

Soumettre un commentaire

Modification proposée 1980

Renvoi(s) :	CNB20 Div.B 4.1.3.2. (première impression) CNB20 Div.B 4.1.6.2. (première impression) CNB20 Div.B 4.1.6.5. (première impression) CNB20 Div.B 4.1.6.7. (première impression) CNB20 Div.B 4.1.6.9. (première impression) CNB20 Div.B 4.1.6.10. (première impression) CNB20 Div.B 4.1.7.3. (première impression) CNB20 Div.B 4.1.8.2. (première impression)
Sujet :	Charges climatiques
Titre :	Charges spécifiées dues au vent et à la neige dans la partie 4
Description :	La présente modification proposée révisé les dispositions relatives aux charges dues au vent et à la neige afin de tenir compte des modifications potentielles des charges découlant des changements climatiques.
Demande(s) de modification à un code connexe(s) :	DMC 1639, DMC 1638, DMC 1626, DMC 1625, DMC 1624, DMC 1623, DMC 1622, DMC 1621, DMC 1620, DMC 1619, DMC 1618, DMC 1617
Modification(s) proposée(s) connexe(s) :	FMP 1979, FMP 2018, FMP 2048

La présente modification pourrait avoir une incidence sur les éléments suivants :

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Division A | <input checked="" type="checkbox"/> Division B |
| <input type="checkbox"/> Division C | <input type="checkbox"/> Conception et construction |
| <input type="checkbox"/> Exploitation du bâtiment | <input checked="" type="checkbox"/> Maisons |
| <input checked="" type="checkbox"/> Petits bâtiments | <input checked="" type="checkbox"/> Grands bâtiments |
| <input type="checkbox"/> Protection contre l'incendie | <input type="checkbox"/> Sécurité des occupants |
| <input type="checkbox"/> Accessibilité | <input checked="" type="checkbox"/> Exigences structurales |
| <input type="checkbox"/> Enveloppe du bâtiment | <input type="checkbox"/> Efficacité énergétique |
| <input type="checkbox"/> Chauffage, ventilation et conditionnement d'air | <input type="checkbox"/> Plomberie |
| | <input type="checkbox"/> Chantiers de construction et de démolition |

Problème

Les effets des changements climatiques ne sont pas encore abordés dans le CNB

Dans la partie 4 de l'édition de 2020 et des éditions précédentes du CNB, il est supposé que les statistiques sur les données climatiques utilisées dans le calcul des structures étaient indépendantes du temps (ou « stationnaires »). Bien que le CNB ne le précise pas explicitement, la durée utile des bâtiments a été implicitement établie à 50 ans. De ce fait, les données climatiques de calcul du CNB ont été mises à jour pour chaque cycle d'élaboration des codes en fonction des observations météorologiques antérieures qui ont été recueillies et analysées par Environnement et Changement climatique Canada (ECCC), selon l'hypothèse que les statistiques antérieures continueront à s'appliquer à l'avenir. Compte tenu des multiples données probantes attestant que le climat subit des changements partout au Canada, cette pratique soulève de véritables préoccupations quant à la sécurité liée au calcul des systèmes structuraux principaux et de l'enveloppe des bâtiments, car ils doivent résister aux charges climatiques telles que celles dues à la neige et au vent.

De plus, dans l'édition actuelle du CNB, les données sur le vent sont fondées principalement sur des observations synoptiques et ne tiennent pas compte des diverses influences climatiques existantes au Canada, où certaines régions sont plus sujettes aux orages de convection locaux. Le réchauffement climatique devrait exacerber ce phénomène à l'avenir.

Une approche des aléas uniformes dans le calcul des charges induit une probabilité de défaillance non uniforme

Les études de fiabilité ont également soulevé un autre problème : la méthode actuellement utilisée dans le CNB pour le calcul des structures des bâtiments repose sur ce qu'on appelle une approche des « aléas uniformes ». Selon celle-ci, les charges de référence dues au vent et à la neige dans diverses régions du Canada ont une probabilité annuelle de dépassement de 1/50, ce qui correspond à une période de récurrence de 50 ans. Le critère de sécurité minimal adopté dans le CNB, exprimé sous la forme d'un indice de fiabilité de 3,0, correspond à une probabilité de défaillance (c.-à-d. la probabilité que les effets des charges soient supérieurs à la résistance d'un élément structural d'un bâtiment) de 0,001 pendant la durée utile présumée de 50 ans d'un bâtiment de la catégorie de risque normal. Afin de parvenir à une probabilité de défaillance acceptable, les « charges spécifiées de calcul », ou « charges de service », ont été multipliées par des coefficients de charge (1,5 pour la neige et 1,4 pour le vent) pour calculer les « charges ultimes » appliquées dans les calculs, où le coefficient de charge est fonction de l'indice de fiabilité cible et de la variabilité de la charge. Ces coefficients étaient considérés comme constants dans toutes les régions du Canada. Cependant, des études de fiabilité [1] ont montré qu'en raison du comportement variable du vent et de la neige dans les diverses régions du Canada et des incertitudes liées aux charges dues au vent et à la neige relevées par leurs coefficients de variation, cette approche entraîne une probabilité de défaillance non uniforme à l'échelle du pays. La probabilité de défaillance peut varier d'un facteur allant jusqu'à 10, selon la région du projet, et cette variabilité pourrait être exacerbée par les changements climatiques.

Des ajustements de la charge due à la neige sur les toits sont requis pour refléter les effets de balayage et l'augmentation de l'isolation du toit

D'autres problèmes existent en ce qui concerne les coefficients utilisés pour convertir les charges de référence dues à la neige au sol en charges dues à la neige sur les toits de différentes configurations. Il était également supposé que ces coefficients, qui sont censés refléter les effets de balayage de la neige des toits par le vent et l'amoncellement de neige, étaient essentiellement les mêmes dans toutes les régions du Canada. Des recherches récentes [1] (également appuyées par des données probantes anecdotiques antérieures) ont montré que la capacité du vent à balayer la neige ou à former des amoncellements dépend de la combinaison des températures ambiantes et de la vitesse du vent pendant les mois d'hiver. Cette combinaison varie considérablement selon la région. Par exemple, le climat hivernal est plus doux à Vancouver, où la neige a tendance à fondre rapidement. Habituellement, le vent ne balaie pas la neige des toits et ne crée pas d'amoncellements de neige aussi importants qu'à Winnipeg, où les épisodes de froid et de vent fort sont plus longs. Des études [1] ont permis de déterminer comment les coefficients de conversion sol-toit peuvent refléter de façon plus rationnelle les différences climatiques régionales, tant aujourd'hui qu'à l'avenir, à mesure que le climat évolue.

Les charges dues à la neige sur les toits sont également affectées par la combinaison de la température interne du bâtiment, de la température externe et du degré d'isolation du toit, un phénomène qui n'est pas pris en compte dans l'édition actuelle du CNB. Or, d'autres codes et normes utilisent un coefficient de température pour en tenir compte. Étant donné l'évolution du climat et la tendance à mieux isoler les toits pour rendre les bâtiments plus écoénergétiques, il y a lieu d'introduire un coefficient thermique, C_T , pour évaluer les charges dues à la neige sur les toits dans la partie 4 du CNB.

Justification

Mise à jour des données climatiques pour tenir compte des changements climatiques

ECCC a mené des recherches approfondies sur l'évolution probable des statistiques climatiques dans diverses régions du Canada d'ici 2100 selon divers scénarios d'émissions de gaz à effet de serre (GES), dont les profils représentatifs d'évolution de concentration RCP2.6, RCP4.5, RCP6 et RCP8.5.

Ces recherches offrent un fondement rationnel pour les projections des charges climatiques, telles que celles dues au vent et à la neige, pendant la durée utile des bâtiments dans différentes régions, et pour l'inclusion des effets futurs prévus des charges climatiques dans le CNB. Pour ce qui est de l'édition 2025 du CNB, l'approche proposée pour tenir compte des effets des changements climatiques dans les données climatiques utilisées pour la conception des bâtiments est fondée sur le scénario RCP8.5 (8,5 W/m²), qui correspond à un scénario de réchauffement mondial de 2,5 °C sur 50 ans. Les données climatiques mises à jour se trouvent dans le FMP 1979.

Le scénario RCP8.5 a été retenu par consensus à l'échelle du pays parmi les climatologues et les spécialistes des codes, y compris les responsables de la réglementation, puisque les différences entre les scénarios climatiques de l'étude d'ECCC étaient minimes et conformes aux incertitudes inhérentes aux prévisions du modèle sur la durée utile de 50 ans d'un bâtiment.

De façon générale, la température et les précipitations devraient croître dans toutes les régions du pays d'ici 2100, les charges dues au vent devraient augmenter dans la plupart des régions du pays et les charges dues à la neige au sol devraient diminuer dans l'ensemble des régions, à l'exception du Grand Nord, où une certaine hausse est attendue [2].

En ce qui concerne les données relatives au vent, les tempêtes de vent synoptiques et les vitesses de calcul du vent pour les orages (tempêtes de vent convectives) ont été étudiées séparément. Les pires effets ont été consignés dans le tableau C-2 conformément à l'approche minimax (voir le FMP 1979). Ce nouvel aspect est important, car les orages et les tempêtes synoptiques pourraient connaître des changements à mesure que le climat évolue.

Ajustement des charges pour tenir compte de leur non-stationnarité dans un contexte de changements climatiques

Les résultats obtenus grâce au scénario RCP8.5, qui correspond à un réchauffement mondial de 2,5 °C, ont été adoptés pour établir les charges climatiques futures aux fins du calcul des structures. Les comparaisons ont été effectuées dans le cas d'un bâtiment construit en 2025 ayant une durée utile de 50 ans. Les variations entre les quatre scénarios RCP de l'étude d'ECCC [2] sont demeurées dans une fourchette étroite. La prudence a présidé la décision de choisir le scénario RCP8.5, car l'évolution des variables climatiques au cours des 50 prochaines années est incertaine. Des études récentes [1] ont révélé l'importance statistique de la non-stationnarité des vitesses extrêmes du vent et des charges dues à la neige au sol, d'après les projections établies par ECCC [2] pour de nombreuses régions au Canada.

De ce fait, une approche d'analyse non stationnaire des valeurs extrêmes, appelée « méthode minimax », est proposée pour déterminer la pire année de la durée utile d'un bâtiment afin que la probabilité annuelle de défaillance reste suffisamment faible pendant toute sa durée utile. Par exemple, en ce qui a trait les charges dues au vent, les projections prévoient principalement des hausses de la pression de référence. Ainsi, la pire année de la durée utile du bâtiment est la dernière. Pour ce qui est des charges dues à la neige au sol, les projections font principalement état de diminutions, ce qui signifie que la première année de la durée utile est la pire.

Les projections climatiques d'ECCC [2] ont permis de concevoir des coefficients régionaux de changement climatique pouvant être appliqués aux valeurs de référence du vent et de la neige dans différentes régions du pays. Ces coefficients ont été employés pour déterminer les valeurs de référence dans le tableau C-2 du CNB, « Données climatiques de calcul pour certaines localités canadiennes ».

Introduction de l'approche des risques uniformes dans les calculs aux états limites ultimes (ÉLU)

Pour remédier aux lacunes liées à la variabilité de la probabilité de défaillance à l'échelle du pays, une approche dite « des risques uniformes » est proposée, selon laquelle des « charges ultimes » sont spécifiées de façon directe pour chaque localité ayant des coefficients de charge de 1,0. Cette approche est semblable à celle utilisée pour le calcul parasismique dans le CNB et à d'autres approches adoptées à l'échelle internationale. La norme ASCE/SEI 7, « Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures », a notamment utilisé les risques uniformes pour les charges dues au vent depuis l'édition de 2010 [3] (et plus récemment pour les charges dues à la neige depuis l'édition de 2022); il en va de même pour l'Australian Building Code, de nombreuses années auparavant [4].

Les coefficients de changement climatique ont été calculés en comparant les niveaux de calcul futurs, déterminés au moyen de l'approche minimax, les niveaux de calculs étant déterminés selon une période historique stationnaire selon l'approche conventionnelle. Pour ce qui est des pressions du vent de calcul utilisées en référence, la plupart des régions au Canada ont un coefficient de changement climatique de 1,05, alors qu'en Ontario, dans les provinces de l'Atlantique et à l'ouest du 120^e méridien, en Colombie-Britannique, le coefficient de changement climatique est de 1,1. Pour les charges dues à la neige au sol, les territoires du Nord ont un coefficient de changement climatique de 1,05, tandis que la plupart des autres régions ont un coefficient de changement climatique de 1,0. Ce scénario est fondé sur le climat actuel (voir la référence [5] et le FMP 1979).

Pour en arriver aux coefficients de changement climatique pour l'approche des risques uniformes, des probabilités de dépassement annuelles cibles de 1/500 pour le vent et de 1/1000 pour la neige ont été choisies pour les bâtiments de la catégorie de risque normal. La pire valeur de référence pendant la durée utile a été comparée à la valeur actuelle employée dans le CNB 2020 (avec une probabilité annuelle de dépassement de 1/50 tant pour le vent que pour la neige). Dans l'approche proposée des risques uniformes, les pressions de vent de référence et les charges dues à la neige au sol ont des probabilités annuelles de dépassement beaucoup plus faibles, tout en éliminant la nécessité de coefficients de charges (c'est-à-dire en les fixant à 1,0) pour le vent et la neige. Les probabilités de dépassement annuelles de 1/500 et de 1/1000 ont été choisies pour maintenir le risque de défaillance moyen partout au pays, sans prise en compte des changements climatiques. En conséquence, la même probabilité de défaillance cible d'environ 1/1000 est établie, mais elle varie moins d'une localité à l'autre.

Révision de la formule de calcul de la charge due à la neige sur les toits afin de tenir compte des effets de balayage et de perte de chaleur

En ce qui concerne l'accumulation de neige sur un toit, il est important de comprendre la relation entre la quantité de neige sur un toit et la quantité de neige au sol. Dans le CNB, cette relation est caractérisée par la combinaison du coefficient de base de charge de neige sur le toit, C_b , et du coefficient d'exposition au vent, C_w . Un examen des dispositions actuelles du CNB 2020 révèle que la combinaison $C_b C_w$ varie entre 0,4 et 1,0, en fonction de la taille du toit et de l'exposition au vent. Cependant, le coefficient d'exposition au vent ne tient pas compte des variations de la vitesse du vent et de la température à l'échelle du pays, qui peuvent avoir une incidence importante sur la répartition de la neige sur les toits.

Les effets de la vitesse du vent et de la température en hiver ont été évalués de façon paramétrique pour la plage représentative de stations utilisées pour observer les variations de la charge de neige au sol. Les charges simulées dues à la neige au sol ont été comparées aux accumulations déterminées pour une plage de tailles de toits. De façon générale, les bâtiments situés dans des régions froides, où la neige s'accumule sur le toit tout au long des mois d'hiver et où la vitesse du vent est relativement élevée, sont beaucoup plus exposés au balayage de la neige sur les toits que les bâtiments situés dans des régions plus chaudes, où la vitesse du vent est moins élevée. Le coefficient d'exposition au vent, C_w , qui est actuellement utilisé dans la formule de calcul de la charge due à la neige dans le CNB, ne tient pas compte des variations de la quantité de neige balayée par le vent en fonction des conditions climatiques locales. Les différences locales de températures et de vitesse du vent en hiver entraînent des variations quant au balayage de la neige sur la surface d'un toit. Les dispositions actuelles reflètent ces variations sous la forme d'une réduction de la charge due à la neige en raison du balayage plus important sur les toits exposés. Cependant, elles ne tiennent pas compte du potentiel de réduction du balayage dans les climats plus chauds ou dans les régions où la vitesse du vent est faible.

Une modification de la définition du coefficient C_w est proposée pour tenir compte de ces variations. De plus, l'épaisseur des amoncellements de neige dans les surfaces surplombées, comme les zones de dénivellation du toit, est réduite dans les régions où les hivers sont plus doux. Cette variation peut être prise en compte en révisant le coefficient d'accumulation de neige, C_a .

Il est également à noter que l'édition actuelle du CNB ne traite pas directement de la quantité de fonte causée par la perte de chaleur par le toit. Les données historiques de la neige sur les toits utilisées pour l'étalonnage ont été recueillies pour diverses localités et de géométries de toit sans différencier le niveau d'isolation du toit. Cette lacune peut devenir particulièrement problématique pour les nouveaux bâtiments conçus de façon à respecter la performance énergétique améliorée requise dans le CNB 2020 et le CNÉB 2020.

L'augmentation de la quantité d'isolants requise dans la toiture entraîne une réduction de la fonte de la neige causée par la perte de chaleur et, par conséquent, une augmentation potentielle de l'épaisseur de la neige. L'introduction proposée d'un nouveau coefficient thermique, C_T , dans la formule de calcul de la charge due à la neige dans le CNB permet de remédier à ce problème. Ce coefficient thermique a été calculé de façon à inclure une réduction de la charge due à la neige sur le toit causée par la perte de chaleur. Ainsi, lorsqu'aucune perte de chaleur n'est prévue, le coefficient est de 1,0, ce qui devrait être le cas pour la plupart des nouveaux bâtiments. Si la température interne dans la zone directement sous la surface du toit ou si les propriétés d'isolation du toit ne sont pas connues ou sont très incertaines, le coefficient thermique doit correspondre à 1,0. Lorsque les conditions sont favorables à la fonte de la neige, le coefficient C_T ne doit pas être inférieur à 0,7.

Études d'étalonnage et avantages de l'approche des risques uniformes

En ce qui concerne les charges dues au vent, les variations régionales dans la probabilité de défaillance pourraient être réduites de façon significative grâce à l'adoption de périodes de récurrence ultimes (probabilité annuelle de dépassement de 1/500) pour la pression de vent de référence, conformément à l'approche des risques uniformes. Une procédure d'étalonnage de charges [1] démontre que la plage de variabilité de la probabilité de défaillance et de l'indice de fiabilité diminue considérablement avec l'approche des risques uniformes. Pour illustrer les avantages de la nouvelle approche, les deux cas suivants ont été pris en compte :

- un cas d'aléas uniformes présentant une période de récurrence de 50 ans et un coefficient de charges dues au vent de 1,4, correspondant à ce qui est utilisé actuellement dans le CNB 2020; et
- un cas de risques uniformes présentant une période de récurrence de 500 ans et un coefficient de charges dues au vent de 1,0.

Des cas de bâtiments tenant compte des catégories de risque faible, normal et élevé ainsi que de protection civile ont été examinés. Pour le cas des aléas uniformes, la valeur de la plage d'indice de fiabilité, β , est de 1,6 pour des coefficients de variation allant de 0,05 à 0,3. Pour le cas des risques uniformes, la valeur de la plage de β est considérablement réduite à 0,7 pour la même fourchette de valeur des coefficients de variation. La plupart des emplacements ont un coefficient de variation entre 0,1 et 0,2. Pour ces emplacements, l'approche des aléas uniformes présente une plage de β de 0,7, tandis que l'approche des risques uniformes présente une plage réduite à 0,25.

Nouvelles combinaisons de charges fondées sur les risques uniformes

En prévision du passage à l'approche des risques uniformes pour les charges dues au vent et à la neige, de nouveaux étalonnages de charges ont été effectués afin de mettre à jour les diverses combinaisons de charges de calcul nécessaires pour les états limites ultimes (ÉLU) et les états limites de tenue en service (ÉLTS). Les tableaux 4.1.3.2.-A et 4.1.3.2.-B du CNB pour les ÉLU ont été mis à jour, y compris la combinaison de charges relative aux charges sismiques dans le CNB 2020. La combinaison de charges dues à la neige sur les toits de E + 0,25S a été réévaluée et remplacée par E + 0,15S, où la variable S est maintenant fondée sur la probabilité annuelle de dépassement de 1/1000, et non de 1/50 pour les bâtiments de la catégorie risque normal. Le coefficient de 0,15 a été choisi pour que la valeur totale demeure équivalente à la valeur actuelle prescrite dans le CNB 2020 pour la plupart des localités. Aucune modification n'est exigée relativement aux ÉLTS dans le tableau 4.1.3.4. du CNB puisque les coefficients de risque révisés pour les ÉLTS du tableau 4.1.6.2. du CNB concernant la neige et du tableau 4.1.7.3. du CNB concernant le vent maintiennent essentiellement au même niveau les charges dues à la neige et au vent aux fins de tenue en service.

Références

- [1] RWDI Report No. 1702484 (2020). Development of Climate Change Provisions for Structural Design of Buildings and Implementation Plan in the National Building Code.
- [2] Cannon, A.J., Jeong, D.I., Zhang, X., Zwiers, F.W. (2020). Bâtiments et infrastructures publiques de base résistants aux changements climatiques : évaluation des effets des changements climatiques sur les données de conception climatique au Canada. Gouvernement du Canada, Ottawa (Ontario). 106 p. (<https://scenarios-climatiques.canada.ca/index.php?page=buildings-report-overview>).
- [3] American Society of Civil Engineers/Structural Engineering Institute (ASCE/SEI) 7-22 (2022). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.
- [4] Australian/New Zealand Standard (AS/NZS) 1170.2:2002 (2002). Structural design actions, Part 2: Wind actions.
- [5] Li, S.H., Irwin, P., Lounis, Z., Attar, A., Dale, J., Gibbons, M., Beaulieu, S. (2022). Effects of Nonstationarity of Extreme Wind Speeds and Ground Snow Loads in a Future Canadian Changing Climate. *Natural Hazards Review*, 23(4), 04022022.

MODIFICATION PROPOSÉE

[4.1.3.2.] 4.1.3.2. Résistance et stabilité

- [1] 1)** Les *bâtiments* et leurs éléments structuraux doivent être calculés de façon à offrir une résistance et une stabilité telles que leur résistance pondérée, ϕR , soit égale ou supérieure à l'effet des charges pondérées, cet effet devant être déterminé conformément au paragraphe 2).
- [2] 2)** Sous réserve du paragraphe 3), l'effet des charges pondérées pour un *bâtiment* ou un composant structural doit être déterminé en conformité avec les exigences du présent article et les combinaisons de charges suivantes, la combinaison applicable étant celle qui produit l'effet le plus critique :
- [a] a) pour les conditions ne comprenant pas de charges dues aux ponts roulants, les combinaisons de charges indiquées au tableau 4.1.3.2.-A; et
- [b] b) pour les conditions comprenant des charges dues aux ponts roulants, les combinaisons de charges indiquées au tableau 4.1.3.2.-B.
- (Voir la note A-4.1.3.2. 2)).
- [3] 3)** Les autres combinaisons de charges qui doivent aussi être considérées sont les charges principales qui agissent avec les charges d'action concomitantes dont la valeur à retenir est zéro.
- [4] 4)** Si les effets dus à la poussée latérale des terres, H, aux entraves liées aux précontraintes, P, et aux déformations imposées, T, nuisent à la sécurité de la structure, ces effets doivent être pris en compte dans les calculs et des coefficients de charge de 1,5, 1,0 et 1,25 doivent être attribués respectivement à H, P et T (voir la note A-4.1.3.2. 4)).
- [5] 5)** Sous réserve du paragraphe 4.1.8.16. 2), il faut utiliser la *charge permanente* pondérée contraire, 0,9D, dans les combinaisons de charges 2, 3 et 4 et la charge pondérée contraire, 1,0D, dans la combinaison de charges 5 du tableau 4.1.3.2.-A, et la *charge permanente* pondérée contraire, 0,9D, dans les combinaisons de charges 1 à 5 ainsi que la charge pondérée contraire, 1,0D, dans la combinaison de charges 6 du tableau 4.1.3.2.-B, lorsque la *charge permanente* permet de résister

au renversement, au soulèvement, au glissement ou à une défaillance due à une contrainte alternée et afin de déterminer les exigences relatives aux ancrages ainsi que la résistance pondérée des éléments (voir la note A-4.1.3.2. 5)).

Tableau [4.1.3.2.-A] 4.1.3.2.-A

Combinaisons de charges sans les charges dues aux ponts roulants aux fins du calcul aux états limites ultimes

Faisant partie intégrante des paragraphes [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [2] 2) et [5] 5) à [10] 10) et 4.2.4.1. 3)

Cas	Combinaison de charges ⁽¹⁾	
	Charges principales	Charges d'action concomitantes
1	1,4D ⁽²⁾	—
2	(1,25D ⁽³⁾ ou 0,9D ⁽⁴⁾) + 1,5L ⁽⁵⁾	1,0L ⁽⁶⁾ ⁽⁷⁾ ou 0,40,3W
3	(1,25D ⁽³⁾ ou 0,9D ⁽⁴⁾) + 1,5L ⁽⁵⁾	1,0L ⁽⁶⁾ ⁽⁷⁾ ou 0,40,3W
4	(1,25D ⁽³⁾ ou 0,9D ⁽⁴⁾) + 1,4L ⁽⁵⁾	0,5L ⁽⁷⁾ ou 0,50,35S
5	1,0D ⁽⁴⁾ + 1,0E ⁽⁸⁾	0,5L ⁽⁶⁾ ⁽⁷⁾ + 0,250,15S ⁽⁶⁾

(1) Voir les paragraphes 4.1.3.2. 2) à 4).

(2) Voir le paragraphe 4.1.3.2. 9).

(3) Voir le paragraphe 4.1.3.2. 8).

(4) Voir le paragraphe 4.1.3.2. 5).

(5) Voir le paragraphe 4.1.3.2. 6).

(6) Voir l'article 4.1.5.5.

(7) Voir le paragraphe 4.1.3.2. 7).

(8) Voir le paragraphe 4.1.3.2. 10).

Tableau [4.1.3.2.-B] 4.1.3.2.-B

Combinaison de charges avec les charges dues aux ponts roulants aux fins du calcul aux états limites

Faisant partie intégrante des paragraphes [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [2] 2), [5] 5) à [8] 8) et [10] 10)

Cas	Combinaison de charges ⁽¹⁾	
	Charges principales	Charges d'action concomitantes
1	(1,25D ⁽²⁾ ou 0,9D ⁽³⁾) + (1,5C + 1,0L _{XC})	1,0L ⁽⁴⁾ ⁽⁶⁾ ou 0,40,3W
2	(1,25D ⁽²⁾ ou 0,9D ⁽³⁾) + (1,5L _{XC} ⁽⁵⁾ + 1,0C)	1,0L ⁽⁴⁾ ⁽⁶⁾ ou 0,40,3W
3	(1,25D ⁽²⁾ ou 0,9D ⁽³⁾) + 1,5L ⁽⁵⁾	1,0C + 1,0L _{XC} ⁽⁴⁾ ⁽⁶⁾
4	(1,25D ⁽²⁾ ou 0,9D ⁽³⁾) + 1,4L ⁽⁵⁾	1,0C ⁽⁷⁾ + 0,5L _{XC} ⁽⁴⁾ ⁽⁶⁾
5	(1,25D ⁽²⁾ ou 0,9D ⁽³⁾) + C ₇	—
6	1,0D ⁽³⁾ + 1,0E ⁽⁸⁾	1,0C _d + 0,5L _{XC} ⁽⁴⁾ ⁽⁶⁾ + 0,250,15S ⁽⁴⁾

- (1) Voir les paragraphes 4.1.3.2. 2) à 4).
- (2) Voir le paragraphe 4.1.3.2. 8).
- (3) Voir le paragraphe 4.1.3.2. 5).
- (4) Voir l'article 4.1.5.5.
- (5) Voir le paragraphe 4.1.3.2. 6).
- (6) Voir le paragraphe 4.1.3.2. 7).
- (7) Il n'est pas nécessaire de combiner les poussées latérales dues aux ponts roulants avec les pleines charges dues au vent.
- (8) Voir le paragraphe 4.1.3.2. 10).

- [6] 6)** Le coefficient de charge principale 1,5 attribué aux *surcharges* L dans le tableau 4.1.3.2.-A et L_{XC} dans le tableau 4.1.3.2.-B peut être réduit à 1,25 pour les liquides contenus dans des réservoirs.
- [7] 7)** Le coefficient de charge d'action concomitante pour les *surcharges* L dans le tableau 4.1.3.2.-A et L_{XC} dans le tableau 4.1.3.2.-B doit être majoré de 0,5 pour les aires de stockage ainsi que pour les aires réservées à l'équipement et les *locaux techniques* du tableau 4.1.5.3.
- [8] 8)** Sous réserve du paragraphe 9), dans les tableaux 4.1.3.2.-A et 4.1.3.2.-B, la valeur du coefficient de charge 1,25 pour la *charge permanente* D pour le *sol*, la terre superposée, les plantes et les arbres doit être majorée à 1,5, sauf si la profondeur du *sol* dépasse 1,2 m, ce coefficient pouvant alors être ramené à $1 + 0,6/h_s$, sans toutefois être inférieur à 1,25, où h_s est la profondeur du *sol*, en m, supportée par la structure.
- [9] 9)** Un coefficient de charge principale de 1,5 doit être appliqué au poids du *sol* saturé utilisé pour la combinaison de charges 1 du tableau 4.1.3.2.-A.
- [10] 10)** Les charges dues aux séismes, E, dans la combinaison de charges 5 du tableau 4.1.3.2.-A et dans la combinaison de charges 6 du tableau 4.1.3.2.-B comprennent la poussée horizontale des terres due aux séismes calculée conformément au paragraphe 4.1.8.16. 7).
- [11] 11)** Il faut s'assurer que l'ensemble de la structure demeure suffisamment stable et que ses éléments résistent au flambement latéral, à la torsion et à l'effort tranchant.
- [12] 12)** Les effets d'oscillation causés par les charges verticales qui agissent sur la structure une fois qu'elle est déformée doivent être pris en compte dans les calculs des *bâtiments* et de leurs éléments structuraux.

[4.1.6.2.] 4.1.6.2. Charge spécifiée due à la neige

(Voir la note A-4.1.6.2.)

- [1] 1)** La charge spécifiée, S, due à l'accumulation de la neige et de la pluie qui l'accompagne sur un toit ou sur toute autre partie d'un *bâtiment* doit être calculée à l'aide de la formule :

$$S = I_s [S_s (C_b C_w C_s C_a) + S_r]$$

$$S = I_s [S_s (C_b C_w C_s C_a C_T) + S_r]$$

où

- I_s = coefficient de risque de la charge due à la neige, décrit au tableau 4.1.6.2.-A;
- S_s = charge de neige au sol **ayant une probabilité annuelle de dépassement de 1/1000 susceptible d'être égale ou dépassée une fois en 50 ans**, en kPa, déterminée conformément à la sous-section 1.1.3.;
- C_b = coefficient de base de charge de neige sur le toit du paragraphe 2);

- C_w = coefficient d'exposition au vent des paragraphes 3) et 4);
 C_s = coefficient de pente des paragraphes 5) à 7);
 C_a = coefficient d'accumulation du paragraphe 8); **et**
 C_T = **coefficient thermique des paragraphes 10) et 11); et**
 S_r = charge correspondante due à la pluie **ayant une probabilité annuelle de dépassement de 1/1000 susceptible d'être égalée ou dépassée une fois en 50 ans**, en kPa, déterminée conformément à la sous-section 1.1.3., mais sans dépasser $S_r(C_b C_w C_s C_a)$ $S_s(C_p C_w C_s C_a C_T)$.

Tableau [4.1.6.2.-A] 4.1.6.2.-A

Coefficient de risque de la charge due à la neige, I_s
Faisant partie intégrante du paragraphe [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [1] 1)

Catégorie de risque	Coefficient de risque, I_s	
	ÉLU	ÉLTS
Faible	0,8	0,60,9
Normal	1	0,60,9
Élevé	1,15	0,60,9
Protection civile	1,25	0,60,9

[2] 2) Le coefficient de base de charge de neige sur le toit, C_b , doit être :

[a] a) déterminé comme suit :

[i] i) $C_b = 0,8$ si $l_c \leq 70$; **et**

$$C_b = 0,8 \text{ si } l_c \leq \left(\frac{70}{C_w^2} \right); \text{ et}$$

[ii] ii)

$$C_b = 1 - (0,2) \exp\left(-\frac{l_c - 70}{100}\right) \text{ si } l_c > 70$$

$$C_b = \frac{1}{C_w} \left[1 - \left(1 - 0,8 C_w \right) \exp\left(-\frac{l_c C_w^2 - 70}{100}\right) \right] \text{ si } l_c > \left(\frac{70}{C_w^2} \right)$$

où

- l_c = dimension type du toit de niveau supérieur ou inférieur, définie comme $2w - w^2/l$, en m;
 w = plus petite dimension horizontale du toit, en m; **et**
 l = plus grande dimension horizontale du toit, en m; **ou**

[b] b) **déterminé conformément au tableau 4.1.6.2.-B, en utilisant une interpolation linéaire pour les valeurs intermédiaires de $l_c C_w^2$; ou**

[c] c) égal à 1 pour toute structure de toit ayant une hauteur moyenne inférieure à $1 + S_s/\gamma$, en m, au-dessus du *niveau moyen du sol*, où γ est le poids spécifique de la neige déterminé conformément à l'article 4.1.6.13.

(Voir la note A-4.1.6.2. 2).)

Tableau ~~[4.1.6.2-B]~~ 4.1.6.2-BCoefficient de base de charge de neige sur le toit pour $I_c > \left(70 / C_w^2 \right)$ Faisant partie intégrante du paragraphe ~~[4.1.6.2.]~~ 4.1.6.2. [2] 2)

Valeur de $I_c C_w^2$	Valeur de C_w		
	1,0	0,75	0,5
	Valeur de C_b		
70	0,80	0,80	0,80
80	0,82	0,85	0,91
100	0,85	0,94	1,11
120	0,88	1,01	1,27
140	0,90	1,07	1,40
160	0,92	1,12	1,51
180	0,93	1,16	1,60
200	0,95	1,19	1,67
220	0,96	1,21	1,73
240	0,96	1,24	1,78
260	0,97	1,25	1,82
280	0,98	1,27	1,85
300	0,98	1,28	1,88
320	0,98	1,29	1,90
340	0,99	1,30	1,92
360	0,99	1,30	1,93
380	0,99	1,31	1,95
400	0,99	1,31	1,96
420	0,99	1,32	1,96
440	1,00	1,32	1,97
460	1,00	1,32	1,98
480	1,00	1,32	1,98
500	1,00	1,33	1,98
520	1,00	1,33	1,99
540	1,00	1,33	1,99
560	1,00	1,33	1,99
580	1,00	1,33	1,99
600	1,00	1,33	1,99
620	1,00	1,33	2,00

[3] 3) Sous réserve du paragraphe 4), le coefficient d'exposition au vent, C_w , doit être égal à ~~1,0~~ déterminé comme suit :

$$C_w = 1,25 + \left[-0,00075(-T_{ws})^{0,75}(V_{ws}^3) \right], \text{ mais } C_w \geq 0,5$$

où

T_{ws} = température moyenne hivernale, en °C, déterminée conformément à la sous-section 1.1.3.; et

V_{ws} = vitesse moyenne du vent en hiver, en m/s, déterminée conformément à la sous-section 1.1.3.

- [4] 4)** Le coefficient d'exposition au vent, C_w , doit être égal ou supérieur à 1,0 si : ~~Dans le cas des bâtiments appartenant aux catégories risque faible et normal du tableau 4.1.2.1., le coefficient d'exposition au vent, C_w , mentionné au paragraphe 3) peut être réduit à 0,75 pour les régions rurales seulement ou à 0,5 pour les régions situées au nord de la limite des arbres, si :~~
- [a] a) ~~le bâtiment est exposé, et devrait le demeurer, sur toutes ses faces au vent qui souffle sur un terrain à découvert défini à l'alinéa 4.1.7.3-5)a);~~
 - [b] b) la surface du toit est ~~exposée au vent sur toutes ses faces et si aucun obstacle important~~ surplombée par des saillies importantes, comme des parapets, ~~ne se trouve~~ à une distance de moins de 10 fois la différence entre la hauteur de l'obstacle et $C_b C_w S_s / \gamma$, en m, où γ est le poids spécifique de la neige sur le toit, comme il est décrit à l'article 4.1.6.13.; ~~et~~
 - [c] c) la charge ~~n'est pas~~ due à l'accumulation de la neige provenant de surfaces de toit adjacentes plus élevées.; ou
 - [d] --) le bâtiment fait partie de la catégorie de risque élevé ou protection civile du tableau 4.1.2.1.
- [5] 5)** Sous réserve des paragraphes 6) et 7), le coefficient de pente, C_s , doit être égal à :
- [a] a) 1,0 si la pente du toit $\alpha \leq 30^\circ$;
 - [b] b) $(70^\circ - \alpha)/40^\circ$ si $30^\circ < \alpha \leq 70^\circ$; et
 - [c] c) 0 si $\alpha > 70^\circ$.
- [6] 6)** Le coefficient de pente, C_s , pour des toits glissants sans obstruction sur lesquels la neige et la glace ne peuvent s'accumuler doit être égal à :
- [a] a) 1,0 si la pente du toit $\alpha \leq 15^\circ$;
 - [b] b) $(60^\circ - \alpha)/45^\circ$ si $15^\circ < \alpha \leq 60^\circ$; et
 - [c] c) 0 si $\alpha > 60^\circ$.
- [7] 7)** Sauf indication contraire dans la présente sous-section, le coefficient de pente, C_s , est égal à 1,0 s'il est utilisé avec les coefficients d'accumulation de la neige relatifs aux charges de neige accrues.
- [8] 8)** Le coefficient d'accumulation, C_a , doit être égal à 1,0 qui correspond au cas de charge de neige uniformément répartie sauf s'il est modifié, selon la forme du toit, pour tenir compte des effets suivants :
- [a] a) augmentation des charges de neige non uniformément réparties dues au balayage de la neige d'un niveau de toit adjacent plus élevé du même *bâtiment* ou d'un autre *bâtiment* situé à 5 m ou moins horizontalement, comme il est prescrit aux articles 4.1.6.5., 4.1.6.6. et 4.1.6.8.;
 - [b] b) augmentation des charges de neige non uniformément réparties sur les aires adjacentes aux saillies hors toit, notamment les constructions hors toit, les *cheminées* de grande section ou les autres installations hors toit, comme il est prescrit aux articles 4.1.6.7. et 4.1.6.8.;
 - [c] c) charges de neige non uniformément réparties sur les toits à 2 versants ou en voûte, les toits arrondis et les dômes, comme il est prescrit aux articles 4.1.6.9. et 4.1.6.10.;
 - [d] d) augmentation des charges de neige ou de glace dues au glissement, comme il est prescrit à l'article 4.1.6.11.;
 - [e] e) augmentation des charges de neige aux noues, comme il est prescrit à l'article 4.1.6.12.; et
 - [f] f) augmentation des charges de neige ou de glace dues à l'écoulement des eaux de fonte depuis les éléments du *bâtiment* et les saillies hors toit adjacents.
- [9] 9)** Pour les formes non prises en considération au paragraphe 8), le coefficient d'accumulation, C_a , correspondant au cas de charge de neige non uniformément répartie doit être établi en fonction des observations sur le terrain pertinentes, des analyses particulières, y compris les effets climatiques locaux, des essais sur maquette appropriés ou une combinaison de ces méthodes.
- [10] --)** Sous réserve du paragraphe 11), le coefficient thermique, C_T , doit correspondre à la valeur la plus élevée entre 0,7 et $C_T = -0,01(T_{in} U_{roof})\sqrt{S_s} + 1,0$, mais ne doit pas dépasser 1,0, où

T_{in} = température moyenne prévue à l'intérieur du bâtiment, en °C; et
 U_{roof} = coefficient de transmission thermique globale du toit, en $W/(m^2 \times K)$.

[111 --] Si la valeur du coefficient T_{in} ou U_{roof} n'est pas connue, le coefficient thermique, C_{T_r} , doit correspondre à 1,0.

[4.1.6.5.] 4.1.6.5. Toits à plusieurs niveaux

[11] 1) La charge due à l'amoncellement de neige sur un toit adjacent à un toit supérieur doit être considérée comme trapézoïdale, comme le montre la figure 4.1.6.5.-A., et le coefficient d'accumulation, C_a , doit être déterminé comme suit :

$$C_a = C_{a0} - (C_{a0} - 1) \left(\frac{x}{x_d} \right) \text{ si } 0 \leq x \leq x_d;$$

ou

$$C_a = 1,0 \text{ si } x > x_d$$

où

C_{a0} = valeur maximale de C_a si $x = 0$, déterminée conformément aux paragraphes 3) à 5), comme le montre la figure 4.1.6.5.-B);
 x = distance par rapport à la zone de dénivellation, comme le montre la figure 4.1.6.5.-A; et
 x_d = longueur de l'amoncellement, déterminée conformément au paragraphe 2), comme le montre la figure 4.1.6.5.-A.

[21] 2) La longueur de l'amoncellement, x_d , doit être calculée comme suit :

$$x_d = 5 \frac{C_b C_w S_s}{\gamma} (C_{a0} - 1)$$

$$x_d = 5 \frac{C_b S_s}{\gamma} (C_{a0} - 1)$$

où

γ = poids spécifique de la neige prescrit à l'article 4.1.6.13.

[31] 3) Sous réserve du paragraphe 4), la valeur de C_{a0} pour chacun des cas I, II et III doit être égale à la moins élevée des valeurs suivantes :

$$C_{a0} = \beta \frac{\gamma h}{C_b C_w S_s}$$

et

$$C_{a0} = \frac{F}{C_b C_w}$$

$$C_{a0} = \beta \frac{\gamma h}{C_b S_s}$$

et

$$C_{a0} = \frac{F}{C_b}$$

où

β = 1,0 pour le cas I, et 0,67 pour les cas II et III;
 h = différence d'élévation entre le toit en contrebas et le sommet du parapet du toit supérieur, comme le montre la figure 4.1.6.5.-A; et

$$F = 0,43 \beta F_{ws} \sqrt{\frac{\gamma (l_{cs} - 5h_p)}{S_s}} + C_b C_w, \text{ mais } F \leq 5 \text{ si } C_{ws} \geq 1,0$$

$$F = 0,35 \beta \sqrt{\frac{\gamma(l_{cs} - 5h'_p)}{S_s}} + C_b, \text{ mais } F \leq 5 \text{ si } C_{ws} = 1,0$$

où

F_{ws} = $0,019(-T_{ws})^{0,45}(V_{ws})^{1,6} + 0,45$, où T_{ws} et V_{ws} sont définis au paragraphe 4.1.6.2.3);

C_{ws} = valeur de C_w applicable à la source de l'amoncellement;

l_{cs} = longueur caractéristique de l'aire d'origine pour l'amoncellement, définie comme $l_{cs} = 2w_s - \left(w_s^2 / l_s\right)$, où w_s et l_s correspondent respectivement à la plus courte et à la plus longue des dimensions des aires d'origine pertinentes pour l'amoncellement de neige montré à la figure 4.1.6.5.-B pour les cas I, II et III; et

$$h'_p = h_p - \left(\frac{0,8S_s}{\gamma}\right), \text{ mais } 0 \leq h'_p \leq \left(\frac{l_{cs}}{5}\right)$$

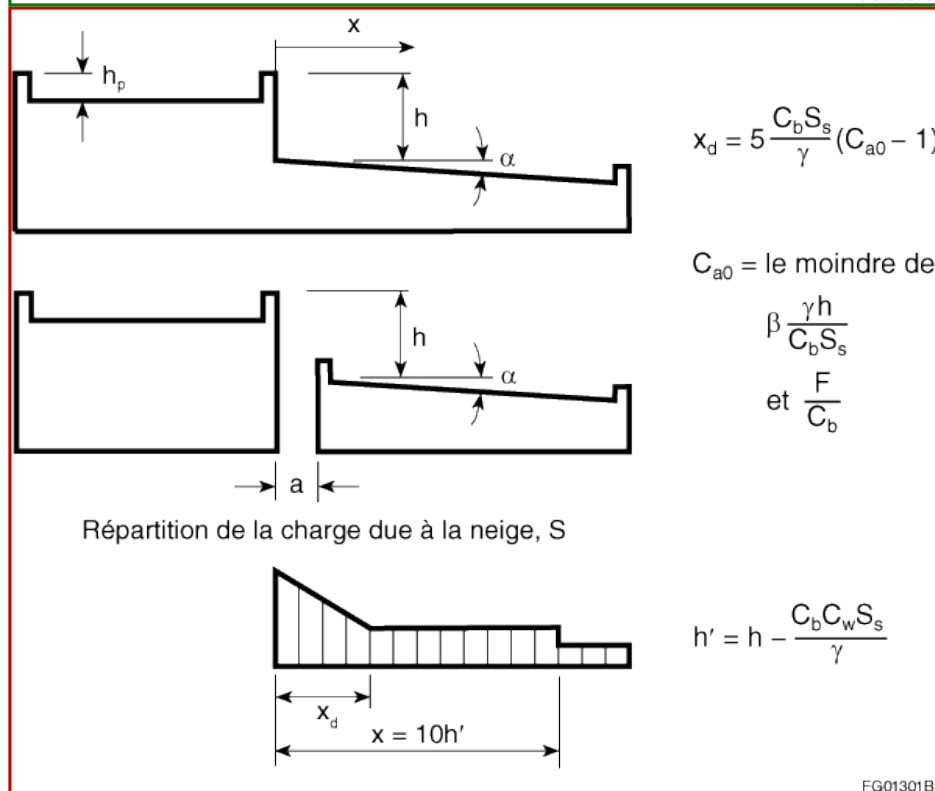
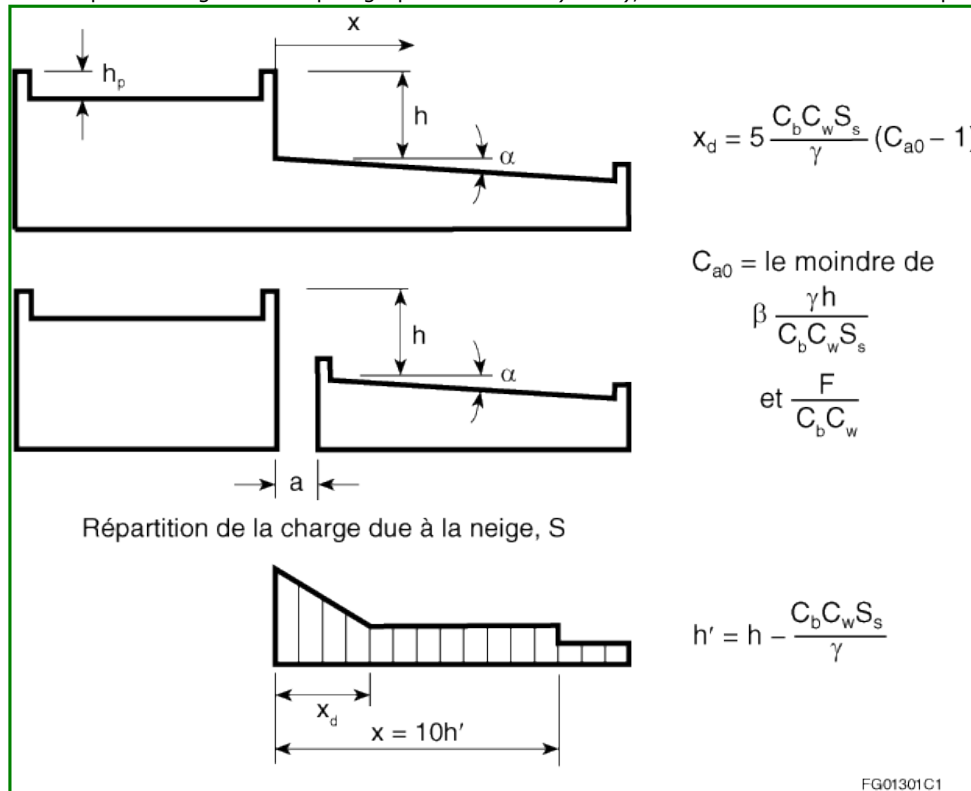
où

h_p = hauteur du parapet de l'aire d'origine, la valeur à retenir étant égale à zéro à moins que tous les bords de l'aire d'origine comportent des parapets.

Figure [4.1.6.5.-A] 4.1.6.5.-A

Coefficients de charge due à la neige pour les toits en contrebas

Faisant partie intégrante des paragraphes 4.1.6.5. 1) et 3), du tableau 4.1.6.5.-A et du paragraphe 4.1.6.6. 1)



(1) Si $a > 5$ m ou $h \leq 0,8S_s/\gamma$, il n'est pas nécessaire de tenir compte de l'amoncellement de neige provenant du toit supérieur.

(2) Si $h \geq 5$ m, la valeur de C_{a0} pour le cas I peut être déterminée conformément au paragraphe 4.1.6.5. 4).

Tableau [4.1.6.5.-A] 4.1.6.5.-A
Coefficients d'exposition au vent, de pente et d'accumulation utilisés dans la figure 4.1.6.5.-A

Distance par rapport à la zone de dénivellation, x	Coefficients		
	C_w	C_s (1)	C_a
0	1,0	f(a)	C_{a0}
$0 < x \leq x_d$	1,0	f(a)	$C_{a0} - (C_{a0} - 1)(x/x_d)$
$x_d < x \leq 10h'$	1,0	f(a)	1,0
$x > 10h'$	1,0 pour les surfaces de toit non exposées	f(a)	1,0
	0,75 pour les surfaces de toit exposées		
	0,5 pour les surfaces de toit exposées situées au nord de la limite des arbres		

- (1) Pour les toits en contrebas avec parapets, $C_s = 1,0$; sinon, la valeur de C_s varie en fonction de la pente, α , comme il est défini aux paragraphes 4.1.6.2. 5) et 6).

[4] 4) Si $h \geq 5$ m, la valeur de C_{a0} pour le cas I peut être déterminée comme suit :

$$C_{a0} \left(\frac{25-h}{20} \right) \left(\frac{F}{C_b C_w} - 1 \right) + 1 \text{ si } 5 \text{ m} \leq h \leq 25 \text{ m, et}$$

$$C_{a0} = 1 \text{ si } h > 25 \text{ m}$$

$$C_{a0} = \left(\frac{25-h}{20} \right) \left(\frac{F}{C_b} - 1 \right) + 1 \text{ si } 5 \text{ m} \leq h \leq 25 \text{ m; et}$$

$$C_{a0} = 1 \text{ si } h > 25 \text{ m}$$

[5] 5) La valeur de C_{a0} doit être égale à la plus élevée des valeurs correspondant aux cas I, II et III, compte tenu des différentes aires d'où peut provenir l'amoncellement de neige, comme il est prescrit aux paragraphes 3) et 4) et à la figure 4.1.6.5.-B.

Figure [4.1.6.5.-B] 4.1.6.5.-B

Cas de charge due à la neige I, II et III pour les toits en contrebas

Faisant partie intégrante des paragraphes 4.1.6.5. 1), 3) et 5) et du tableau 4.1.6.5.-B

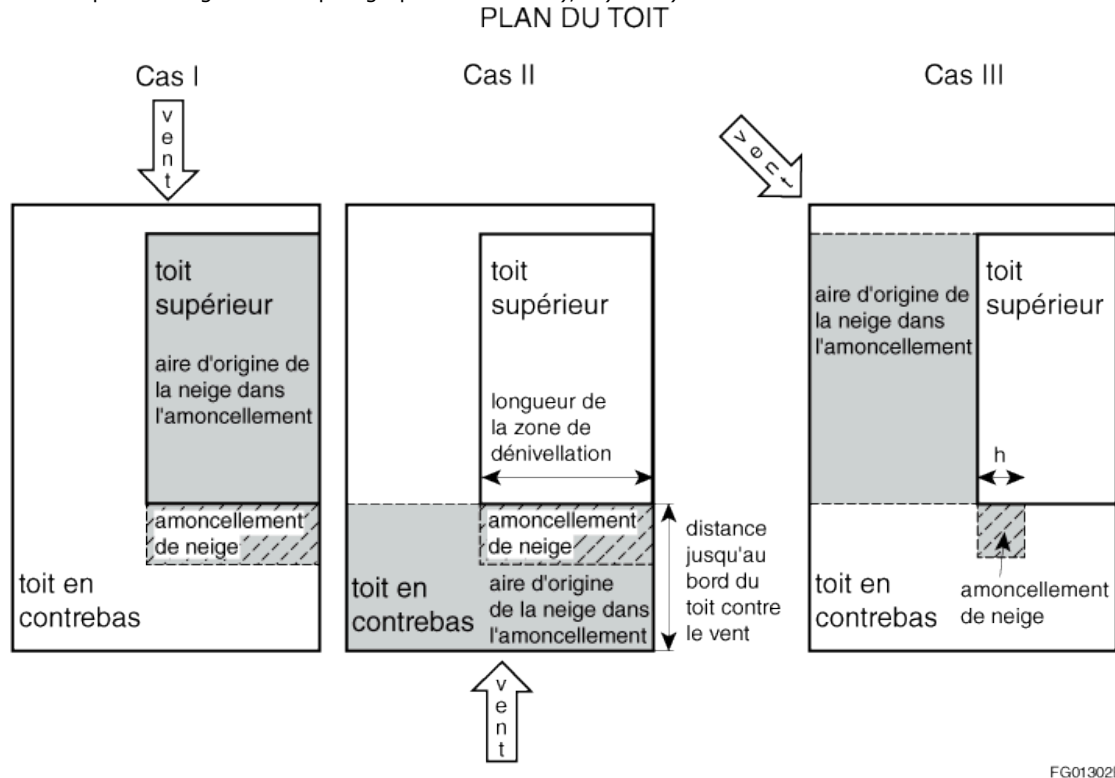


Tableau [4.1.6.5.-B] 4.1.6.5.-B

Paramètres applicables aux cas de charge due à la neige illustrés à la figure 4.1.6.5.-B

Paramètre	Cas I	Cas II	Cas III
β	1,0	0,67	0,67
h_p	hauteur du parapet de l'aire d'origine sur le toit supérieur	hauteur du parapet de l'aire d'origine sur le toit en contrebas	hauteur du parapet de l'aire d'origine sur le toit en contrebas
$l_{cs} = 2w_s - \frac{w_s^2}{l_s}$	w_s et l_s correspondant respectivement à la plus petite et à la plus grande dimension du toit supérieur	w_s et l_s correspondant respectivement à la plus petite et à la plus grande dimension de l'aire d'origine du toit en contrebas pour la zone de dénivellation contre le vent	w_s et l_s correspondant respectivement à la plus petite et à la plus grande dimension de l'aire d'origine du toit en contrebas pour la zone de dénivellation à l'abri du vent

[4.1.6.7.] 4.1.6.7. Zones contiguës aux saillies hors toit

- [1] 1) Sous réserve des paragraphes 2) et 3), le coefficient d'accumulation, C_a , relatif aux zones contiguës aux éléments en saillie verticaux montés sur un toit doit être calculé conformément au paragraphe 4.1.6.5. 1), en utilisant les valeurs suivantes pour la valeur du coefficient d'accumulation maximal, C_{a0} , et la longueur de l'amoncellement, x_d :

[a] a) C_{a0} correspond à la moins élevée des valeurs suivantes :

$$0,67 \frac{\gamma h}{C_b C_w S_s} \text{ et } F_{ws} \left(\frac{\gamma l_0}{7,5 C_b C_w S_s} \right) + 1, \text{ et}$$

$$0,67 \frac{y h}{C_b S_s} \text{ et } \frac{y l_0}{7,5 C_b S_s} + 1; \text{ et}$$

[b] b) x_d correspond à la moins élevée des valeurs suivantes, soit $3,35 h$ ou $(2/3)l_0$, où

F_{ws} = coefficient défini au paragraphe 4.1.6.5. 3);
 h = hauteur des éléments en saillie; et
 l_0 = plus longue dimension horizontale des éléments en saillie.

(Voir la note A-4.1.6.7. 1).)

[2] 2) C_a peut être calculé conformément à l'article 4.1.6.5. pour les saillies plus grandes (voir la note A-4.1.6.7. 2)).

[3] 3) Lorsque la plus longue dimension horizontale des saillies, l_0 , est inférieure à 3 m, il n'est pas nécessaire de tenir compte de la surcharge due à l'amoncellement à proximité des saillies.

[4.1.6.9.] 4.1.6.9. Toits à 2 versants

(Voir la note A-4.1.6.9.)

[1] 1) Pour tous les toits à 2 versants, les cas de charge totale et de charge partielle définis à l'article 4.1.6.3. doivent être pris en considération.

[2] 2) Pour les toits à 2 versants dont la pente $\alpha > 15^\circ$, le cas de la charge asymétrique doit également être considéré, les valeurs du coefficient d'accumulation, C_a , étant les suivantes :

[a] a) du côté contre le vent du faîte du toit, la valeur C_a à retenir est 0; et

[b] b) du côté sous le vent du faîte du toit, la valeur C_a à retenir est :

[i] i) $F_{ws}(0,25 + \alpha/20)$, si $15^\circ \leq \alpha \leq 20^\circ$; et

[ii] ii) $1,25F_{ws}$, si $20^\circ < \alpha \leq 90^\circ$, où F_{ws} est défini au paragraphe 4.1.6.5. 3).

[3] 3) Pour tous les toits à 2 versants, la valeur du coefficient de pente, C_s , doit être établie conformément aux paragraphes 4.1.6.2. 5) et 6).

[4] 4) Pour tous les toits à 2 versants, la valeur du coefficient d'exposition au vent, C_w , doit être :

[a] a) conforme aux paragraphes 4.1.6.2. 3) et 4) pour les cas de charge totale et de charge partielle; et

[b] b) la valeur la plus élevée entre 1,0 et la valeur prescrite au paragraphe 4.1.6.2. 3) ~~1,0~~ pour le cas de la charge asymétrique mentionné au paragraphe 2).

[4.1.6.10.] 4.1.6.10. Toits en voûte, toits arrondis et dômes

[1] 1) Pour tous les toits en voûte, les toits arrondis et les dômes, les cas de charge totale et de charge partielle définis à l'article 4.1.6.3. doivent être pris en considération.

[2] 2) Pour les toits en voûte, les toits arrondis et les dômes dont le rapport de la hauteur à la portée $h/b > 0,05$ (voir la figure 4.1.6.10.-A), les cas de charge décrits aux paragraphes 3) à 7) doivent également être pris en considération.

[3] 3) Pour les toits en voûte dont la pente au bord $\alpha_e \leq 30^\circ$ (voir la figure 4.1.6.10.-A et le tableau 4.1.6.10.), C_a doit être égal à :

[a] a) 0 du côté contre le vent du faîte; et

[b] b) la valeur suivante du côté sous le vent du faîte :

$$C_a = F_{ws} \left(\frac{xh}{0,03 C_b C_w b^2} \right) \text{ si } 0,05 < \frac{h}{b} \leq 0,12, \text{ et}$$

$$C_a = F_{ws} \left(\frac{4x}{C_b C_w b} \right) \text{ si } \frac{h}{b} > 0,12$$

$$C_a = \frac{xh}{0,03 C_b b^2} \text{ si } 0,05 < \frac{h}{b} \leq 0,12; \text{ et}$$

$$C_a = \frac{4x}{C_b b} \text{ si } \frac{h}{b} > 0,12$$

où

F_{ws} = coefficient défini au paragraphe 4.1.6.5. 3);
 x = distance horizontale par rapport au faîte du toit;
 h = hauteur de la voûte; et
 b = largeur de la voûte.

[4] 4) Pour les toits en voûte dont la pente au bord $\alpha_e > 30^\circ$ (voir la figure 4.1.6.10.-A et le tableau 4.1.6.10.), C_a doit être égal à :

[a] a) 0 du côté contre le vent du faîte; et

[b] b) la valeur suivante du côté sous le vent du faîte :

[i] i) pour la partie du toit entre le faîte et le point où la pente $\alpha = 30^\circ$:

$$C_a = F_{ws} \left(\frac{xh}{0,06C_b C_w x_{30} b} \right) \text{ si } 0,05 < \frac{h}{b} \leq 0,12, \text{ et}$$

$$C_a = F_{ws} \left(\frac{2x}{C_b C_w x_{30}} \right) \text{ si } \frac{h}{b} > 0,12$$

$$C_a = \frac{xh}{0,06C_b x_{30} b} \text{ si } 0,05 < \frac{h}{b} \leq 0,12; \text{ et}$$

$$C_a = \frac{2x}{C_b x_{30}} \text{ si } \frac{h}{b} > 0,12$$

où

F_{ws} = coefficient défini au paragraphe 4.1.6.5. 3);
 x, h, b = valeurs définies au paragraphe 2); et
 x_{30} = valeur de x lorsque la pente $\alpha = 30^\circ$; et

[ii] ii) pour la partie du toit où la pente $\alpha > 30^\circ$:

$$C_a = F_{ws} \left(\frac{h}{0,06C_b C_w b} \right) \text{ si } 0,05 < \frac{h}{b} \leq 0,12, \text{ et}$$

$$C_a = F_{ws} \left(\frac{2}{C_b C_w} \right) \text{ si } \frac{h}{b} > 0,12$$

$$C_a = \frac{h}{0,06C_b b} \text{ si } 0,05 < \frac{h}{b} \leq 0,12; \text{ et}$$

$$C_a = \frac{2}{C_b} \text{ si } \frac{h}{b} > 0,12$$

[5] 5) Sous réserve du paragraphe 6), C_a pour les toits arrondis doit être déterminé conformément aux exigences relatives aux toits en voûte décrites aux paragraphes 3) et 4).

[6] 6) Lorsque la pente, α , d'un toit arrondi au faîte est supérieure à 10° , C_a doit être déterminé conformément aux exigences relatives aux toits à 2 versants décrites à l'article 4.1.6.9., la pente étant égale à la pente moyenne du toit arrondi.

[7] 7) Pour les dômes de forme circulaire (voir la figure 4.1.6.10.-B), C_a doit :

[a] a) le long de l'axe central parallèle au vent, varier de la même façon que pour un toit en voûte avec le même rapport de la hauteur à la portée, h/b; et

[b] b) hors de cet axe, varier en fonction de la formule suivante :

$$C_a(x,y) = C_a(x,0) \left(1 - \frac{y}{r} \right)$$

où

$C_a(x,y)$ = valeur de C_a au point (x,y);
 $C_a(x,0)$ = valeur de C_a sur l'axe central parallèle au vent;
 x = distance le long de l'axe central parallèle au vent;
 y = coordonnée horizontale normale à la direction x; et
 r = rayon du dôme.

Tableau [4.1.6.10.] 4.1.6.10.

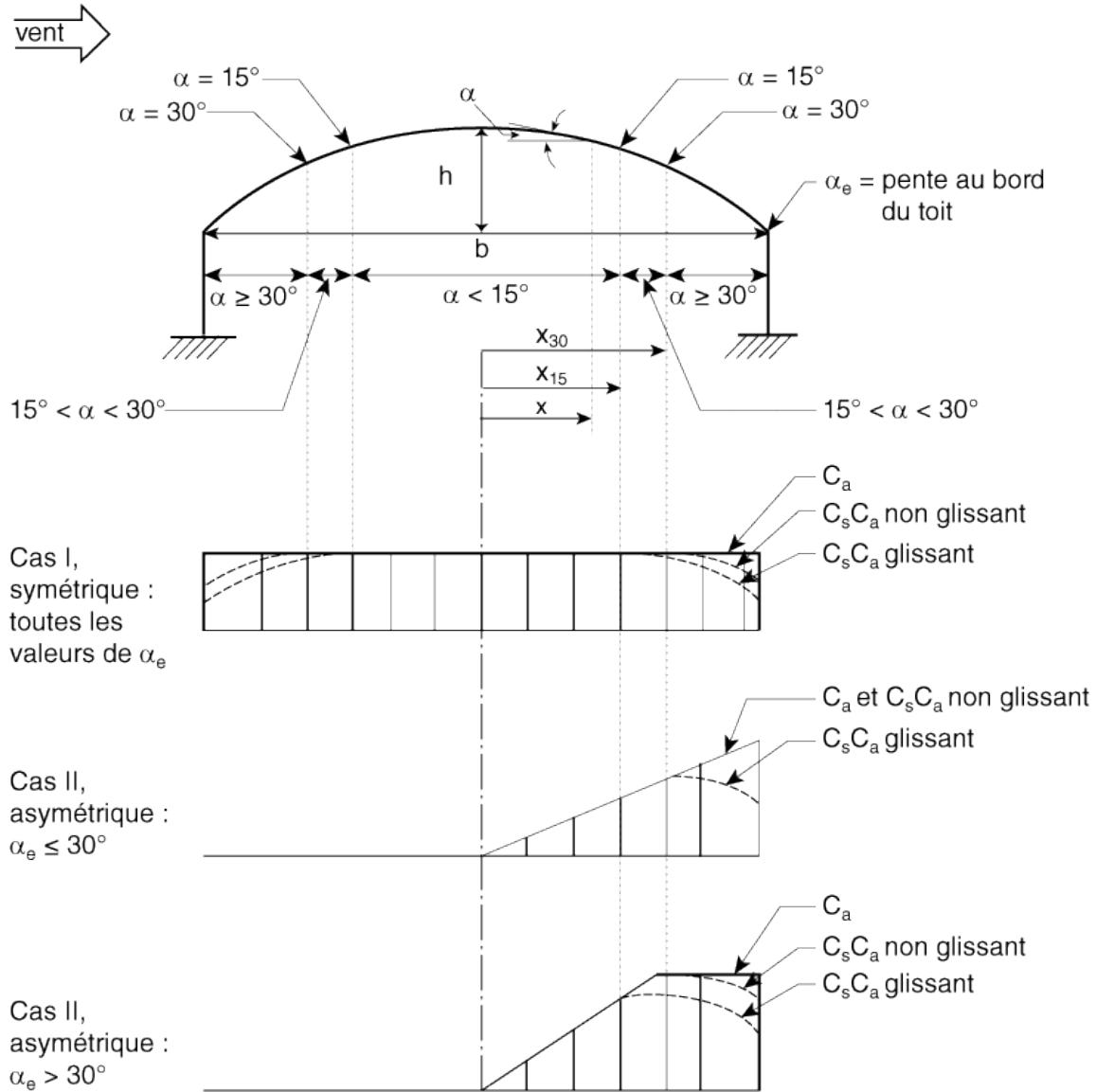
Cas de charge pour les toits en voûte, les toits arrondis et les dômes
Faisant partie intégrante des paragraphes [4.1.6.10.] 4.1.6.10. [3] 3), [4] 4) et [9] 9)

Cas de charge	Portée d'application	Coefficients			
		C _w	Toits en voûte et toits arrondis		Dômes
			C _a du côté contre le vent	C _a du côté sous le vent	C _a du côté sous le vent
Cas I	Tous les rapports h/b	Comme il est indiqué en 4.1.6.2. 3) et 4)	1,0	1,0	1,0
Cas II	Pente au bord ≤ 30° h/b > 0,05 Toutes les valeurs de x	1,0	0,0	$C_a = F_{ws} \left(\frac{xh}{0,03C_b C_w b^2} \right) \text{ si } \frac{h}{b} \leq 0,12$ $C_a = F_{ws} \left(\frac{4x}{C_b C_w b} \right) \text{ si } \frac{h}{b} > 0,12$ <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 5px 0;"> $C_a = \frac{xh}{0,03C_b b^2} \text{ si } \frac{h}{b} \leq 0,12$ $C_a = \frac{4x}{C_b b} \text{ si } \frac{h}{b} > 0,12$ </div>	$C_a(x,y) = C_a(x,0) \left(1 - \frac{y}{r}\right)$
	Pente au bord > 30° h/b > 0,05 0 < x < x ₃₀	1,0	0,0	$C_a = F_{ws} \left(\frac{xh}{0,06C_b C_w x_{30} b} \right) \text{ si } \frac{h}{b} \leq 0,12$ $C_a = F_{ws} \left(\frac{2x}{C_b C_w x_{30}} \right) \text{ si } \frac{h}{b} > 0,12$ <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 5px 0;"> $C_a = \frac{xh}{0,06C_b x_{30} b} \text{ si } \frac{h}{b} \leq 0,12$ $C_a = \frac{2x}{C_b x_{30}} \text{ si } \frac{h}{b} > 0,12$ </div>	
	Pente au bord > 30° h/b > 0,05 x ≥ x ₃₀	1,0	0,0	$C_a = F_{ws} \left(\frac{h}{0,06C_b C_w b} \right) \text{ si } \frac{h}{b} \leq 0,12$ $C_a = F_{ws} \left(\frac{2}{C_b C_w} \right) \text{ si } \frac{h}{b} > 0,12$ <div style="border: 1px solid red; padding: 5px; margin: 5px 0;"> $C_a = \frac{h}{0,06C_b b} \text{ si } \frac{h}{b} \leq 0,12$ $C_a = \frac{2}{C_b} \text{ si } \frac{h}{b} > 0,12$ </div>	

- [8] 8) Pour tous les toits en voûte, les toits arrondis et les dômes, le coefficient de pente, C_s , doit être conforme aux paragraphes 4.1.6.2. 5) et 6).
- [9] 9) Pour tous les toits en voûte, les toits arrondis et les dômes, le coefficient d'exposition au vent, C_w , doit être conforme au tableau 4.1.6.10.

Figure [4.1.6.10.-A] 4.1.6.10.-A
Coefficients d'accumulation pour les toits en voûte et les toits arrondis

Faisant partie intégrante des paragraphes 4.1.6.10. 2) à 4)



FG01307B

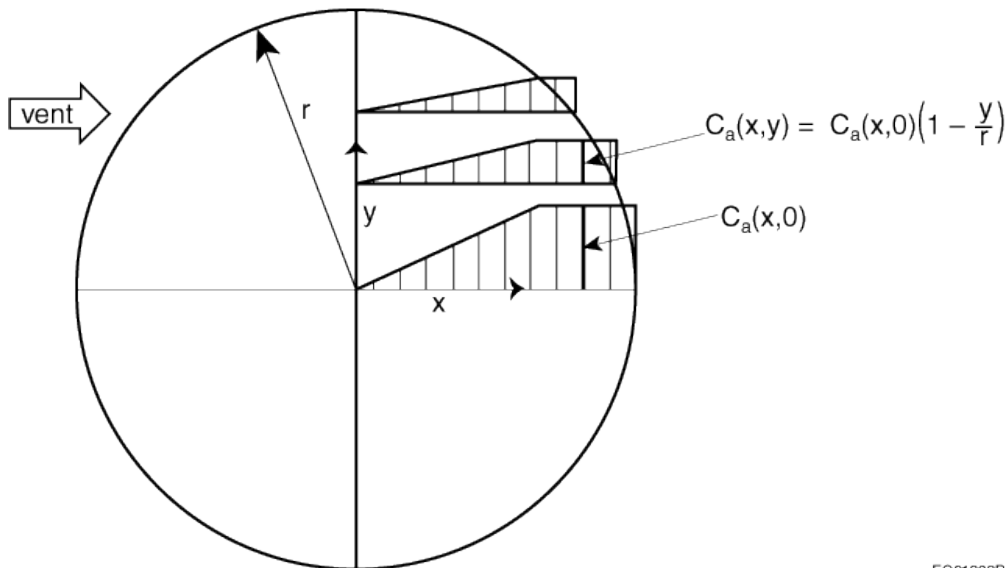
(1) Voir le tableau 4.1.6.10. pour les valeurs applicables de C_w et les paragraphes 4.1.6.2. 5) et 6) pour les valeurs applicables de C_s .

Figure [4.1.6.10.-B] 4.1.6.10.-B

Coefficient d'accumulation de charges de neige asymétriques sur un dôme circulaire

Faisant partie intégrante du paragraphe 4.1.6.10. 7)

Vue en plan



FG01308B

(1) Voir le tableau 4.1.6.10. pour les valeurs applicables de C_w et les paragraphes 4.1.6.2. 5) et 6) pour les valeurs applicables de C_s .

(2) Voir les paragraphes 4.1.6.10. 3) et 4) pour le calcul de $C_a(x,0)$.

[4.1.7.3.] 4.1.7.3. Méthode statique

[1] 1) La pression ou succion extérieure spécifiée exercée par le vent sur une partie ou la totalité d'une surface d'un *bâtiment* doit être calculée d'après la formule suivante :

$$p = I_W q C_e C_t C_g C_p$$

où

- p = pression extérieure spécifiée, s'exerçant de façon statique et dans une direction normale à la surface, soit positive (pression) ou négative (suction);
- I_W = coefficient de risque de la charge due au vent décrit au tableau 4.1.7.3.;
- q = pression dynamique de référence décrite au paragraphe 4);
- C_e = coefficient d'exposition décrit aux paragraphes 5) et 7);
- C_t = coefficient topographique décrit à l'article 4.1.7.4.;
- C_g = coefficient de rafale décrit au paragraphe 8); et
- C_p = coefficient de pression extérieure décrit aux articles 4.1.7.5. et 4.1.7.6.

Tableau [4.1.7.3.] 4.1.7.3.
Coefficient de risque de la charge due au vent, I_w
Faisant partie intégrante des paragraphes [4.1.7.3.] 4.1.7.3. [1] 1) et 4.1.7.8. 4)

Catégorie de risque	Coefficient de risque de la charge due au vent, I_w	
	ÉLU	ÉLTS
Faible	0,8	0,750,6
Normal	1	0,750,6
Élevé	1,15	0,750,6
Protection civile	1,25	0,750,6

[2] 2) La charge résultante due au vent exercée sur l'ensemble du *bâtiment* doit être la différence algébrique des charges sur les surfaces au vent et sous le vent et, dans certains cas, être égale à la somme des produits des pressions ou des suctions extérieures et des surfaces sur lesquelles les moyennes ont été obtenues conformément au paragraphe 1).

[3] 3) La pression résultante du vent sur une partie ou la totalité d'une surface d'un *bâtiment* est égale à la différence algébrique, qui produit l'effet le plus critique, des pressions ou suctions extérieures calculées conformément au paragraphe 1) et des pressions ou des suctions intérieures spécifiées dues au vent calculées à l'aide de la formule suivante :

$$p_i = I_w q C_{ei} C_t C_{gi} C_{pi}$$

où

- p_i = pression intérieure spécifiée, s'exerçant de façon statique et dans une direction normale à la surface, soit positive (pression) ou négative (suction);
- I_w, q, C_t = coefficients décrits au paragraphe 1);
- C_{ei} = coefficient d'exposition pour la pression intérieure décrit au paragraphe 7);
- C_{gi} = coefficient de rafale intérieure décrit au paragraphe 10); et
- C_{pi} = coefficient de pression intérieure décrit à l'article 4.1.7.7.

[4] 4) La valeur de la pression dynamique de référence, q , est déterminée conformément à la sous-section 1.1.3. et est basée sur une probabilité annuelle de dépassement de 1 : 50.

[5] 5) Le coefficient d'exposition, C_e , est basé sur la hauteur de référence, h , déterminée conformément au paragraphe 6), pour la surface ou la partie de la surface considérée et est égal à l'une des valeurs suivantes :

- [a] a) $(h/10)^{0,2}$ et au moins 0,9 dans le cas d'un terrain à découvert, c'est-à-dire un terrain plat comportant seulement des *bâtiments*, des arbres ou d'autres obstacles dispersés, des étendues d'eau ou leur littoral;
- [b] b) $0,7(h/12)^{0,3}$ et au moins 0,7 dans le cas d'un terrain rugueux, c'est-à-dire une banlieue, une zone urbaine ou un terrain boisé qui part du *bâtiment* contre le vent et qui est ininterrompu sur une distance d'au moins 1 km ou 20 fois la hauteur du *bâtiment*, selon la valeur la plus élevée; ou
- [c] c) une valeur se situant entre les valeurs d'exposition définies aux alinéas a) et b) lorsque la nature du terrain change à une distance du *bâtiment* inférieure à 1 km ou 20 fois la hauteur du *bâtiment*, selon la valeur la plus élevée, pourvu qu'une méthode d'interpolation appropriée soit utilisée (voir la note A-4.1.7.3. 5)c)).

[6] 6) La hauteur de référence, h , doit être déterminée comme suit :

- [a] a) pour les *bâtiments* dont la hauteur est d'au plus 20 m et est inférieure à la plus petite dimension en plan, la valeur de h doit être égale à la mi-hauteur du toit au-dessus du *niveau moyen du sol*, sans toutefois être inférieure à 6 m;
- [b] b) pour les autres *bâtiments*, la valeur de h doit être égale à :
- [i] i) la hauteur réelle au-dessus du *niveau moyen du sol* du point sur le mur au vent pour

lequel les pressions extérieures sont calculées;

- [ii] ii) la mi-hauteur du toit pour les pressions sur les surfaces parallèles à la direction du vent; et
 - [iii] iii) la mi-hauteur du *bâtiment* pour les pressions sur le mur sous le vent; et
- [c] c) pour tout élément structural exposé au vent, la valeur de h doit être égale à la mi-hauteur de l'élément au-dessus du sol.

- [7] 7)** Le coefficient d'exposition pour les pressions intérieures, C_{ei} , doit être déterminé comme suit :
- [a] a) pour les *bâtiments* dont la hauteur est supérieure à 20 m et qui présentent une ouverture dominante, la valeur de C_{ei} doit être égale au coefficient d'exposition pour les pressions extérieures, C_e , calculé à la mi-hauteur de l'ouverture dominante; et
 - [b] b) pour les autres *bâtiments*, la valeur de C_{ei} doit être égale au coefficient d'exposition pour les pressions extérieures, C_e , calculé pour une hauteur de référence, h, égale à la plus grande des valeurs suivantes, soit la mi-hauteur du *bâtiment* ou 6 m.
- [8] 8)** Sous réserve des paragraphes 9) et 4.1.7.6. 1), le coefficient de rafale, C_g , est égal à l'une des valeurs suivantes :
- [a] a) 2,0 pour le *bâtiment* dans son ensemble et les principaux éléments structuraux; ou
 - [b] b) 2,5 pour les pressions et les succions extérieures qui s'exercent sur les éléments structuraux secondaires, y compris le revêtement extérieur.
- [9] 9)** Pour les cas où C_g et C_p sont combinés en un produit unique, $C_g C_p$, il n'est pas nécessaire de spécifier indépendamment les valeurs de C_g et de C_p (voir l'article 4.1.7.6.).
- [10] 10)** Le coefficient de rafale intérieur, C_{gi} , doit être égal à 2,0, sauf qu'il peut être calculé au moyen de l'équation suivante pour les grandes structures délimitant un grand volume unique non compartimenté et qui ne compte pas de nombreuses portes basculantes ou ouvertures :

$$C_{gi} = 1 + \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{V_0}{6950A}}}$$

où

V_0 = volume interne, en m^3 ; et

A = aire totale de toutes les ouvertures extérieures du volume, en m^2 .

(Voir la note A-4.1.7.3. 10).)

[4.1.8.2.] 4.1.8.2. Notations

[1] 1) Dans la présente sous-section :

- A_r = coefficient d'amplification de force d'un élément ou d'un composant, pour tenir compte du type de fixation, défini au paragraphe 4.1.8.18. 1);
- A_x = coefficient de hauteur au niveau x, pour tenir compte de la variation de réponse d'un élément ou d'un composant dans le *bâtiment* en fonction de la hauteur, défini au paragraphe 4.1.8.18. 1);
- B_x = rapport au niveau x qui détermine la sensibilité à la torsion, défini au paragraphe 4.1.8.11. 10);
- B = valeur maximale de B_x , définie au paragraphe 4.1.8.11. 10);
- C_p = coefficient sismique d'un élément ou d'un composant, défini au paragraphe 4.1.8.18. 1);
- CS = catégorie sismique attribuée à un *bâtiment* et fondée sur sa catégorie de risque ainsi que sur les valeurs de l'accélération spectrale de calcul pour des périodes de 0,2 s et de 1,0 s, définie à l'article 4.1.8.5.;
- D_{nx} = dimension en plan du *bâtiment* au niveau x perpendiculaire à la direction de la charge sismique considérée;
- e_x = distance mesurée perpendiculairement à la direction de la charge sismique entre le centre de gravité et le centre de rigidité au niveau considéré (voir la note A-4.1.8.2. 1));
- F_a = coefficient de l'emplacement basé sur l'accélération pour application dans les normes incorporées par renvoi à la sous-section 4.1.8., défini au paragraphe 4.1.8.4. 7);

F_s	= coefficient de l'emplacement, défini au paragraphe 4.1.8.1. 2), pour application à l'article 4.1.8.1.;
F_t	= partie de V qui doit être concentrée au sommet de la structure, définie au paragraphe 4.1.8.11. 7);
F_v	= coefficient de l'emplacement basé sur la vitesse pour application dans les normes incorporées par renvoi à la sous-section 4.1.8., défini au paragraphe 4.1.8.4. 7);
F_x	= force latérale agissant au niveau x, définie au paragraphe 4.1.8.11. 7);
h_i, h_n, h_x	= hauteur, en m, des niveaux i, n ou x respectivement par rapport à la base ($i = 0$), la base de la structure étant le niveau auquel on considère que les mouvements sismiques horizontaux sont transmis à la structure;
h_s	= hauteur entre étages ($h_i - h_{i-1}$);
I_E	= coefficient de risque sismique de l'ouvrage, décrit au paragraphe 4.1.8.5. 1);
J	= coefficient numérique de réduction du moment de renversement à la base, défini au paragraphe 4.1.8.11. 6);
J_x	= coefficient numérique de réduction du moment de renversement au niveau x, défini au paragraphe 4.1.8.11. 8);
M_v	= coefficient tenant compte des effets du mode supérieur sur le cisaillement à la base, défini au paragraphe 4.1.8.11. 6);
M_x	= moment de renversement au niveau x, défini au paragraphe 4.1.8.11. 8);
N	= nombre total d'étages entre le <i>niveau moyen du sol</i> extérieur et le niveau n;
\bar{N}_{60}	= résistance moyenne à la pénétration standard, en coups par 0,3 m, des 30 premiers mètres du <i>sol</i> , l'efficacité énergétique de la tige étant corrigée à 60 % de la valeur théorique maximale;
Niveau i	= tout niveau du <i>bâtiment</i> , $i = 1$ pour le premier niveau au-dessus de la base;
Niveau n	= niveau le plus élevé de la partie principale de l'ouvrage;
Niveau x	= niveau faisant l'objet du calcul;
PGA(X)	= accélération maximale du sol, exprimée sous forme de rapport à l'accélération due à la pesanteur, pour la désignation d'emplacement X, définie au paragraphe 4.1.8.4. 1);
PGV(X)	= vitesse maximale du sol, en m/s, pour la désignation d'emplacement X, définie au paragraphe 4.1.8.4. 1);
PI	= indice de plasticité du <i>sol</i> ;
R_d	= coefficient de modification de force lié à la ductilité reflétant la capacité d'une structure à disperser l'énergie par comportement non élastique cyclique et inversé, défini à l'article 4.1.8.9.;
R_o	= coefficient de modification de force lié à la sur-résistance tenant compte de la partie assurée de la résistance en réserve d'une structure dont la conception satisfait aux présentes dispositions, défini à l'article 4.1.8.9.;
R_p	= coefficient de modification de réponse d'un élément ou d'un composant, défini au paragraphe 4.1.8.18. 1);
R_s	= coefficient de modification combiné lié à la sur-résistance et à la ductilité, défini au paragraphe 4.1.8.1. 7), pour application à l'article 4.1.8.1.;
$S_a(T, X)$	= accélération spectrale avec un amortissement de 5 %, exprimée sous forme de rapport à l'accélération due à la pesanteur pendant la période T pour la désignation d'emplacement X, définie au paragraphe 4.1.8.4. 1);
SFRS	= système de résistance aux forces sismiques, c'est-à-dire la partie du système structural qui, dans le calcul, offre la résistance exigée aux effets et aux forces dus aux séismes définis à la sous-section 4.1.8.;
S_p	= coefficient de force horizontale d'une partie d'un <i>bâtiment</i> et de son ancrage, donné au paragraphe 4.1.8.18. 1);
S(T)	= accélération spectrale de calcul exprimée sous forme de rapport à l'accélération due à la pesanteur, pendant la période T, définie au paragraphe 4.1.8.4. 6);
\bar{s}_u	= résistance moyenne du <i>sol</i> non drainé au cisaillement, en kPa, dans les 30 premiers mètres du <i>sol</i> ;

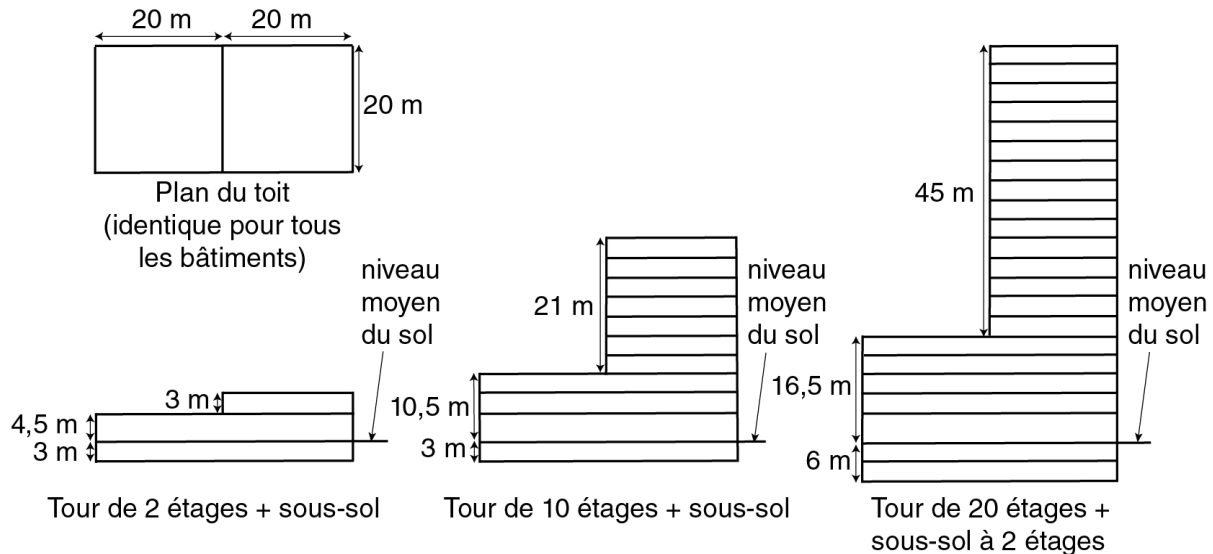
T	= période, en s;
T_a	= période latérale du mode fondamental de vibration du <i>bâtiment</i> ou de la structure dans la direction considérée, en s, définie au paragraphe 4.1.8.11. 3);
TDD	= déplacement de calcul total de tout point d'une structure dotée d'un isolant sismique, à l'intérieur ou au-dessus du système d'isolation, obtenu en calculant la moyenne + ($I_E \times$ l'écart-type) des déplacements horizontaux maximaux tirés de l'ensemble des séries d'antécédents des mouvements du sol analysées, mais qui est au moins égal à $\sqrt{I_E} \times$ la moyenne, le déplacement horizontal maximal étant basé sur la somme des vecteurs des deux déplacements horizontaux orthogonaux considérés pour chaque pas de temps;
T_s	= période latérale du mode fondamental de vibration du <i>bâtiment</i> ou de la structure dans la direction considérée, en s, définie au paragraphe 4.1.8.1. 7);
T_x	= couple de plancher au niveau x, défini au paragraphe 4.1.8.11. 11);
V	= force sismique latérale spécifiée agissant à la base de la structure, déterminée à l'article 4.1.8.11.;
V_d	= force sismique latérale spécifiée agissant à la base de la structure, déterminée à l'article 4.1.8.12.;
V_e	= force élastique sismique latérale agissant à la base de la structure, déterminée à l'article 4.1.8.12.;
V_{ed}	= force élastique sismique latérale ajustée agissant à la base de la structure, déterminée à l'article 4.1.8.12.;
V_p	= force sismique latérale spécifiée agissant sur un élément ou un composant, déterminée à l'article 4.1.8.18.;
V_s	= force sismique latérale spécifiée agissant à la base de la structure, déterminée au paragraphe 4.1.8.1. 7) pour application à l'article 4.1.8.1.;
V_{s30}	= vitesse moyenne des ondes de cisaillement, en m/s, dans les 30 premiers mètres de <i>sol</i> ou de <i>roche</i> ;
W	= charge permanente spécifiée, telle que définie à l'article 4.1.4.1. sans qu'il soit nécessaire que le poids minimal des <i>cloisons</i> défini au paragraphe 4.1.4.1. 3) soit supérieur à 0,5 kPa, plus les charges suivantes : 15 % 25 % de la charge spécifiée due à la neige définie à la sous-section 4.1.6., plus le contenu de tout réservoir et 60 % du poids de stockage pour les aires de stockage, à l'exception des <i>garages de stationnement</i> (voir la note A-4.1.8.2. 1));
W_i, W_x	= partie de W située ou attribuée respectivement au niveau i ou x;
W_p	= poids d'une partie de la structure, telle que revêtements, <i>cloisons</i> et pièces ornementales ou accessoires;
X	= désignation d'emplacement, soit X_V ou X_S ;
X_S	= désignation d'emplacement selon la catégorie d'emplacement, où S est la catégorie d'emplacement déterminée conformément au paragraphe 4.1.8.4. 3);
X_V	= désignation d'emplacement selon la valeur de V_{s30} , où V est la valeur de V_{s30} calculée à partir des mesures de la vitesse des ondes de cisaillement prises sur place;
X_{450}	= désignation d'emplacement X_V avec une valeur de $V_{s30} = 450$ m/s,
$\bar{\delta}_{ave}$	= déplacement moyen de la structure au niveau x, défini au paragraphe 4.1.8.11. 10); et
$\bar{\delta}_{max}$	= déplacement maximal de la structure au niveau x, défini au paragraphe 4.1.8.11. 10).

Analyse des répercussions

Afin d'évaluer l'incidence de la présente modification proposée sur les coûts liés au calcul des structures et l'enveloppe du bâtiment, des bâtiments situés dans 17 grandes villes représentatives de la variabilité des paramètres climatiques au Canada ont été évalués. En Colombie-Britannique : Vancouver et Victoria. En Alberta : Calgary et Edmonton. En Saskatchewan : Regina. Au Manitoba : Winnipeg. En Ontario : Ottawa, Toronto

et Thunder bay. Au Québec : Montréal et Québec. Au Nouveau-Brunswick : Fredericton. En Nouvelle-Écosse : Halifax. À l'Île-du-Prince-Édouard : Charlottetown. À Terre-Neuve-et-Labrador : St John's. Au Yukon : Whitehorse. Au Nunavut : Iqaluit.

Trois archétypes de bâtiment de 2 étages (avec une structure primaire en acier, en béton ou en bois), de 10 étages (avec une structure primaire en acier, en béton ou en bois) et de 20 étages (avec une structure primaire en acier ou en béton) ont été considérés pour chaque localité, chacun ayant une superficie au sol de 800 m² (c'est-à-dire qui sont visés par la partie 4 du CNB; voir la figure 1). Ces archétypes de bâtiment représentent des bâtiments commerciaux et des immeubles d'habitation typiques au Canada. L'analyse complète des répercussions peut être consultée à la référence [6].



FG010009A1

Figure 1. Archétypes de bâtiments : tours de 2 étages, de 10 étages et de 20 étages avec coupes transversales du basilaire.

1. Répercussions sur le calcul des structures

L'étude prend en compte les coûts associés à chaque structure comme nouveau bâtiment selon les dispositions actuelles du CNB 2020 et de la présente modification proposée.

Trois matériaux de construction ont été examinés dans cette évaluation des répercussions : le béton, l'acier et le bois lamellé-croisé (CLT). Les coûts des matériaux de construction par unité ont été déterminés sur la base de données en ligne de RSMeans pour chacune des 17 localités, à l'exception d'Iqaluit, car aucune donnée n'était disponible. Ils ont donc été calculés à l'aide des données de la ville canadienne la plus proche.

La présente modification proposée, y compris l'incidence des changements climatiques sur la conception des bâtiments et la sélection des matériaux, a des effets qui diffèrent d'une localité à l'autre en ce qui a trait aux charges dues au vent pour le calcul des structures. La variation des moments de renversement est généralement inférieure à 10 %, sauf pour Thunder Bay et Vancouver. Une augmentation de l'amoncellement entre étages a été constatée dans certaines localités, mais l'ampleur est négligeable par rapport à la capacité de conception des bâtiments.

Dans le cas des archétypes de bâtiment en béton, les résultats des évaluations montrent que la variation des coûts découlant de la présente modification proposée, en tenant compte de l'incidence des changements climatiques sur la conception des bâtiments et le choix des matériaux, s'élève à moins de 0,1 % pour toutes les localités et les hauteurs de bâtiment examinées dans le cadre de cette étude.

Dans le cas des archétypes de bâtiment en acier, les résultats des évaluations montrent que la variation des coûts découlant de la présente modification proposée, en tenant compte de l'incidence des changements climatiques sur la conception des bâtiments et le choix des matériaux, s'élève à moins de 2 % pour toutes les localités et les hauteurs de bâtiment examinées dans le cadre de cette étude.

Dans le cas des archétypes de bâtiment en CLT, les résultats des évaluations montrent que la variation des coûts découlant de la présente modification proposée, en tenant compte de l'incidence des changements climatiques sur la conception des bâtiments et le choix des matériaux, s'élève à moins de 0,5 % pour toutes les localités et les hauteurs de bâtiment examinées dans le cadre de cette étude.

De façon générale, la présente modification proposée devrait avoir des répercussions économiques négligeables, voire minimales, sur le coût d'une nouvelle structure, principalement pour les raisons suivantes :

- Dans les régions où les forces sismiques ont un effet considérable, les modifications des charges dues au vent ou à la neige n'ont pas d'incidence significative sur le coût des structures.
- L'adoption de l'approche des aléas uniformes dans l'édition de 2025 du CNB entraîne une diminution des charges dues au vent et à la neige, avec une probabilité annuelle de dépassement de 1/500 ou de 1/1000 dans plusieurs cas.
- L'incidence sur les systèmes latéraux est minime pour les archétypes de bâtiment évalués, ce qui signifie qu'un renforcement structurel plus important ne serait pas justifié.

En ce qui concerne le calcul des structures et le choix des matériaux pour les nouveaux bâtiments en béton, en acier et en CLT, l'incidence la plus importante sur les coûts correspondait à une hausse de 1,5 % pour un bâtiment en acier de deux étages situé à St. John's. Lors de sa prise en compte dans l'évaluation, la présente modification proposée n'a entraîné aucun changement ou a entraîné une diminution des coûts, dans la majorité des cas. Dans l'ensemble, les coûts liés au renforcement étaient négligeables comparativement aux coûts totaux des bâtiments. Dans certaines régions, les charges sismiques déterminaient le coût du bâtiment, peu importe les modifications des charges dues au vent ou à la neige.

2. Incidence sur l'enveloppe du bâtiment

L'évaluation de l'incidence sur la conception de l'enveloppe du bâtiment a été réalisée pour les 17 localités canadiennes mentionnées précédemment. L'évaluation de l'incidence sur la conception de l'enveloppe du bâtiment a été réalisée pour les 17 localités canadiennes mentionnées précédemment. Les charges dues au vent sur les murs, les toits et les fenêtrages ainsi que les charges dues à la neige sur les toits ont été déterminées pour les trois archétypes de bâtiment examinés dans cette étude. Ils comprenaient un revêtement mural d'acier et de bois, ainsi qu'un toit et un fenêtrage variés. Ces caractéristiques ont été retenues en fonction de choix de conception conventionnelle pour les archétypes de bâtiments respectifs.

Les répercussions économiques de la présente modification proposée ont été déterminées pour les murs, les toits et les fenêtrages et sont présentées dans le rapport supplémentaire B à la référence [6]. Un résumé des résultats se trouve ci-dessous.

2.1 Murs

Dans les cas d'augmentation des charges causée par la présente modification proposée, l'ampleur de la hausse se situait généralement dans la fourchette à laquelle un concepteur était en mesure de se conformer en respectant la capacité de conception structurelle existante ou en modifiant légèrement les détails, les connexions ou les portées, sans incidence sur les coûts.

Pour les projets où la capacité existante ou des modifications mineures de la conception se sont avérées insuffisantes, la réduction de l'espacement des structures porteuses secondaires pouvait constituer une solution (par exemple, la réduction de l'espacement des structures porteuses secondaires de 16 po à 12 po). Dans les cas où une réduction de l'espacement des structures porteuses secondaires serait nécessaire pour satisfaire à la présente modification proposée, les coûts augmenteraient jusqu'à 6,8 % pour les bâtiments situés dans les cinq zones climatiques étudiées. Le tableau 1 ci-dessous présente les hausses maximales potentielles des coûts. La différence entre les augmentations maximales et moyennes des coûts pour les localités étudiées est faible (au plus 0,2 % pour tous les cas). De ce fait, seules les valeurs maximales sont indiquées dans le tableau.

Tableau 1 : Hausse maximale des coûts (en pourcentage) par type de mur en cas de réduction de l'espacement des structures porteuses de 16 po à 12 po.

Mur ⁽¹⁾	Hausse maximale des coûts
W1 - Mur à poteaux d'acier, isolation extérieure, revêtement en fibre de ciment	6,8 %
W2 - Mur à poteaux d'acier, isolation extérieure, revêtement en panneaux métalliques	3,2 %
W3 - Mur à poteaux d'acier, isolation extérieure, revêtement en briques	0,5 %
W4 - Mur à ossature de bois, isolation intérieure, bardage en bois	2,0 %
W5 - Mur à ossature de bois, isolation intérieure, bardage en briques	0,5 %
W6 - Mur à ossature de bois, isolation fractionnée, bardage en bois	1,7 %
W7 - Mur à ossature de bois, isolation fractionnée, bardage en briques	0,5 %

Note du tableau 1 :

(1) Les types de murs W1, W2 et W3 concernent les trois archétypes de bâtiment, tandis que les autres types de murs (W4 à W7) ne concernent que les bâtiments de 2 et 10 étages.

2.2 Toits

Les résultats montrent que, pour les pressions positives qui exercent une force de compression sur les matériaux du toit, la résistance à la compression des matériaux du toit dépasse de loin toute augmentation observée de la charge de toit positive. Par conséquent, aucune hausse importante des coûts n'est prévue.

Pour les pressions négatives, les répercussions dépendent du type de construction du toit (fixation mécanique ou lestage). La hausse potentielle maximale des coûts est estimée à 5 % pour les toits à fixation mécanique. Lors de l'établissement de cette estimation, il a été noté que des fixations supplémentaires ne seraient nécessaires que dans certaines parties du toit. Autrement dit, si seulement 50 % du toit nécessite des fixations supplémentaires, l'incidence sur les coûts serait inférieure ou égale à la moitié de 5 % (c'est-à-dire 2,5 %).

La hausse potentielle maximale des coûts est estimée à 3 % pour les toits lestés, en fonction de l'augmentation des coûts globaux.

Comme pour les pressions sur les murs, les différences de pression de soulèvement des toits entre le CNB 2020 et les dispositions proposées du CNB 2025 varient de -2 % à +13 %, la différence moyenne étant de +4 % dans les 17 villes étudiées. La relation entre la différence de pression et la hausse des coûts peut donc être déterminée ville par ville, selon la variation maximale de la pression du vent (+13 %) et des différences de coûts maximales (3 % et 5 %). Lorsque les pressions du vent pondérées diminuaient, les hausses de coûts étaient de 0 %.

Tableau 2 : Hausse maximale des coûts (en pourcentage) par ville en fonction du type de construction du toit

Ville	Hausse de la pression du vent pondérée	Hausse maximale des coûts pour les toits à fixation mécanique	Hausse maximale des coûts pour les toits lestés
Calgary	-2 %	0 %	0 %
Charlottetown	7 %	3 %	2 %
Edmonton	-2 %	0 %	0 %
Fredericton	5 %	2 %	1 %
Halifax	7 %	3 %	2 %
Iqaluit	2 %	1 %	0 %
Montréal	2 %	1 %	0 %
Ottawa	7 %	3 %	2 %
Québec	2 %	1 %	0 %
Regina	-1 %	0 %	0 %
St John's	7 %	3 %	2 %
Thunder Bay	13 %	5 %	3 %
Toronto	7 %	3 %	2 %
Vancouver	10 %	4 %	2 %
Victoria	3 %	1 %	1 %
Whitehorse	7 %	3 %	2 %
Winnipeg	0 %	0 %	0 %

D'après le tableau 2, la hausse maximale moyenne des coûts est de 1,8 % pour les toits à fixation mécanique et de 1,1 % pour les toits lestés, ce qui laisse supposer une augmentation des coûts de 0 % dans les localités où les pressions pondérées diminuent.

2.3 Fenêtrage

Il peut y avoir des répercussions sur les coûts associées à la présente modification proposée, mais les concepteurs peuvent les éviter au moyen de solutions d'ingénierie économiques. Il en va de même pour les murs et les toits.

Trois fenêtrages ont été examinés pour évaluer l'incidence sur les coûts de l'augmentation de la profondeur du cadre. La plus forte hausse des coûts (hausse maximale de 13,33 %) est liée aux murs-rideaux en aluminium dont le cadre est passé de 7,5 po à 10,5 po.

Tableau 3 : Hausse maximale des coûts (en pourcentage) par type de fenêtrage en fonction de l'augmentation de la profondeur du cadre

Fenêtrage	Hausse maximale des coûts
F1 - Murs-rideaux en aluminium, vitrage double, profondeur du cadre passant de 6 po à 7,5 po	3,45 %
F1 - Murs-rideaux en aluminium, vitrage double, profondeur du cadre passant de 7,5 po à 10,5 po	13,33 %
F1 - Murs-rideaux en aluminium, vitrage triple, profondeur du cadre passant de 6,75 po à 8,25 po	3,03 %
F1 - Murs-rideaux en aluminium, vitrage triple, profondeur du cadre passant de 8,25 po à 11,25 po	11,76 %
F2 - Fenêtre en aluminium de type ouverture pratiquée dans le mur, vitrage double, profondeur du cadre passant de 4 po à 5 po	3,57 %
F2 - Fenêtre en aluminium de type ouverture pratiquée dans le mur, vitrage double, profondeur du cadre passant de 5 po à 6 po	3,45 %
F2 - Fenêtre en aluminium de type ouverture pratiquée dans le mur, vitrage triple, profondeur du cadre passant de 4 po à 5 po	3,13 %
F2 - Fenêtre en aluminium de type ouverture pratiquée dans le mur, vitrage triple, profondeur du cadre passant de 5 po à 6 po	3,03 %

Comme dans l'un des tableaux ci-dessus, les types de murs W1, W2 et W3 concernent les trois archétypes de bâtiment, tandis que les autres types de murs (W4 à W7) ne concernent que les bâtiments de 2 et 10 étages.

Le pourcentage de fenêtres dont la profondeur du cadre devrait être modifiée pour faire face à des charges accrues n'a pas été quantifié dans cette étude. La contrainte exercée sur les meneaux a diminué dans 4 des 17 localités examinées. On peut donc conclure que la présente modification proposée n'entraînera pas de hausse de coûts. Par ailleurs, la contrainte nominale exercée sur les meneaux a crû (5 % ou moins) dans six autres localités. Comme dans le cas des autres fenêtres, la plus forte augmentation de la contrainte, qui s'élève à 11 %, a été relevée à Thunder Bay.

En ce qui a trait aux fenêtres en vinyle de type ouverture pratiquée dans le mur, qui n'ont été examinées que pour l'archétype de bâtiment de 2 étages, le dépassement des exigences relatives aux cas de charge dans le CNB 2020 et la présente modification proposée n'ont pas d'incidence sur les coûts.

En résumé, les effets des légères modifications apportées aux charges spécifiées dues au vent et à la neige (dans le Nord uniquement) ne devraient pas faire croître significativement les coûts totaux des nouveaux bâtiments. Bien que les modifications dans certaines locations puissent sembler importantes, l'approche proposée est raisonnablement simple et ne perturbe pas la pratique actuelle.

Le principal avantage de la présente modification proposée réside dans la réduction du risque de défaillance pendant la durée utile du bâtiment par rapport aux pratiques antérieures.

Dans la plupart des cas, on s'attend à ce que les méthodes de construction courantes, l'espacement des matériaux et les considérations de conception s'avèrent suffisamment résilientes pour qu'aucune mesure ou aucun coût supplémentaire important ne soit nécessaire pour satisfaire aux exigences techniques découlant de l'adoption de l'approche des risques uniformes proposée et des coefficients de changement climatique.

References

[6] RWDI Report No. 1702484 (2023). Code Amendments for Climate Change and Economic Impact Assessment.

Répercussions sur la mise en application

Aucune répercussion sur la mise en application n'est prévue.

Personnes concernées

Concepteurs, architectes, responsables de la réglementation des bâtiments et propriétaires.

ANALYSE AXÉE SUR LES OBJECTIFS DES EXIGENCES NOUVELLES OU MODIFIÉES

- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [1] 1) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [1] 1) [F20-OS2.1]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [2] 2) [F20-OS2.1] [F22-OS2.4,OS2.5] S'applique à la résistance stabilisatrice de la charge permanente.
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [2] 2) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4,OP2.5]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [3] 3) [F20-OS2.1] [F22-OS2.4,OS2.5] S'applique à la résistance stabilisatrice de la charge permanente.
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [3] 3) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4,OP2.5]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [4] 4) [F20-OS2.1]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [4] 4) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [5] 5) [F20-OS2.1] [F22-OS2.4,OS2.5]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [5] 5) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4,OP2.5]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [6] 6) aucune attribution
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [7] 7) aucune attribution
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [8] 8) [F20-OS2.1]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [8] 8) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [9] 9) [F20-OS2.1]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [9] 9) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [10] 10) aucune attribution
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [11] 11) [F20-OS2.1] [F22-OS2.4,OS2.5]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [12] 12) [F20-OS2.1]
- [4.1.3.2.] 4.1.3.2. [12] 12) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [1] 1) [F20-OS2.1]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [1] 1) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [2] 2) [F20-OS2.1]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [2] 2) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [3] 3) [F20-OS2.1]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [3] 3) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [4] 4) aucune attribution
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [5] 5) [F20-OS2.1]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [5] 5) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [6] 6) [F20-OS2.1]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [6] 6) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [7] 7) [F20-OS2.1]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [7] 7) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [8] 8) [F20-OS2.1] S'applique à la partie du texte du CNB :« Le coefficient d'accumulation, C_a , doit être égal à 1,0, ... »
- [4.1.6.2.] 4.1.6.2. [8] 8) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4] S'applique à la partie du texte du CNB :« Le

coefficient d'accumulation, C_a , doit être égal à 1,0, ...»

[4.1.6.2.] 4.1.6.2. [8] 8) [a] a) à[f] f) [F20-OS2.1] S'applique aux formes de toit et aux configurations qui exigent un coefficient d'accumulation plus élevé.

[4.1.6.2.] 4.1.6.2. [8] 8) [a] a) à[f] f) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4] S'applique aux formes de toit et aux configurations qui exigent un coefficient d'accumulation plus élevé.

[4.1.6.2.] 4.1.6.2. [9] 9) [F20-OS2.1]

[4.1.6.2.] 4.1.6.2. [9] 9) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.2.] -- [10] --) [F20-OS2.1]

[4.1.6.2.] -- [10] --) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.5.] 4.1.6.5. [1] 1) [F20-OS2.1]

[4.1.6.5.] 4.1.6.5. [1] 1) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.5.] 4.1.6.5. [2] 2) [F20-OS2.1]

[4.1.6.5.] 4.1.6.5. [2] 2) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.5.] 4.1.6.5. [3] 3) [F20-OS2.1]

[4.1.6.5.] 4.1.6.5. [3] 3) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.5.] 4.1.6.5. [4] 4) [F20-OS2.1]

[4.1.6.5.] 4.1.6.5. [4] 4) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.5.] 4.1.6.5. [5] 5) [F20-OS2.1]

[4.1.6.5.] 4.1.6.5. [5] 5) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.7.] 4.1.6.7. [1] 1) [F20-OS2.1]

[4.1.6.7.] 4.1.6.7. [1] 1) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.7.] 4.1.6.7. [2] 2) aucune attribution

[4.1.6.7.] 4.1.6.7. [3] 3) aucune attribution

[4.1.6.9.] 4.1.6.9. [1] 1) [F20-OS2.1]

[4.1.6.9.] 4.1.6.9. [1] 1) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.9.] 4.1.6.9. [2] 2) [F20-OS2.1]

[4.1.6.9.] 4.1.6.9. [2] 2) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.9.] 4.1.6.9. [3] 3) aucune attribution

[4.1.6.9.] 4.1.6.9. [4] 4) [F20-OS2.1]

[4.1.6.9.] 4.1.6.9. [4] 4) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.9.] 4.1.6.9. [4] 4) aucune attribution

[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [1] 1) [F20-OS2.1]

[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [1] 1) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [2] 2) [F20-OS2.1]

[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [2] 2) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [3] 3) [F20-OS2.1]

[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [3] 3) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [4] 4) [F20-OS2.1]

[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [4] 4) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]

[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [5] 5) [F20-OS2.1]

[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [5] 5) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [6] 6) [F20-OS2.1]
[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [6] 6) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [7] 7) [F20-OS2.1]
[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [7] 7) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [8] 8) aucune attribution
[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [9] 9) [F20-OS2.1]
[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [9] 9) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.6.10.] 4.1.6.10. [9] 9) aucune attribution
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [1] 1) [F20-OS2.1]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [1] 1) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [1] 1) [F22-OH4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [2] 2) [F20-OS2.1]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [2] 2) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [2] 2) [F22-OH4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [3] 3) [F20-OS2.1]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [3] 3) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [3] 3) [F22-OH4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [4] 4) [F20-OS2.1]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [4] 4) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [4] 4) [F22-OH4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [5] 5) [F20-OS2.1]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [5] 5) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [5] 5) [F22-OH4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [6] 6) [F20-OS2.1]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [6] 6) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [6] 6) [F22-OH4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [7] 7) [F20-OS2.1]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [7] 7) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [7] 7) [F22-OH4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [8] 8) [F20-OS2.1]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [8] 8) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [8] 8) [F22-OH4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [9] 9) aucune attribution
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [10] 10) [F20-OS2.1]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [10] 10) [F20-OP2.1] [F22-OP2.4]
[4.1.7.3.] 4.1.7.3. [10] 10) [F22-OH4]
[4.1.8.2.] 4.1.8.2. [1] 1) aucune attribution