Document de support à la présentation :

Conception des charpentes d’aluminium

Module 2 – Normes et calculs aux états limites

Contenu développé par :

**Ahmed Rahem, ing., Ph. D.**

Professeur au Département des sciences appliquées de l’UQAC

Table des matières

[Note 3](#_Toc126770494)

[A- Actions, combinaisons et états limites 4](#_Toc126770495)

[Diapositive 6 : 4](#_Toc126770496)

[Diapositive 8 : 4](#_Toc126770497)

[Diapositive 9 : 5](#_Toc126770498)

[Diapositive 12 : 7](#_Toc126770499)

[Diapositive 13 : 7](#_Toc126770500)

[Diapositive 22 : 7](#_Toc126770501)

[Diapositive 30 : 8](#_Toc126770502)

[Diapositive 38 : 8](#_Toc126770503)

[Diapositive 40 : 9](#_Toc126770504)

[B- États limites d’utilisation 10](#_Toc126770505)

[Diapositive 43 : 10](#_Toc126770506)

[Diapositive 44 : 10](#_Toc126770507)

[Diapositive 46 : 11](#_Toc126770508)

[Diapositive 49 : 12](#_Toc126770509)

[Diapositive 51 : 13](#_Toc126770510)

[Diapositive 53 : 13](#_Toc126770511)

[Diapositive 54 : 14](#_Toc126770512)

[Diapositive 55 : 14](#_Toc126770513)

# Note

Avec la permission de monsieur Denis Beaulieu, une certaine partie du matériel est reproduite des manuels *Calcul des charpentes d’aluminium* et *Les caractéristiques de l’aluminium structural*. Bien que l'utilisation du matériel ait été autorisée, monsieur Beaulieu n'est pas responsable de la manière dont les données sont présentées, ni de toute représentation ou interprétation.

# Actions, combinaisons et états limites

## Diapositive 6 :

L’étude des charges appelées à solliciter les structures est, en soi, une science très complexe. Plusieurs y consacrent leur carrière. Des données sont compilées, parfois pendant de très longues périodes, pour être ensuite traitées statistiquement et présentées dans des codes sous forme de règles de calcul d’utilisation pratique.

Plusieurs manuels ont été publiés pour expliquer aux ingénieurs et aux techniciens des structures comment faire un usage rationnel de ces règles à l’étape de l’analyse. La référence (3.9[[1]](#footnote-1)) est un exemple de ce type d’ouvrage. Ce n’est toutefois pas le but des manuels de dimensionnement, comme le présent volume, de présenter en détail les différentes charges à considérer pour le dimensionnement et le conditionnement des pièces. Par contre, il est essentiel d’aborder ce sujet puisque les charges présentent différentes caractéristiques qui affectent directement le dimensionnement et le conditionnent. Le sujet est ainsi traité de façon plus descriptive que technique.

La classification qui suit a été empruntée à la référence (3.10[[2]](#footnote-2)). Elle permet l’identification des charges et la démonstration de leur influence sur le dimensionnement.

**3.3.2 Définitions**

Les structures sont sollicitées soit par des actions directes (charges concentrées et distribuées), soit par des actions indirectes (déformations imposées).

## Diapositive 8 :

Une charge donnée peut être considérée unique si elle n’est pas reliée de quelque façon aux autres charges ou déformations imposées sollicitant la structure. En réalité, plusieurs charges agissent simultanément sur les structures, mais il est plus pratique de les considérer séparément. Tel que mentionné plus haut, les charges sont des phénomènes stochastiques. Cependant, pour les adapter aux différentes méthodes de calcul utilisées dans les normes (états limites, contraintes admissibles), chaque charge est caractérisée par différents paramètres.

Les charges peuvent être classées selon leur effet sur les structures (charges statiques ou dynamiques) ou selon la variation de leur intensité dans le temps. Elles peuvent aussi être classées en fonction de certaines caractéristiques, comme étant des charges limitées ou non dans l’espace, des charges de longue ou de courte durée, des charges découlant ou non des activités humaines, etc.

## Diapositive 9 :

**3.3.4 Classification selon la variation de l’intensité des charges dans le temps**

Les structures sont sollicitées par des charges pendant toute leur durée de vie, laquelle peut varier de quelques semaines à plusieurs dizaines d’années, selon leur importance ou leur finalité. Ces charges sont soit permanentes, soit transitoires, ou encore, exceptionnelles.

**Charges permanentes**

Les charges permanentes agissent sur la structure pendant toute sa durée de vie en subissant très peu de variation. Elles sont, en quelque sorte, « intégrées » à la structure. Elles comprennent :

* le poids propre de la structure ;
* les forces causées par la pression des terres, à l’exception des forces induites par des charges en mouvement ;
* les forces induites par les déformations résultant des processus de fabrication ou d’érection (défauts de fabrication ou d’érection) ;
* les efforts induits par le retrait du béton et les distorsions résultant du soudage ;
* les forces causées par la pression de l’eau si cette pression ne varie pas dans le temps ;
* les efforts induits par les tassements différentiels des fondations ou des supports ;
* les efforts de précontrainte.

Les charges permanentes sont généralement faciles à déterminer puisque l’ingénieur possède un assez bon contrôle sur les paramètres qui les caractérisent. C’est la raison pour laquelle les coefficients de pondération recommandés par les normes de calcul sont relativement faibles pour les charges permanentes dans la méthode de calcul aux états limites (voir la section 3.3[[3]](#footnote-3)). Elles ne sont pas, non plus, affectées par les coefficients de risque ou de simultanéité des charges puisqu’elles sont « permanentes ». Une des principales lacunes de la méthode de calcul aux contraintes admissibles (section 3.5[[4]](#footnote-4)) est de ne pas tenir compte de ces particularités de façon adéquate. Il en résulte généralement des structures plus sécuritaires, donc plus coûteuses.

**Surcharges**

Les surcharges sont les charges qui agissent sur les structures pendant **une période déterminée**. Elles peuvent être récurrentes, mais sont rarement de même intensité. Généralement, les structures ont pour principale fonction de résister à ces charges : les surcharges d’habitation dans les bâtiments, le trafic routier sur les ponts, etc. Souvent, elles les subissent : le vent, la glace, la neige, etc.

Il est possible et utile de diviser les surcharges en trois catégories selon leur durée d’application dans le temps :

* Les surcharges de longue durée, qui, en fait, sollicitent les structures pendant toute leur durée de vie. Leur importance relative, en termes de poids, est généralement assez grande. Par exemple, on trouve dans cette catégorie le poids des éléments non structuraux utilisés dans la construction (recouvrements de planchers, plafonds, certaines parois, etc.), l’ameublement, la machinerie, la marchandise entreposée, les voitures garées, etc.
* Les surcharges de courte durée, qui sollicitent les structures pendant une période relativement courte par rapport à leur durée de vie. L’intensité de ces charges peut être très variable d’une fois à l’autre pour un même type de charge, ou très variable entre les différents types de charges. Les surcharges de courte durée sont toutes plus ou moins récurrentes. On trouve dans cette catégorie, les surcharges d’utilisation des structures par les occupants (foules en déplacement, rassemblements, etc.), le trafic routier (autos, camions, etc.), les actions du vent, la poussée des glaces sur les piles de ponts, le poids de la glace sur les structures exposées, les séismes, etc.
* Les surcharges de durée intermédiaire, qui peuvent, à la rigueur, former une sous-catégorie. Elles sollicitent les structures de façon importante pendant une période plus appréciable que celle de la catégorie précédente, avec toutes les conséquences que cela peut comporter. Cette catégorie peut inclure les surcharges dues à la neige ou à la rétention d’eau sur les toitures, les surcharges dues à la variation des liquides dans les réservoirs, les effets des variations de température, etc.

**Charges exceptionnelles**

Les charges exceptionnelles sont celles qui ont peu de chances de solliciter une structure, mais dont il faut généralement tenir compte dans les calculs. Ce sont souvent les normes et les codes qui imposent ou suggèrent qu’on en tienne compte, mais c’est souvent de l’équipe de conception que relève la décision finale. On peut placer dans cette catégorie, les charges de collisions, les explosions, les feux, les tassements différentiels des fondations et appuis, les séismes dans les régions non reconnues pour leur activité sismique, etc. les ministères des transports émettent souvent des permis autorisant le passage de camions de « charge exceptionnelle » sur certains ponts. Cette permission implique des calculs de la part de l’ingénieur responsable et un suivi des opérations.

## Diapositive 12 :

Limitation de l'ouverture de fissure: non-corrosion des aciers

*Efficient: (*[*Anglicisme*](https://fr.wiktionary.org/wiki/Annexe:Glossaire_grammatical)*)* [Efficace](https://fr.wiktionary.org/wiki/efficace) avec un [effort](https://fr.wiktionary.org/wiki/effort) réduit, un [coût](https://fr.wiktionary.org/wiki/co%C3%BBt) réduit ou une [consommation](https://fr.wiktionary.org/wiki/consommation) réduite.

## Diapositive 13 :

La norme S6, qui régit le calcul des ponts reconnaît plutôt trois catégories d’états limites: ultimes, de service et de fatigue, étant donné que la fatigue est un aspect important de la conception d’un pont

## Diapositive 22 :

[C](http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/qui/)oncomitante: [Qui](http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/qui/) [se réalise](http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/se-realiser/) [en même temps](http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/en-meme-temps/) qu'[un](http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/un/) [autre](http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/autre/) [fait](http://www.linternaute.com/dictionnaire/fr/definition/fait/).

**Pondération et combinaison des charges:**

Pour la pondération et la combinaison des charges définies dans le tableau 1.6 (voir acétate), il faut utiliser une seconde classification, laquelle consiste à appeler charge principale, la charge variable qui prédomine dans une combinaison donnée de charges, et charge d’action concomitante, la charge variable qui accompagne la charge principale dans une combinaison de charges quelconque.

**Combinaisons de charge à l'ELU (CNBC2015)**

<https://www.youtube.com/watch?v=Yo7N4d_Uglg>

## Diapositive 30 :

Au moment d’une évaluation pour la circulation normale, l’évaluateur doit se conformer aux spécifications de la norme CAN/CSA-S6-00 pour le calcul du CMD (coefficient de majoration dynamique ). Le CMD retenu ne doit cependant pas être inférieur à 0,25, à moins que la structure ne soit un ouvrage sous remblai (voir l’article 3.8.4.5.2 de la norme S6-00) dans lequel cas le CMD peut être réduit jusqu’à 0,1.

Dans la norme canadienne, le CMD ne s’applique pas à la surcharge de voie. En effet, cette surcharge se veut représentative d’un bouchon de circulation où tous les véhicules sont immobilisés sur la structure. La surcharge de voie peut également être représentative de passages simultanés de plusieurs camions sur le pont. Il est très peu probable que toutes les amplifications induites par l’ensemble de ces véhicules soient en phase et que les effets maximaux s’additionnent. La tendance observée est plutôt celle d’une atténuation mutuelle.

Le CMD ne s’applique donc qu’à la surcharge de camions et **varie, en l’absence de remblai, de 0,25 à 0,40 selon le nombre d’essieux qui produira les conditions de sollicitations maximales**. Le nombre d’essieux est le paramètre retenu parce qu’il sous-entend le poids total du véhicule. En effet, plus le nombre d’essieux est élevé, plus la masse du véhicule est importante. Or, les résultats expérimentaux tendent à démontrer que l’amplification dynamique serait inversement proportionnelle à la masse du camion qui la génère. L’utilisation d’un CMD qui est fonction du nombre d’essieux exige la prise en compte de plusieurs configurations d’essieux. Le tableau 3.13-1 (voir acétate 30) rassemble les valeurs à prendre pour le CMD dans différentes circonstances.

## Diapositive 38 :

Pendant longtemps, la méthode de calcul aux contraintes admissibles a été la méthode la plus universellement utilisée par les ingénieurs de calcul. C’est avec l’arrivée de la méthode de calcul aux états limites, dans les années 1960, qu’elle a graduellement été délaissée. Puisqu’elle est encore en vigueur dans certaines normes et puisque l’ingénieur concepteur est souvent appelé à vérifier des ouvrages existants qui, à l’époque, ont été calculés à l’aide de cette méthode, il apparaît opportun de présenter, dans ses grandes lignes, la méthode de calcul aux contraintes admissibles.

La règle fondamentale de calcul s’écrit de la façon suivante :

(3.10)

Dans cette équation, σa est la contrainte admissible qui doit toujours être supérieure à la contrainte calculée (σ) en considérant le plus critique des cas de chargement, F est la contrainte nominale (Fy ou Fu pour la traction) et n est le coefficient (ou facteur) de sécurité.

Le calcul des efforts à l’étape de l’analyse est donc effectué avec les charges prescrites (charges de service ou charges d’utilisation) et tout est ramené sous forme de contraintes dans les pièces, éléments de pièces, assemblages et éléments d’assemblages. Par exemple, un effort de traction exprimé en kilo-newton dans une pièce devient une contrainte exprimée en méga-pascal lorsqu’elle est divisée par la section de la pièce en mm2. Certains considéreront que c’est une étape de calcul de trop; d’autres seront d’avis contraire. Dans la méthode de calcul aux états limites, on est souvent obligé de faire des vérifications au niveau des contraintes.

Un exemple de conditions de chargement peut être obtenu de la référence (3.6[[5]](#footnote-5)), pour un calcul des bâtiments aux contraintes admissibles. Les symboles utilisés dans les équations suivantes sont définis à la sous-section 3.5.2[[6]](#footnote-6).

## Diapositive 40 :

**Théorie probabiliste de la sécurité :**

Les ingénieurs ont défini la sécurité par un seuil de probabilité; un ouvrage sera acceptable si la probabilité de ruine reste inférieure à une probabilité fixée à l’avance. Cette valeur varie en fonction de la durée de vie de la construction, du risque et du coup. Cette méthode a multiples difficultés.

1-On ne peut pas définir la probabilité de ruine et son évolution dans le temps.

2- On ne peut pas recenser tous les facteurs aléatoires d’une incertitude.

# États limites d’utilisation

## Diapositive 43 :

L’étude des charges appelées à solliciter les structures est, en soi, une science très complexe. Plusieurs y consacrent leur carrière. Des données sont compilées, parfois pendant de très longues périodes, pour être ensuite traitées statistiquement et présentées dans des codes sous forme de règles de calcul d’utilisation pratique.

Plusieurs manuels ont été publiés pour expliquer aux ingénieurs et aux techniciens des structures comment faire un usage rationnel de ces règles à l’étape de l’analyse. La référence (3.9) est un exemple de ce type d’ouvrage. Ce n’est toutefois pas le but des manuels de dimensionnement, comme le présent volume, de présenter en détail les différentes charges à considérer pour le dimensionnement et le conditionnement des pièces. Par contre, il est essentiel d’aborder ce sujet puisque les charges présentent différentes caractéristiques qui affectent directement le dimensionnement et le conditionnent. Le sujet est ainsi traité de façon plus descriptive que technique.

La classification qui suit a été empruntée à la référence (3.10). Elle permet l’identification des charges et la démonstration de leur influence sur le dimensionnement.

**3.3.2 Définitions**

Les structures sont sollicitées soit par des actions directes (charges concentrées et distribuées), soit par des actions indirectes (déformations imposées).

## Diapositive 44 :

Les états limites d’utilisation concernent la mise hors d’usage qui pourrait résulter de déformations, de vibrations ou d’autres effets dynamiques trop incommodants pour les usagers de l’ouvrage.

Les déformations de la charpente et de ses composantes doivent être suffisamment faibles pour ne pas gêner le confort des occupants ni le fonctionnement de l’équipement. De plus, les éléments non structuraux supportés par la charpente, tels que cloisons, maçonneries, vitrages, revêtements, etc., ne doivent pas être endommagés de façon inadmissible par les déformations de la charpente et de ses composantes.

Comme il s’agit d’états limites d’utilisation, les déformations sont calculées avec les charges d’utilisation, c’est-à-dire les charges prévues au projet sans application de coefficients de pondération. Sous ces charges, le comportement des pièces est élastique et on peut utiliser les équations classiques de la résistance des matériaux. Généralement, ce sont les déformations dues au moment fléchissant qui contrôlent, mais ce n’est pas une règle absolue.

Les charpentes d’aluminium risquent d’être davantage affectées par les états limites d’utilisation que ne le sont les charpentes d’acier en raison du module élastique moins élevé de l’aluminium, couplé à des valeurs de résistance qui peuvent approcher celles de l’acier. Le coefficient d’expansion thermique plus élevé entraîne aussi des déformations plus grandes des structures d’aluminium. Il est ainsi fort probable que les effets du deuxième ordre jouent un rôle déterminant sur la stabilité des charpentes d’aluminium (voir plus bas). Comme on l’a déjà mentionné, le concepteur a donc tout intérêt à tenir compte des états limites d’utilisation dans ses calculs préliminaires.

## Diapositive 46 :

**3.7.2 Déformations**

Les déformations des structures peuvent être groupées en déformations axiales, déformations de flexion et déformations de cisaillement.

Les déformations axiales sont généralement négligeables dans les pièces fléchies, mais pas dans les structures principalement constituées de pièces sollicitées en traction et en compression, tels les treillis. On peut obtenir un estimé de la déformée (ΔL) en utilisant l’équation bien connue :

Où T est l’effort de traction, L est la longueur de la pièce, E = 70 000 MPa et A est l’aire de la section.

Les déformations de cisaillement sont négligeables dans les poutres et poutres assemblées, mais pas dans les treillis, une fois de plus.

Les flèches latérales et verticales causées par la flexion des pièces sont systématiquement supérieures aux autres types de déformations. Par conséquent, on doit toujours en tenir compte.

Cependant, puisque la capacité portante des structures est indépendante des états limites d’utilisation, les normes sont souvent muettes sur les limites à respecter pour les déformations, elles se contentent trop souvent de mentionner l’importance d’en tenir compte.

Certains codes et normes, telles les références (3.6 et 3.16[[7]](#footnote-7)) suggèrent quelques limites pour les flèches verticales des planchers et les flèches latérales des charpentes. Les limites pour la déformation des planchers ne s’appliquent qu’à la surcharge et aux charges permanentes autres que le poids de la charpente, c’est-à-dire aux éléments non structuraux. En effet, seule ces charges peuvent, par exemple, gêner le fonctionnement d’appareils car, lors de leur installation, les flèches dues au poids de la charpente sont déjà présentes.

Pour les planchers les plus courants (logements, bureaux, écoles, hôpitaux), on recommande de limiter la flèche verticale due aux surcharges à un trois centième de la portée (L/300). Si les planchers supportent des éléments non structuraux susceptibles de se fissurer, on recommande de limiter la flèche due aux surcharges à un trois cent soixantième de la portée (L/360). Il faut toutefois noter que, dans ce cas, la valeur limite de la flèche n’est pas nécessairement fonction de la portée. Il est préférable de vérifier auprès du manufacturier, les déformations que peuvent endurer sans problèmes ces éléments.

## Diapositive 49 :

Les limites pour la déformation des planchers ne s’appliquent qu’à la surcharge et aux charges permanentes autres que le poids de la charpente, c’est-à-dire aux éléments non structuraux. En effet, seule ces charges peuvent, par exemple, gêner le fonctionnement d’appareils cas, lors de leur installation, les flèches dues au poids de la charpente sont déjà présentes.

Pour les planchers les plus courants (logements, bureaux, écoles, hôpitaux), on recommande de limiter la flèche verticale due aux surcharges à un trois centième de la portée (L/300). Si les planchers supportent des éléments non structuraux susceptibles de se fissurer, on recommande de limiter la flèche due aux surcharges à un trois cent soixantième de la portée (L/360). Il faut toutefois noter que, dans ce cas, la valeur limite de la flèche n’est pas nécessairement fonction de la portée. Il est préférable de vérifier auprès du manufacturier, les déformations que peuvent endurer sans problèmes ces éléments.

Pour ce qui est des flèches dues à la charge permanente, si elles sont trop importantes, on peut les contrer en donnant aux poutres une cambrure ou contreflèche. Pour les toitures plates ou à très faible pentes, une contreflèche égale ou supérieure à la flèche due à la charge permanente peut éliminer les problèmes causés par la formation de mares d’eaux. Dans certaines applications en acier, on propose des contreflèches égales à la flèche due à la charge permanente plus la moitié de celle due à la surcharge.

Le tableau 3.15, extrait de la référence (3.16[[8]](#footnote-8)), présente quelques valeurs limites à respecter pour les flèches verticales et horizontales dans les bâtiments. Il peut parfois s’avérer nécessaire de modifier ces valeurs pour les adapter à certaines structures en aluminium. Dans la référence (3.10[[9]](#footnote-9)), une flèche maximale d’un quatre centième de la portée (1/400) est proposée au lieu de 1/360 pour la condition B.1 du tableau 3.15[[10]](#footnote-10). Par contre, la limite est augmentée à 1/200 lorsque les charges permanentes sont aussi considérées. La limite est fixée à un cinq centième de la hauteur de la structure (1/500), au lieu de 1/400 pour le cas B.2 du tableau 3.15, pour les multi-étages, les tours, les mâts et les treillis.

## Diapositive 51 :

La référence (3.12[[11]](#footnote-11)) propose l’utilisation de la figure 3.6 (voir acétate) pour évaluer la flèche admissible en fonction de la première fréquence de vibration du pont.

## Diapositive 53 :

Les sollicitations dynamiques appliquées aux planchers de bâtiment peuvent produire deux types de vibrations : les vibrations continues et les vibrations transitoires.

**Les vibrations continues** sont causées par les mouvements périodiques de machines ou de véhicules, et par certaines activités humaines rythmiques, telle la danse.

**Les vibrations transitoires** sont généralement causées par les déplacements des occupants (circulation piétonne). Elles disparaissent d’autant plus rapidement que la capacité d’amortissement est grande.

La réponse d’un plancher à une sollicitation dynamique dépend du type d’excitation (continue ou transitoire), de la fréquence fondamentale du plancher et de sa capacité d’amortissement. Cette réponse, c’est-à-dire les vibrations du plancher, ne doit pas dépasser le seuil de tolérance des utilisateurs du bâtiment. Le seuil de tolérance est souvent exprimé en fonction de l’accélération maximale des vibrations résultant de la sollicitation dynamique.

Dans le texte qui suit, il ne sera question que des vibrations **transitoires dues à la circulation des occupants d’un bâtiment**. Ces vibrations doivent être vérifiées pour les planchers mixtes ou non mixtes, ayant des portées entre 7 et 20 mètres et des fréquences fondamentales entre 4 et 15 hertz (1 hertz = 1 cycle par seconde). Quant aux vibrations continues, elles doivent généralement faire l’objet d’études spéciales. Ainsi, pour les planchers à longue portée, utilisés pour des activités humaines rythmiques, il est recommandé, dans la référence (3.6[[12]](#footnote-12)), de faire une analyse dynamique si la fréquence fondamentale du plancher est inférieure à 6 hertz.

## Diapositive 54 :

Dans le texte qui suit, il ne sera question que des vibrations transitoires dues à la circulation des occupants d’un bâtiment. Ces vibrations doivent être vérifiées pour les planchers mixtes ou non mixtes, ayant des portées entre 7 et 20 mètres et des fréquences fondamentales entre 4 et 15 hertz (1 hertz = 1 cycle par seconde). Quant aux vibrations continues, elles doivent généralement faire l’objet d’études spéciales. Ainsi, pour les planchers à longue portée, utilisés pour des activités humaines rythmiques, il est recommandé, dans la référence (3.6), de faire une analyse dynamique si la fréquence fondamentale du plancher est inférieure à 6 hertz.

## Diapositive 55 :

Le pourcentage d’amortissement disponible dans le plancher est plus difficile à évaluer que les paramètres f et ao. Il dépend du type de plancher et de la présence d’éléments comme les cloisons, les meubles, les canalisations, les faux plafonds, canalisations et finition de planchers (tuiles, tapis, etc.), **le pourcentage d’amortissement est d’environ 5 %.** Les cloisons peuvent faire augmenter de façon significative l’amortissement, particulièrement si elles sont espacées d’au plus 6 mètres et placées dans les deux directions (poutres et poutres principales). Dans de telles conditions, on peut ajouter 6 % à l’amortissement disponible, ce qui donne environ 11 % pour le plancher précédent.

1. PICARD, A, *Analyse des structures,* Éditions Beauchemin ltée, Laval, Québec, 1992 [↑](#footnote-ref-1)
2. MAZZOLINI, F.M, *Aluminium alloys structures,* 2nde Edition, E & FN SPON, 1995 [↑](#footnote-ref-2)
3. Les Presses De L’Aluminium, PRAL, *Calcul des charpentes d’aluminium,* Denis Beaulieu, p149 [↑](#footnote-ref-3)
4. Les Presses De L’Aluminium, PRAL, *Calcul des charpentes d’aluminium,* Denis Beaulieu, p159 [↑](#footnote-ref-4)
5. CONSEIL NATIONAL DE RECHERCHES CANADA, *Code national du bâtiment-Canada 1995*, Ottawa, Ontario, Canada, 1995 [↑](#footnote-ref-5)
6. Les Presses De L’Aluminium, PRAL, *Calcul des charpentes d’aluminium,* Denis Beaulieu, p160 [↑](#footnote-ref-6)
7. Les Presses De L’Aluminium, PRAL, *Calcul des charpentes d’aluminium,* Denis Beaulieu, pp232-233 [↑](#footnote-ref-7)
8. Les Presses De L’Aluminium, PRAL, *Calcul des charpentes d’aluminium,* Denis Beaulieu, p233 [↑](#footnote-ref-8)
9. Les Presses De L’Aluminium, PRAL, *Calcul des charpentes d’aluminium,* Denis Beaulieu, p233 [↑](#footnote-ref-9)
10. Les Presses De L’Aluminium, PRAL, *Calcul des charpentes d’aluminium,* Denis Beaulieu, p178 [↑](#footnote-ref-10)
11. Les Presses De L’Aluminium, PRAL, *Calcul des charpentes d’aluminium,* Denis Beaulieu, p233 [↑](#footnote-ref-11)
12. Les Presses De L’Aluminium, PRAL, *Calcul des charpentes d’aluminium,* Denis Beaulieu, p232 [↑](#footnote-ref-12)