<u>ANNEXE</u> - 1

EXEMPLE DE CALCUL

<u>Application Numérique</u> : détermination des profilés IPE et IPN qui vérifier les données suivant :

Cp [daN/m²]	Csn [daN/m²]	Cse [daN/m²]	l [m]	a [m]	Pente [%]	σe [daN/mm²]	E [daN/cm²]
36	45	0	8	4	12	36	2000000

Cp : charge permanente

Csn : charge variable neige normale

Cse : charge variable neige extrême

l : portée de la panne

a : entre axe

σe : résistance élastique

E : module de résistance longitudinale

Pente : pente du versant

Calculs :

1- Etat limite ultime (ELU)

1.1- Détermination des combinaisons des charges : P1, P2 et P3

1ere Combinaison : $p1 = \frac{4}{3} \cdot C_p + \frac{3}{2} \cdot C_{sn} = \frac{4}{3} \cdot 36 + \frac{3}{2} \cdot 45 = 115.5\ daN/m^2$

2eme Combinaison : $p2 = \frac{4}{3} \cdot C_p + \frac{3}{2} \cdot C_{se} = \frac{4}{3} \cdot 36 + \frac{3}{2} \cdot 0 = 48\ daN/m^2$

3eme Combinaison : $p3 = \frac{4}{3} \cdot C_p + \frac{17}{12} \cdot (Csn + Cse) = \frac{4}{3} \cdot 36 + \frac{17}{12} \cdot (45 + 0) = 111.75\ daN/m^2$

la combinaison la plus défavorable est le maximum des trois valeurs : P1= 115.5 daN/m² .

1.2- Détermination de la charge totale pondérée :

$$\text{Pp} = \max(p1, p2, p3) \times a = 115.5 \times 4 = 462\ daN/m$$

1.3- Détermination de l'angle du versant en degré :

$$\alpha = \text{arctg}(\ \text{pente}/_{100}) = \text{arctg}(\ 12/_{100}) = 6.84°$$

1.4- Décomposition de la charge pondérée :

$$\text{Px} = \text{P}_\text{p} \times \sin(\alpha) = 462 \times \sin(6.84) = 55.05\ daN/m$$

$$\text{Py} = \text{P}_\text{p} \times \cos(\alpha) = 462 \times \cos(6.84) = 458.71\ daN/m$$

1.5- Calcul des moments fléchissant maximaux :

dans le plan Y-Z : $M_{fy\,(max)} = \frac{1}{8} \times P_y \times l^2 = \frac{1}{8} \times 458.71 \times 8^2 = 3669.67\ daN.m$

dans le plan X-Z : $M_{fx\,(max)} = \frac{1}{8} \times P_x \times l^2 = \frac{1}{8} \times 55.05 \times 8^2 = 440.36\ daN.m$

1.6- Détermination des modules de résistance suivant les deux plans d'inerties :

Appliquons la condition de résistance : $\sigma_{fy\,(max)} + \sigma_{fx\,(max)} < \sigma e$ pour trouver (w_x) et (w_y).

Ce qui revient à résoudre l'équation à deux inconnus suivante : $\frac{M_{fy\,(max)}}{W_x} + \frac{M_{fx\,(max)}}{W_y} < \sigma e$

dans le plan Y-Z : $\frac{M_{fy\,(max)}}{W_x} < \sigma e \Rightarrow W_x > \frac{M_{fy\,(max)}}{\sigma e} = \frac{3669.67}{36\times10^{-1}} = 1019.35\ cm^3$

dans le plan X-Z : $\frac{M_{fx\,(max)}}{W_y} < \sigma e \Rightarrow W_y > \frac{M_{fx\,(max)}}{\sigma e} = \frac{440.36}{36\times10^{-1}} = 122.32\ cm^3$

Comme première approche du profilé IPE ou IPN cherché calculons la moyenne des modules de résistance (w_x) et (w_y) : $\frac{w_x+w_y}{2} = \frac{1019.35+122.32}{2} = 570.835\ cm^3$, d'où IPE 300 et IPN 280

$$429 + 62.2 < \frac{w_x + w_y}{2} < 557 + 80.5$$

Poutrelles **IPE** _ ailes à face parallèle

N°	H[mm]	I_x[cm^4]	I_y[cm^4]	W_x[cm^3]	W_y[cm^3]
1	80	80.1	8.49	20.0	3.69
2	100	171	15.9	34.2	5.79
3	120	318	27.7	53.0	8.65
4	140	541	44.9	77.3	12.3
5	160	869	68.3	109	16.7
6	180	1317	101	146	22.2
7	200	1943	142	194	28.5
8	220	2772	205	252	37.3
9	240	3892	284	324	47.3
10	270	5790	420	429	62.2
11	300	8356	604	557	80.5
12	330	11710	788	713	98.5
13	360	16270	1043	904	123
14	400	23200	1318	1160	146
15	450	33740	1676	1500	176
16	500	48200	2142	1930	214
17	550	67120	2668	2440	254
18	600	92080	3387	3070	308

$$442 + 51 < \frac{w_x + w_y}{2} < 542 + 61.2$$

Poutrelles **IPN** _ ailes à face inclinée

N°	H[mm]	I_x[cm^4]	I_y[cm^4]	W_x[cm^3]	W_y[cm^3]
1	80	77.8	6.29	19.5	3.00
2	100	171	12.2	34.2	4.88
3	120	328	21.5	54.7	7.41
4	140	573	35.2	81.9	10.7
5	160	935	54.7	117	14.8
6	180	1450	81.3	161	19.8
7	200	2140	117	214	26.0
8	220	3060	162	278	33.1
9	240	4250	221	354	41.7
10	260	5740	288	442	51.0
11	280	7590	364	542	61.2
12	300	9800	451	653	72.2
13	320	12510	555	782	84.7
14	340	15700	674	923	98.4
15	360	19610	818	1090	114
16	400	29210	1160	1460	149
17	450	45850	1730	2040	203
18	500	68740	2480	2750	268
19	550	99180	3490	3610	349
20	600	139000	4670	4630	434

1.7- Vérification de la condition de résistance pour les profilés de la première approche :

IPE 300 : $\frac{M_{fy\,(max)}}{W_x} + \frac{M_{fx\,(max)}}{W_y} < \sigma e \Rightarrow \frac{3669.67}{557} + \frac{440.36}{80.5} = 12.058 < 36$

IPN 280 : $\frac{M_{fy\,(max)}}{W_x} + \frac{M_{fx\,(max)}}{W_y} < \sigma e \Rightarrow \frac{3669.67}{542} + \frac{440.36}{61.2} = 13.96 < 36$

2- Etat limite de service (ELS)

2.1- Détermination de la charge totale non pondérée

$$\text{Pnp} = \left(C_p + C_{sn} + C_{se}\right) \times a = (36 + 45 + 0) \times 4 = 324 \ daN/m$$

2.2- Décomposition de la charge pondérée :

$$\text{Pxx} = \text{P}_{\text{np}} \times \sin(\alpha) = 324 \ \times \sin(6.84) = 38.60 \ daN/m$$
$$\text{Pyy} = \text{P}_{\text{np}} \times \cos(\alpha) = 324 \ \times \cos(6.84) = 321.69 \ daN/m$$

2.3- Calcul des flèches suivant les deux plans d'inerties et vérification de la condition :

$$f_{max} = \sqrt{f_{x(\max)}^2 + f_{y(\max)}^2} < f_{adm} = \text{L}/200$$

<u>IPE 300</u>

$$f_{x(\max)} = \frac{5}{384} * \frac{P_{xx} \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} * \frac{38.60 \times 800^4}{2 \times 10^6 \times 604 \times 100} = 1.70 \text{ cm}$$
$$f_{y(\max)} = \frac{5}{384} * \frac{P_{yy} \cdot l^4}{E \cdot I_x} = \frac{5}{384} * \frac{321.69 \times 800^4}{2 \times 10^6 \times 8356 \times 100} = 1.02 \text{ cm}$$

$\sqrt{1.7^2 + 1.02^2} = 1.98$

$\Rightarrow$ 1,98 < 4

<u>IPN 280</u>

$$f_{x(\max)} = \frac{5}{384} * \frac{P_{xx} \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} * \frac{38.60 \times 800^4}{2 \times 10^6 \times 364 \times 100} = 2.82 \text{ cm}$$
$$f_{y(\max)} = \frac{5}{384} * \frac{P_{yy} \cdot l^4}{E \cdot I_x} = \frac{5}{384} * \frac{321.69 \times 800^4}{2 \times 10^6 \times 7590 \times 100} = 1.13 \text{ cm}$$

$\sqrt{2.82^2 + 1.13^2} = 1.98$

$\Rightarrow$ 1.98 < 4

2.4- On refait le calcul des flèches pour les profilés juste au dessous : IPE 270 et IPN 260

<u>IPE 270</u>

$$f_{x(\max)} = \frac{5}{384} * \frac{P_{xx} \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} * \frac{38.60 \times 800^4}{2 \times 10^6 \times 420 \times 100} = 2.45 \text{ cm}$$
$$f_{y(\max)} = \frac{5}{384} * \frac{P_{yy} \cdot l^4}{E \cdot I_x} = \frac{5}{384} * \frac{321.69 \times 800^4}{2 \times 10^6 \times 5790 \times 100} = 1.48 \text{ cm}$$

$\sqrt{2.45^2 + 1.48^2} = 2.86$

$\Rightarrow$ 2,86 < 4

<u>IPN 260</u>

$$f_{x(\max)} = \frac{5}{384} * \frac{P_{xx} \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} * \frac{38.60 \times 800^4}{2 \times 10^6 \times 288 \times 100} = 2.82 \text{ cm}$$
$$f_{y(\max)} = \frac{5}{384} * \frac{P_{yy} \cdot l^4}{E \cdot I_x} = \frac{5}{384} * \frac{321.69 \times 800^4}{2 \times 10^6 \times 5740 \times 100} = 1.13 \text{ cm}$$

$\sqrt{3.57^2 + 1.49^2} =$ 3,87

$\Rightarrow$ 3,87 < 4

2.5- On refait le calcul des flèches pour les profilés juste au dessous : IPE 240 et IPN 240

<u>IPE 240</u>

$$f_{x(\max)} = \frac{5}{384} * \frac{P_{xx} \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} * \frac{38.60 \times 800^4}{2 \times 10^6 \times 284 \times 100} = 3.62 \text{cm}$$
$$f_{y(\max)} = \frac{5}{384} * \frac{P_{yy} \cdot l^4}{E \cdot I_x} = \frac{5}{384} * \frac{321.69 \times 800^4}{2 \times 10^6 \times 3892 \times 100} = 2.20 \text{ cm}$$

$\sqrt{3.62^2 + 2.20^2} =$ 4.24

Le profilé IPE 240 ne vérifier pas donc : <u>IPE 270</u> est acceptable.

<u>IPN 240</u>

$$f_{x(\max)} = \frac{5}{384} * \frac{P_{xx} \cdot l^4}{E \cdot I_y} = \frac{5}{384} * \frac{38.60 \times 800^4}{2 \times 10^6 \times 221 \times 100} = 4.65 \text{ cm}$$
$$f_{y(\max)} = \frac{5}{384} * \frac{P_{yy} \cdot l^4}{E \cdot I_x} = \frac{5}{384} * \frac{321.69 \times 800^4}{2 \times 10^6 \times 4250 \times 100} = 2.02 \text{ cm}$$

$\sqrt{4.65^2 + 2.02^2} =$ 5.07

Le profilé IPN 240 ne vérifier pas donc : <u>IPN 260</u> est acceptable.

Le calcul manuel à donné comme solution pour le cas:1 les deux profilés : IPE 270 et IPN 260 .

On remarque que la condition de vérification à l'état limite de service (ELS) est la plus contraignante et qui dimensionnera les pannes, alors que la vérification à l'état limite ultime (ELU) est souvent superflus.

Confrontation des Résultats de l'exemple de calcul et ceux du programme en Fortran.

- Données de calcul :

Cp [daN/m^2]	Csn [daN/m^2]	Cse [daN/m^2]	*l* [m]	*a* [m]	Pente [%]	σe [daN/mm^2]	E [daN/cm^2]
36	45	0	8	4	12	36	2000000

- Résultats Cas 1 :

Charges permanentes	Cp [daN/m^2]	36.000000
Charges climatiques	Csn [daN/m^2]	45.000000
Charges exploitation	Cse [daN/m^2]	0.0
Portée de la panne	L [m]	8.0
Entraxe	a [m]	4.0
Pente au versant	Pente [%]	12.0
Limite élastique	σ_e [daN/mm^2]	36.000000
Module de Young	E [daN/cm^2]	2000000

----*--*--*--*--*--*--*--*--*--*--*--*--*--*--*

Pannes sur deux appuis simples sans liernes

@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

IPN final $\Rightarrow$ IPN 260

IPE final $\Rightarrow$ IPE 270