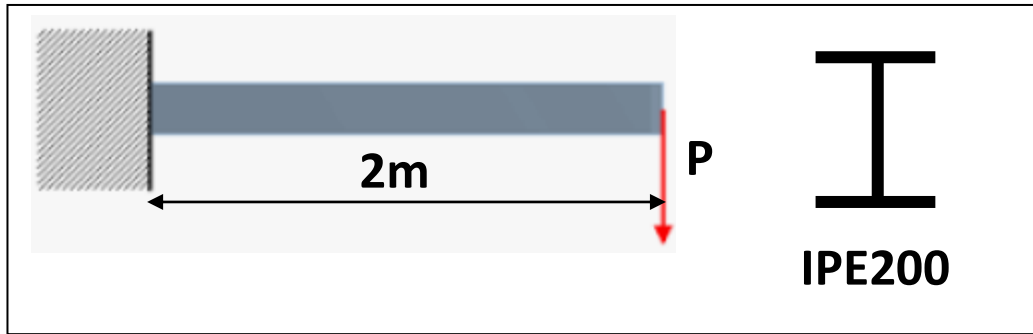
- 1- Refaire les deux exercices 1 et 2 avec : Charges appliquées sur la semelle supérieure de la poutre.
- 2- Conclusion

Exercice 4 : trouver la charge maximale (P_{max}) que peut supporter la poutre console suivante dans les deux cas:

- 1- Charge appliquée au centre de gravité
- 2- Charge appliquée sur la semelle supérieure

Conclusion

Données : Acier S235, ($L=2l_0$)



Exercice 5 :

Vérification du déversement d'une poutre au levage, sous son seul poids propre :

Une passerelle pour piétons, de 40 mètres de portée, est constituée de poutres PRS 1500 (acier S.235). La mise en place de ces poutres a lieu par levage à la grue, au moyen d'élingues verticales, disposées aux deux extrémités des poutres. Le coefficient de majoration dynamique sera pris égal à 1,3 (pour tenir compte des a-coups de levage, des oscillations dues au vent et des difficultés de coordination des deux grutiers).

Question : Les poutres risquent-elles, sous leur seul poids propre, de déverser lors du levage ? ($\gamma_{acier} = 78,5 \text{ KN/m}^3$)

Caractéristiques géométriques du PRS:

$L=40\text{m}$, $h=1500\text{mm}$, $b=400\text{mm}$

$t_f=15\text{mm}$, $t_w=40\text{mm}$.

Attention : la classe de

la section PRS c'est :3

