



BCCA Notified Body n°749

FORMATION
CALCULS DE STABILITE POUR MENUISERIE EN BOIS
REFERENCE : STS52 (2005) ET ENV 1991-2-4 (1995)



BCCA Notified Body n°749

L'ACTION DU VENT

FORMULE GENERALE DE LA PRESSION DU VENT

$$W_k = (C_{pe} - C_{pi}) \times C_{dyn} \times C_{dir} \times C_{temp} \times C_{topo} \times C_{rug} \times W_{ref}$$

C_{dyn} (coefficient dynamique dû à la variation d'intensité de l'effort de vent sur la structure) / C_{dir} (coefficient de direction du vent) / C_{temp} (coefficient temporaire du vent) / C_{topo} (coefficient de la topographie du terrain) / C_{rug} (coefficient de la rugosité du terrain)

La pression de référence du vent est obtenue grâce à une vitesse de vent de référence estimée à 26.2m/s (94.3km/h) pour la Belgique avec une période de retour de 50ans.

Exemple pratique :

La pression du vent est exprimée en N/m² ou Pa (Pascal).

Une pression de vent de 1000N/m² équivaut à une force de 100kg exercée sur 1m² de châssis.

COEFFICIENT DE RUGOSITE (C_{RUG})

Ce coefficient a été intégré dans la catégorie de terrain pour le choix du W_{ref} .

| Catégories de terrain | |
|-----------------------|--|
| I | Haute mer, lacs offrant au moins 5 km de longueur au vent et régions lisses et plates, sans obstacles |
| II | Régions de culture avec haies et avec quelques petites fermes, maisons ou arbres |
| III | Zones industrielles ou suburbaines et forêts permanentes |
| IV | Zones urbaines dont au moins 15 % de la surface est occupée par des bâtiments de hauteur moyenne supérieure à 15 m |

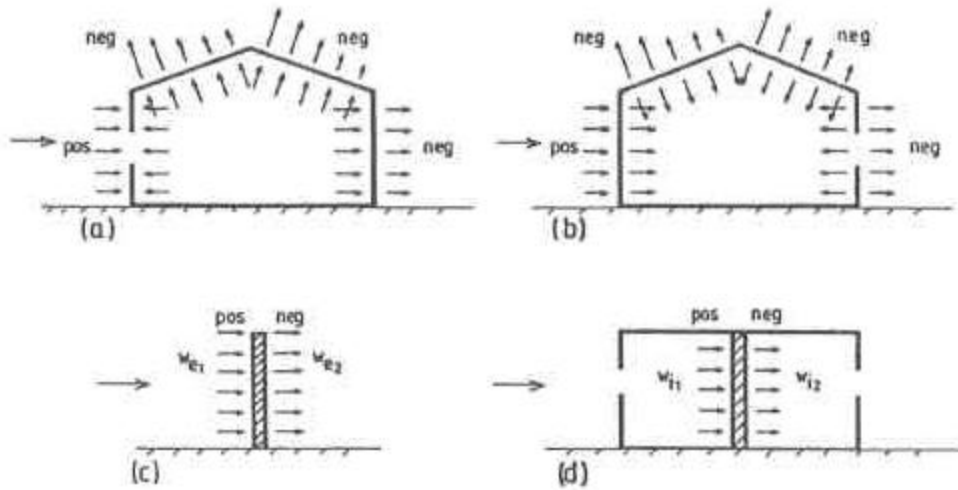
FORMULE SIMPLIFIEE DE LA PRESSION DU VENT

$$W_k = (C_{pe} - C_{pi}) \times W_{ref}$$

Tous les coefficients spéciaux sont pris égaux à 1, sauf C_{pe} et C_{pi} .



PRESSION EXTERIEURE ET INTERIEURE (C_{pe} et C_{pi})



Le coefficient C_{pe} dépend de la zone de façade où agit le vent (face au vent, latéral au vent, près des bords de façade,...).

Il est donné dans le tableau 10.2.1 de la norme ENV 1991-2-4 (voir ci-dessous).

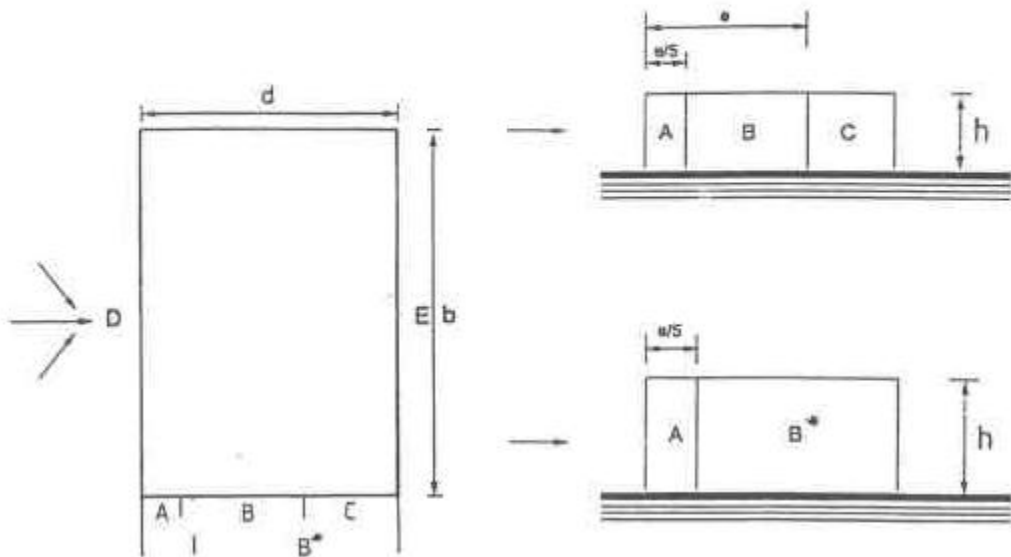




Tableau 10.2.1 - Coefficients de pression extérieure pour les parois verticales de bâtiments à base rectangulaire

| Zones | A | B, B* | C | D | E |
|----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| d/h | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,10}$ | $C_{pe,10}$ |
| ≤ 1 | -1,0 | -0,8 | -0,5 | +0,8 | -0,3 |
| ≥ 4 | -1,0 | -0,8 | -0,5 | +0,6 | -0,3 |

En zone centrale à la façade, on remarque que le coefficient plus élevé est +0.8 ou -0.8.

Le coefficient C_{pi} dépend de la pression intérieure au bâtiment (surpression ou dépression). Celui-ci est pris égal à +0.3 ou -0.3. La surpression et la dépression est fonction de la position des ouvertures sur le bâtiment par rapport à la direction du vent.

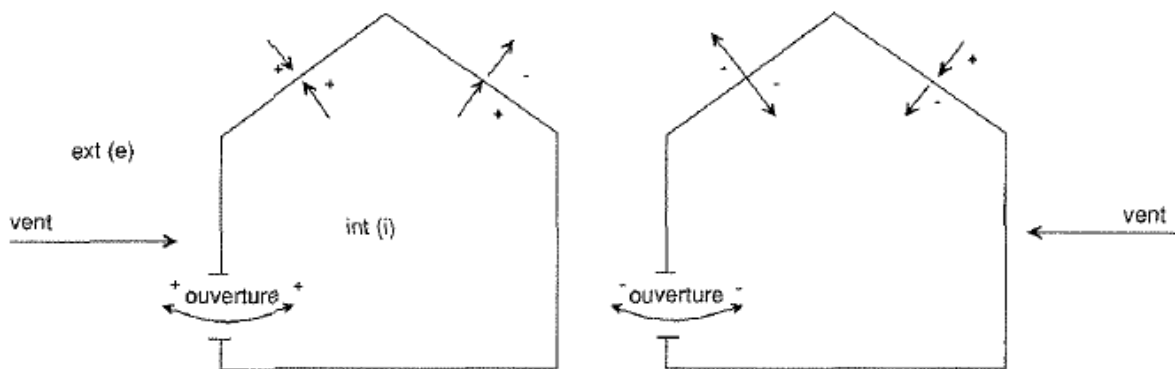


Fig. 3 — Pression du vent sur les versants d'une toiture (- : dépression, + : surpression).

Si on calcule la différence entre C_{pe} et C_{pi} , on obtient 1.1. Cette différence de pression est le coefficient multiplicatif de la pression totale exercée par le vent sur la paroi, elle est appelée C_p .

**FORMULE SIMPLIFIEE DE CALCUL DE LA PRESSION DU VENT**

ψ est défini comme le coefficient d'accompagnement du vent, il est égal à 0.9.

W_{ref} est donné dans le tableau ci-dessous. Il est fonction de la hauteur du bâtiment et de la catégorie de terrain.

- Classe I: bord de mer
- Classe II: zone rurale avec bâtiments ou arbres isolés
- Classe III: zone urbanisée, industrielle ou forestière
- Classe IV: grandes villes

| z_e (m) | $c_s(z) q_{ref 50 ans}$ (Pa) | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|------------|-----------|
| | Classe I | Classe II | Classe III | Classe IV |
| 0 | 807 | 772 | 701 | 670 |
| 2 | 807 | 772 | 701 | 670 |
| 4 | 965 | 772 | 701 | 670 |
| 5 | 1018 | 828 | 701 | 670 |
| 6 | 1063 | 874 | 701 | 670 |
| 7 | 1101 | 914 | 701 | 670 |
| 8 | 1134 | 949 | 701 | 670 |
| 9 | 1164 | 981 | 735 | 670 |
| 10 | 1191 | 1009 | 765 | 670 |
| 12 | 1239 | 1059 | 819 | 670 |
| 14 | 1279 | 1103 | 865 | 670 |
| 16 | 1315 | 1141 | 906 | 670 |
| 18 | 1347 | 1175 | 943 | 706 |
| 20 | 1376 | 1206 | 977 | 740 |
| 22 | 1402 | 1234 | 1007 | 771 |
| 24 | 1427 | 1260 | 1036 | 799 |
| 26 | 1449 | 1284 | 1062 | 826 |
| 28 | 1470 | 1306 | 1087 | 851 |
| 30 | 1490 | 1327 | 1110 | 874 |
| 35 | 1534 | 1375 | 1162 | 927 |
| 40 | 1573 | 1417 | 1208 | 974 |
| 45 | 1607 | 1454 | 1250 | 1017 |
| 50 | 1639 | 1488 | 1287 | 1055 |
| 55 | 1667 | 1519 | 1321 | 1090 |
| 60 | 1693 | 1547 | 1353 | 1123 |
| 65 | 1718 | 1574 | 1382 | 1153 |
| 70 | 1740 | 1598 | 1410 | 1181 |
| 75 | 1762 | 1621 | 1436 | 1207 |
| 80 | 1781 | 1643 | 1460 | 1233 |
| 85 | 1800 | 1663 | 1483 | 1256 |
| 90 | 1818 | 1683 | 1505 | 1279 |
| 95 | 1835 | 1701 | 1525 | 1300 |
| 100 | 1851 | 1719 | 1545 | 1321 |

Note: $c_s(z) q_{ref 50 ans}$ selon ENV 1991-2-4 (1995) - Période de retour 50 ans - Vitesse de référence du vent $v_{ref} = 26.2$ m/sec pour la Belgique.



BCCA Notified Body n°749

L'ACTION DU POIDS PROPRE

Elle est principalement donnée par le poids du vitrage et est calculée via la densité du verre (2500kg/m^3).

Exemple pratique :

Un vitrage 4/15/6 (10mm d'épaisseur de verre) de 1m^2 a une masse totale de 25kg.

LE MATERIAU, LE BOIS

Le bois est défini par son module d'élasticité à la flexion sous charges temporaires (E_v dû au vent principalement) et permanentes (E_{pp} dû au poids propre principalement). Ce module est intrinsèque au matériau et dépend donc de l'essence de bois, des défauts, du taux d'humidité,...

Lorsqu'il n'est pas connu les valeurs suivantes peuvent être choisies : $E_v = 10000\text{N/mm}^2$ et $E_{pp} = 6000\text{N/mm}^2$.

On remarque que E_{pp} est inférieur à E_v . Cela vient du fait que le bois se déforme plus sous une charge permanente comme le poids propre (phénomène de fluage) que sous une charge temporaire comme le vent. Le phénomène de fluage se remarque notamment sur les anciennes poutres de plancher se déformant de plus en plus avec le temps.

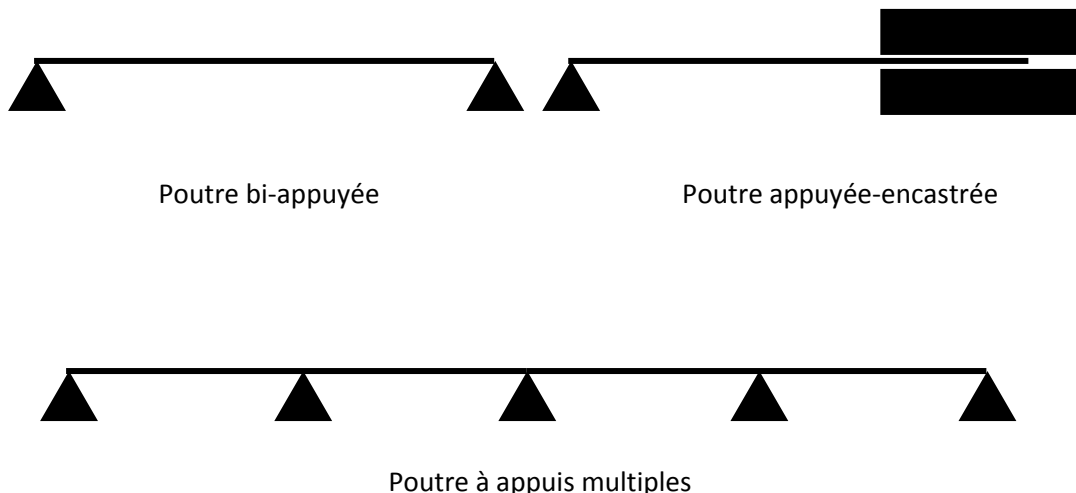
Exemple pratique :

$E_v = 10000\text{N/mm}^2$ pour le bois, 210000N/mm^2 pour l'acier, 70000N/mm^2 pour l'aluminium.

Plus le module d'élasticité est élevé, moins le matériau est déformable.

LA STRUCTURE

Les structures étudiées sont principalement bi-appuyées aux extrémités (comme une poutre sur 2 appuis). Nous n'étudierons pas les poutres sur appuis multiples (domaine des façades-rideaux principalement). Les appuis sont considérés comme appuis simples (rotation possible à l'extrémité et donc pas d'encastrement).





Plus la structure étudiée est appuyée, plus les déformations sont limitées.

LES ELEMENTS DE CHASSIS

Les éléments de périphéries sont supposés fixés directement au gros-œuvre, ils se déforment donc très peu. Tandis que les éléments internes à la surface du châssis (traverse, meneau, montant) vont reprendre et transmettre les efforts de vent aux éléments périphériques. Ces derniers rapporteront les efforts au gros-œuvre.

Tous ces éléments internes sont principalement considérés comme bi-appuyés (appuyés aux extrémités). Les assemblages ne permettent pas d'encastrement pour la reprise des effort de vent.

L'ETAT LIMITE DE SERVICE (ELS) OU CRITERE DE DEFORMATION MAX

LE CRITERE

L'effort de vent appliqué à la structure va déformer celle-ci. Notre objectif est d'imposer une déformation maximale à ne pas dépasser pour éviter des désordres de la structure étudiée ou des éléments avoisinants. Nous ne vérifions pas si la structure ne va pas se rompre avant d'atteindre la déformation limite. L'état de rupture est appelé état limite ultime (ELU).

En menuiserie, le critère ELU est rarement rencontré du fait de l'élançement important des éléments de structure. En effet, les montants ou traverses tendent à se déformer de manière importante avant de casser.

Nous allons donc étudier uniquement l'ELS. Les critères fixés par la norme (STS52) sont les suivants pour les portes et fenêtres extérieures :

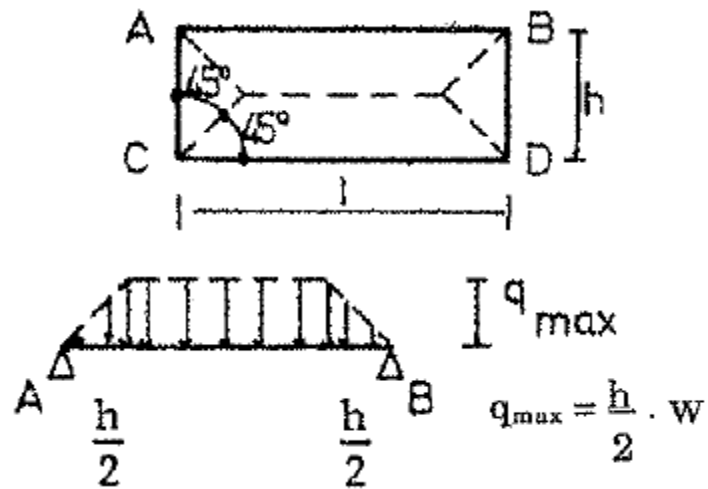
| | f (flèche) < | f (flèche) < |
|--|--------------|--------------|
| Vent Côté gauche ou droit de l'élément est entièrement vitré | L/225 | 12mm |
| Vent Côté gauche et droit de l'élément est constitué de traverses | | 13mm |
| Poids propre | L/500 | 3mm |

La valeur L est la longueur de l'élément étudié. La flèche est la déformation maximum de l'élément (là où il y a « panse de vache »).

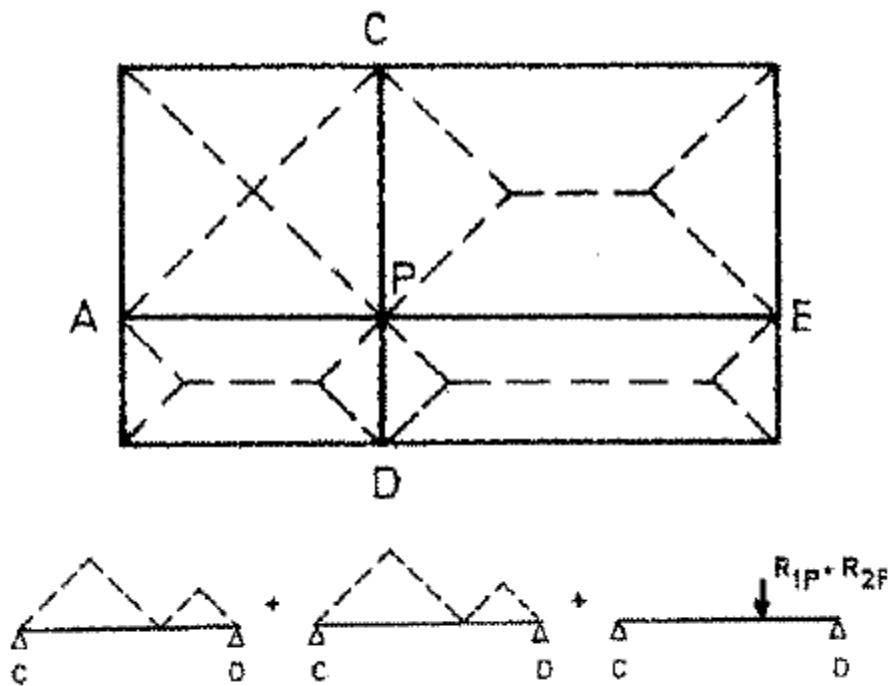
LA REPARTITION DE L'EFFORT DE VENT

Ceci définit le parcours de l'effort de vent à travers la structure constituée par le vitrage et le châssis.

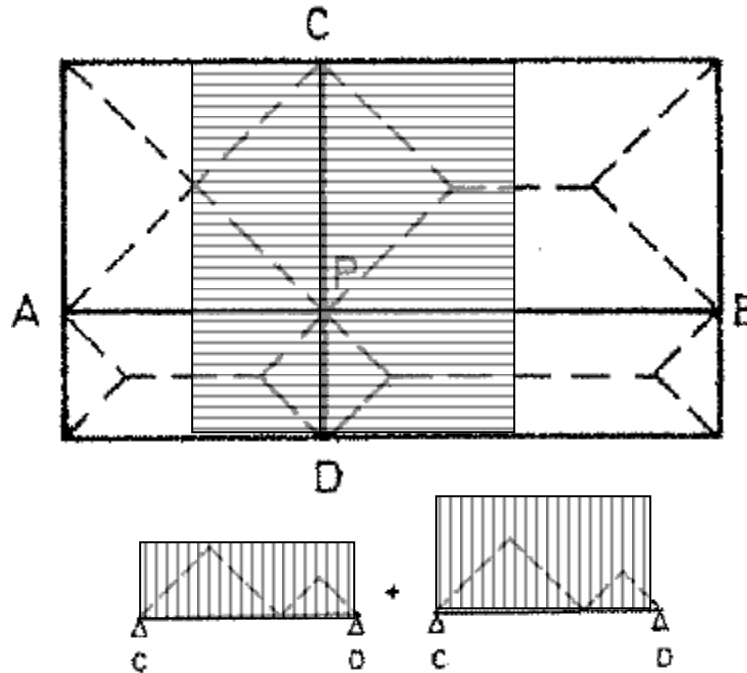
L'effort de vent est d'abord repris par les vitrages et de suite transmis à la structure en bois de la menuiserie. La répartition de cette distribution des efforts est déterminée grâce à la division de la surface totale en trapèzes et triangles. Les angles de ceux-ci rapportés sur les éléments de la structure sont de 45°.



Un élément de structure reprendra donc la partie directement à sa gauche et à sa droite. Ensuite, il transmettra les efforts vers ses extrémités (les appuis).



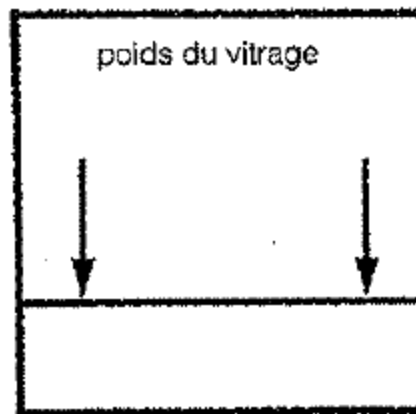
Une simplification a été établie lorsque l'élément étudié reçoit les efforts de traverses. En effet, on remarque que ces efforts sont des efforts ponctuels. L'effet de l'ensemble de ces charges est environ équivalent à l'application d'une charge uniforme sur la longueur de l'élément étudié.



LA REPARTITION DE L'EFFORT DE POIDS PROPRE

Le poids propre est principalement composé du poids du vitrage. Celui-ci se transmet aux traverses via les cales à vitrages. La position des cales est donc importante pour les efforts à transmettre notamment. Le poids du vitrage se décompose alors en deux parties identiques (voir le dessin ci-dessous).

On ne pourra pas les placer à moins de 10cm du montant d'extrémité (sinon risque de rupture du coin du vitrage).



LE CALCUL DE LA DEFORMATION

Le calcul de la déformation s'obtient en rapportant l'effort de vent (appliqué sur la surface hachurée) sur la longueur de l'élément étudié. Pour l'effort du poids propre du vitrage, il est exercé par deux charges ponctuelles appliquées à la position des cales.



BCCA Notified Body n°749

EXEMPLE PRATIQUE

Un effort de vent de 1000N/m² (100kg/m²) appliqué sur une surface de 4m² rapporté sur un élément de 2m donne une charge répartie (par longueur d'élément étudié) de 1000x4/2=2000N/m (200kg/m).

Cette charge appliquée sur l'élément va le déformer suivant les formules ci-dessous :

f_{max} (flèche de l'élément ou déformation maximum) / R_{max} (réaction d'appui maximum)

| Structure | Rmax | fmax |
|-----------|-----------------------------------|---|
| | F | $\frac{F.a}{24EI} (3l^2 - 4a^2)$ |
| | $\frac{q.l}{2}$ | $\frac{5q.l^4}{384EI}$ |
| | $\frac{q}{2}(l-c)$ | $\frac{q.l^4}{1920EI} (25 - 40\frac{c^2}{l^2} + 16\frac{c^4}{l^4})$ |
| | $\frac{5q.l}{4}$ appui central | $\frac{q.l^4}{185EI}$ à 0.6l de l'appui d'extrémité |

E (module d'élasticité du bois) / I (inertie du profilé) (I sera défini plus loin)

LA VERIFICATION DU CRITERE (ELS)

Les critères sont les suivants pour le cas de la charge uniforme (voir tableau précédent) :

$$f = \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E \times I} \leq 12 \text{ ou } 13 \text{ ou } \frac{l}{225} \text{ mm}$$

Comme dans un dimensionnement l'inertie du profilé I n'est pas encore connue, la formule est alors modifiée de façon à en déduire directement cette inertie :

$$I \geq \frac{5 \times q \times l^4}{384 \times E \times f} \text{ avec } f = 12 \text{ ou } 13 \text{ ou } \frac{l}{225} \text{ mm}$$

Si la charge n'est pas uniforme mais trapézoïdale, il y a lieu d'utiliser la formule correspondante dans le tableau précédent (les calculs sont alors un peu plus compliqués).

LE CHOIX DU PROFILE ADEQUAT

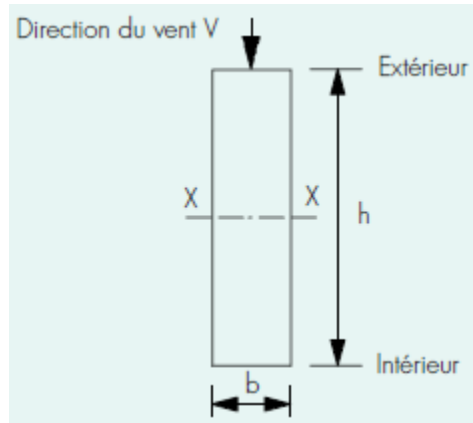
Une fois l'inertie nécessaire calculée pour reprendre les efforts de vent, il est alors possible d'en déduire la section du profilé qui devra être mis en œuvre.



BCCA Notified Body n°749

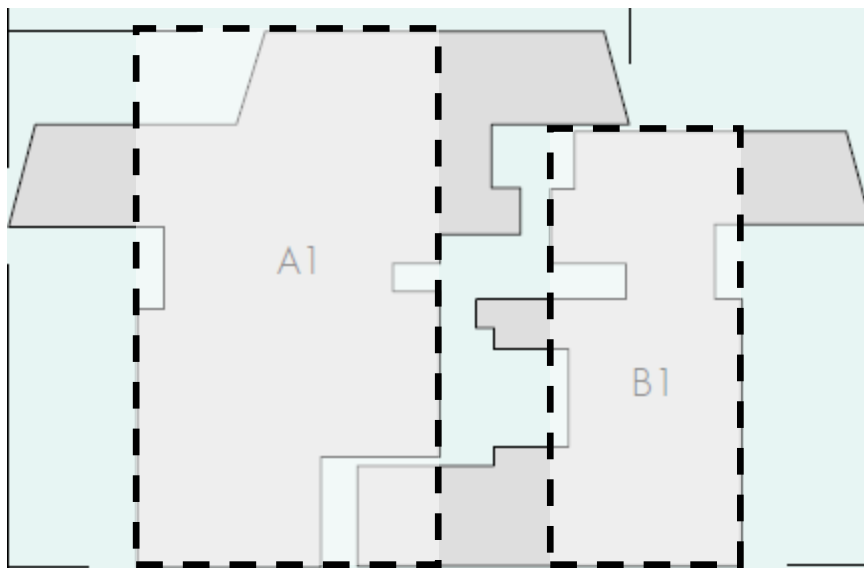
Pour y arriver, il est essentiel de pouvoir calculer au moins l'inertie d'une section simple comme celle d'un rectangle. L'inertie est calculée principalement suivant l'axe passant par le centre de gravité de la section.

Plus la quantité de matière sera éloignée de cet axe, plus l'inertie sera grande. Il est donc plus intéressant (pour un calcul au vent) d'augmenter la profondeur à la place de la largeur d'un profilé.



$$I = \frac{b \times h^3}{12} \text{ (l'unité est le cm}^4\text{)}$$

Comme le profilé n'est jamais exactement rectangulaire, il est obligatoire de prendre la section rectangulaire de bois « comprise » dans la section totale du profilé. Si l'effort est repris par plusieurs profilés juxtaposés, il y a lieu de considérer la somme des inerties des profilés.



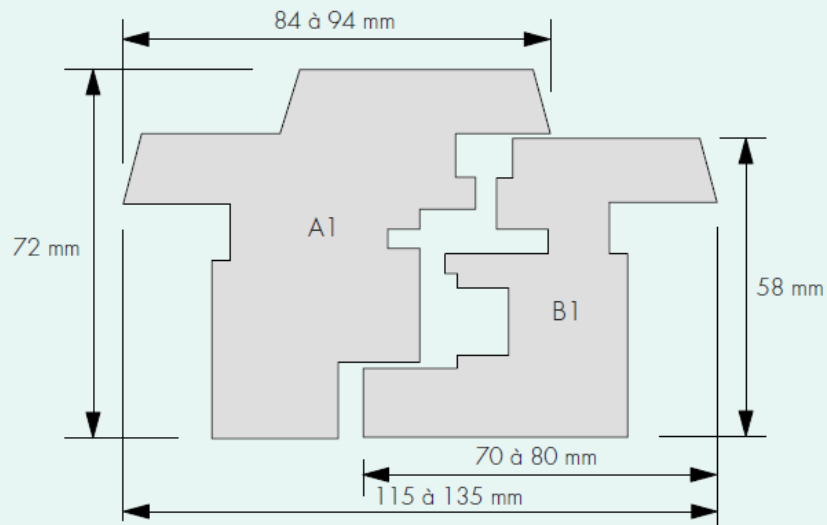
Dans la NIT222, on retrouve des tableaux qui fournissent les inerties de différents profilés. Ils sont repris ci-dessous. Attention, les valeurs des inerties sont bien en cm^4 et les autres dimensions en mm.



BCCA Notified Body n°749

| N° DU PROFILÉ | PROFILÉ "A" SEUL | | | PROFILÉ "B" SEUL | | | PROFILÉ "A" + "B" | | |
|---------------|----------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------|--|-----------|-----------|
| | I_A (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) | I_B (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) | $I_{(A+B)}$ (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) |
| 1,00 | 116,4 | 72,0 | 84,0 | 65,5 | 58,0 | 70,0 | 181,9 | 72,0 | 115,0 |
| 1,05 | 132,8 | 72,0 | 89,0 | 73,9 | 58,0 | 75,0 | 206,7 | 72,0 | 125,0 |
| 1,10 | 149,0 | 72,0 | 94,0 | 82,2 | 58,0 | 80,0 | 231,2 | 72,0 | 135,0 |

(*) Représentation schématique d'un profilé du type 1 :

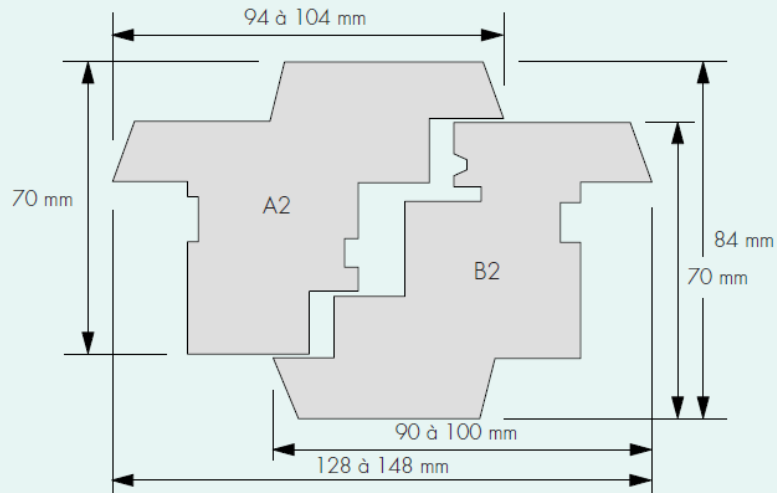




BCCA Notified Body n°749

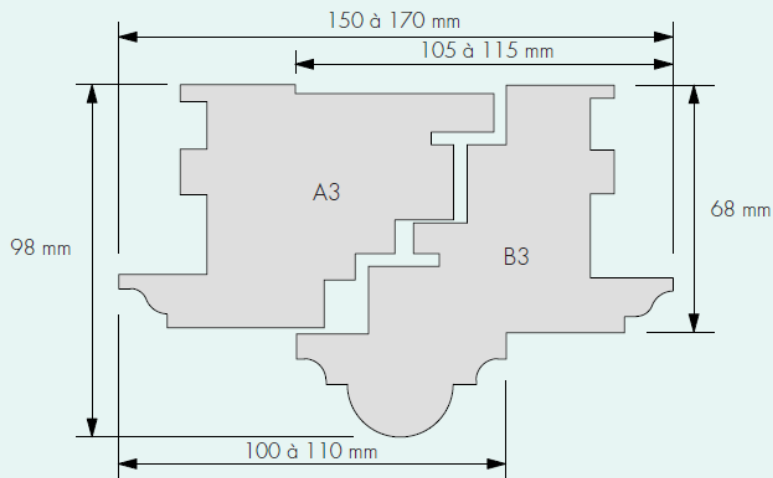
| N° DU PROFILÉ | PROFILÉ "A" SEUL | | | PROFILÉ "B" SEUL | | | PROFILÉ "A" + "B" | | |
|---------------|----------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------|--|-----------|-----------|
| | I_A (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) | I_B (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) | $I_{(A+B)}$ (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) |
| 2,00 | 131,5 | 70,0 | 94,0 | 146,8 | 70,0 | 76,0 | 278,3 | 84,0 | 128,0 |
| 2,05 | 147,9 | 70,0 | 99,0 | 162,5 | 70,0 | 81,0 | 310,4 | 84,0 | 138,0 |
| 2,10 | 164,2 | 70,0 | 104,0 | 178,2 | 70,0 | 86,0 | 342,4 | 84,0 | 148,0 |

(*) Représentation schématique d'un profilé du type 2 :



| N° DU PROFILÉ | PROFILÉ "A" SEUL | | | PROFILÉ "B" SEUL | | | PROFILÉ "A" + "B" | | |
|---------------|----------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------|--|-----------|-----------|
| | I_A (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) | I_B (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) | $I_{(A+B)}$ (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) |
| 3,00 | 143,9 | 68,0 | 100,0 | 293,9 | 98,0 | 105,0 | 437,8 | 98,0 | 150,0 |
| 3,05 | 158,8 | 68,0 | 105,0 | 322,7 | 98,0 | 110,0 | 481,5 | 98,0 | 160,0 |
| 3,10 | 173,8 | 68,0 | 110,0 | 350,3 | 98,0 | 115,0 | 524,1 | 98,0 | 170,0 |

(*) Représentation schématique d'un profilé du type 3 :

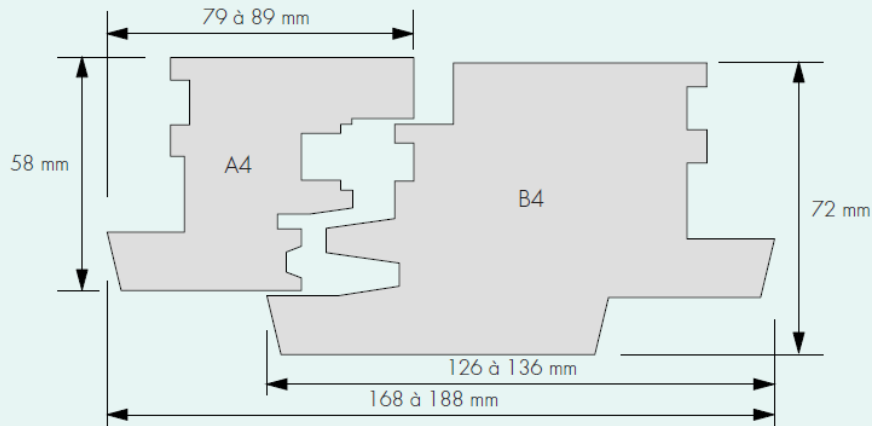




BCCA Notified Body n°749

| N° DU PROFILÉ | PROFILÉ "A" SEUL | | | PROFILÉ "B" SEUL | | | PROFILÉ "A" + "B" | | |
|---------------|----------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------------|-----------|-----------|
| | I_A (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) | I_B (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) | I_{A+B} (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) |
| 4,00 | 82,2 | 58,0 | 79,0 | 222,4 | 72,0 | 126,0 | 304,6 | 72,0 | 168,0 |
| 4,05 | 90,4 | 58,0 | 84,0 | 238,1 | 72,0 | 131,0 | 328,5 | 72,0 | 178,0 |
| 4,10 | 98,6 | 58,0 | 89,0 | 253,7 | 72,0 | 136,0 | 352,4 | 72,0 | 188,0 |

(*) Représentation schématique d'un profilé du type 4 :



| N° DU PROFILÉ | PROFILÉ "A" SEUL | | | PROFILÉ "B" SEUL | | | PROFILÉ "A" + "B" | | |
|---------------|----------------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|-----------|-----------|--------------------------------------|-----------|-----------|
| | I_A (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) | I_B (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) | I_{A+B} (10^4 mm^4) | H (mm) | L (mm) |
| 5,00 | 121,7 | 59,0 | 122,0 | 106,2 | 59,0 | 122,0 | 228,0 | 59,0 | 170,0 |
| 5,05 | 130,3 | 59,0 | 127,0 | 114,8 | 59,0 | 127,0 | 245,1 | 59,0 | 180,0 |
| 5,10 | 138,9 | 59,0 | 132,0 | 123,4 | 59,0 | 132,0 | 262,2 | 59,0 | 190,0 |

(*) Représentation schématique d'un profilé du type 5 :

