ÉVALUATION DES PANNEAUX DE TOITURE EN BÉTON CELLULAIRE AUTOCLAVÉ ARMÉ (« RAAC »)

INSTALLATION

Édifice B du Centre des sciences de l'Ontario — B14174
770, rue Don Mills, North York (Ontario)

PRÉPARÉ POUR

Infrastructure Ontario et le ministère de l'Infrastructure
11 juillet 2024

DOSSIER RIMKUS NUMÉRO

100237742

rimkus.com
(905) 607-7244

Consultants. Experts. Innovateurs.

2121, rue Argentia, 4e étage
Mississauga (Ontario) L5N 2X4

TABLE DES MATIÈRES

Signatures des professionnels 1

Sommaire 2

1. Introduction 7

1.1 Historique du RAAC 7

1.2 Portée et méthodologie des travaux 8

1.3 Évaluation des risques liés au RAAC 9

1.4 Estimés budgétaires 11

2. Examen de la documentation et des plans 13

3. Observations 14

3.1 Observations générales 14

3.2 Détermination du type de platelage de toit 15

3.3 Observations relatives aux panneaux en RAAC 16

3.4 Observations relatives à la toiture 19

4. Recommandations 24

4.1 Stratégies de réhabilitation des panneaux en RAAC et de la toiture 24

4.2 Recommandations en matière de surveillance et de réévaluation futures 29

4.3 Résumé des recommandations par catégorie de risque 30

5. Références 32

ANNEXE A : PHOTOGRAPHIES 33

ANNEXE B : Plan de la toiture 56

Annexes :

Annexe A — Photographies

Annexe B — Plans de la toiture

SIGNATURES DES PROFESSIONNELS

Infrastructure Ontario (IO) a engagé les services de Rimkus pour confirmer la présence et l'emplacement de panneaux de toiture en béton cellulaire autoclavé armé (« RAAC » pour « Reinforced Autoclaved Aerated Concrete ») dans l'ensemble de l'édifice B du Centre des sciences de l'Ontario, évaluer leur état et préparer un rapport qui résume les résultats de l'examen de la documentation et les observations sur le terrain et qui offre des conseils relativement à la réhabilitation proactive et à la surveillance continue des structures en question.

Le présent rapport est destiné à l'usage exclusif d'Infrastructure Ontario (IO), du ministère de l'Infrastructure et des autres organismes gouvernementaux et ministères dont relève IO. Il n'est destiné à aucun autre usage. Notre rapport est fondé sur des observations sur le terrain et l'analyse des renseignements publics auxquels nous avons eu accès lors de sa préparation. Si des renseignements supplémentaires devenaient disponibles, nous nous réservons le droit d'établir quel impact les nouveaux renseignements pourraient avoir sur nos opinions et nos conclusions et de revoir nos opinions et nos conclusions au besoin. Nulle autre personne et nul autre organisme ne peuvent s'appuyer sur le présent rapport sans l'autorisation expresse et écrite de Rimkus et d'Infrastructure Ontario. Si l'une ou l'autre des limitations précédentes contrevient aux dispositions de l'entente régissant le présent mandat, l'entente prévaudra.

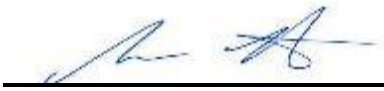
Les professionnels soussignés ont contribué à la préparation du présent rapport.

Rapport préparé par :

Graham Twynam, M. Eng., P. Eng.

Chris Dawson, RRO
Chef des services professionnels

Révisé par :



Marc Winters, P. Eng.
Directeur

SOMMAIRE

Le béton cellulaire autoclavé armé (« RAAC » pour « Reinforced Autoclaved Aerated Concrete ») est un produit en béton léger pour lequel un risque de dégradation sous l'effet des infiltrations d'eau a été démontré dans d'autres pays. Pour cerner les risques possibles liés aux structures en RAAC existantes, il faut étudier les panneaux de toiture en RAAC *in situ*, ainsi que la toiture dans son ensemble.

Rimkus Consulting Group (Rimkus) a été engagé par Infrastructure Ontario (IO) pour effectuer une évaluation visuelle de l'état des panneaux de toit en RAAC et des éléments de la toiture de l'édifice B du Centre des sciences de l'Ontario (CSO) situé au 770, rue Don Mills à Toronto (Ontario).

L'édifice B a une empreinte totale d'envion 45 000 pi². L'édifice a été construit vers 1968. Le platelage de toit comprend des panneaux en RAAC et des dalles plates ou nervurées conventionnelles en béton armé. Les zones de toit couvertes de panneaux en RAAC ont une aire totale d'environ 29 000 pi², ce qui représente environ 65 % de l'aire totale du toit.

Pour éliminer entièrement tous les risques liés au RAAC, il est recommandé de remplacer tous les panneaux de toiture en RAAC par un nouveau tablier métallique lors de la prochaine réfection de la toiture. Étant donné que des travaux de réfection de la toiture ne sont pas requis de manière immédiate dans toutes les zones, les descriptions des catégories de risque ci-dessous résument les recommandations temporaires, qui sont abordées de manière plus détaillée aux sections **4.1** et **4.2**, pour la prise en charge des panneaux en RAAC en mauvais état décelés durant l'évaluation de l'état de la toiture. Les mesures d'atténuation des risques recommandées correspondent à la catégorie de risque attribuée à chaque panneau en RAAC ayant été évalué. Pour de plus amples détails, veuillez consulter la matrice de catégories de risque présentée au **Tableau 1**, ainsi que le dessin S01 en annexe pour la catégorie de risque et l'emplacement des panneaux. Les mesures et la démarche de gestion recommandées exigent que l'on tienne compte non seulement de l'état des panneaux en RAAC, mais également de l'état de toiture dans son ensemble et la concentration des panneaux en RAAC à risque.

Panneaux posant un risque critique (niveau bleu)

- Installation immédiate d'étaiements (renforts) pour tous les panneaux posant un risque critique. Les emplacements de ces panneaux ont été indiqués immédiatement au client et les travaux qui s'y rapportent ont été achevés avant la préparation du présent rapport.
- L'étaiement devra être maintenu jusqu'à l'achèvement des travaux de réhabilitation des panneaux.

Panneaux posant un risque élevé (niveau orange)

- Remplacement ou renforcement d'ici le 31 octobre 2024 (échéancier recommandé).
- Mise en œuvre d'un plan de surveillance des surcharges dues à la neige et à la pluie jusqu'à l'achèvement des travaux de réhabilitation; pour de plus amples détails, consulter le document de Rimkus intitulé « Snow Loading & Rainwater Management Plan » (Plan de gestion des eaux de pluie et des surcharges dues à la neige).
- S'il n'est pas possible d'achever les travaux de réhabilitation dans les délais recommandés, l'une des options suivantes d'atténuation supplémentaire des risques est

recommandée et doit être mise en œuvre avec le programme de surveillance des surcharges dues à la neige.

Option 1 : *Restriction ou interdiction d'accès afin d'empêcher toute circulation piétonne dans les zones où se trouvent des panneaux posant un risque élevé.*
Option 2 : *Installation d'étaiements (renforts) temporaires en dessous des panneaux en RAAC.*
Option 3 : *Si l'étaiement n'est pas possible, installation de panneaux de protection horizontaux près des surfaces inférieures des plafonds fixes ou d'autres éléments entravants (p. ex. canalisations principales d'extincteur ou tuyauteries industrielles).*

- Les trois options recommandées ci-dessus sont énumérées par ordre décroissant de préférence (l'option 1 élimine entièrement tout risque pour la sécurité du public ou du personnel).

Panneaux posant un risque modéré (niveau jaune)

- Surveillance en permanence et réévaluation annuelle.

Panneaux posant un risque faible (niveau vert)

- Surveillance en permanence et réévaluation trisannuelle.

Pour les besoins de notre étude, l'état de la toiture a été examiné dans l'ensemble du toit, y compris les zones couvertes par des panneaux en RAAC et par d'autres types de platelage de toit.

<u>Panneaux en RAAC</u>

Les panneaux en RAAC ont été soumis à une évaluation purement visuelle; aucune évaluation intrusive n'a été réalisée. Des inspections visuelles de la surface inférieure des panneaux ont été réalisées et documentées. Les panneaux en RAAC surplombant la salle du Grand Hall (zone de toit B1) et la partie arrière de l'auditorium (zone de toit B4) étaient dissimulés par des revêtements de plafond fixes. Ces deux zones de panneaux en RAAC ont été exclues de la présente évaluation, car il aurait fallu employer des mesures intrusives pour y accéder et cela aurait eu des retombées importantes sur le budget et le calendrier des travaux. Par conséquent, environ 35 % des panneaux en RAAC n'ont pas été examinés durant l'évaluation sur les lieux. L'état des zones de toit adjacentes de chaque édifice a été utilisé pour formuler des hypothèses quant à l'état probable du toit dans ces zones. Par exemple, on s'attend à ce que l'état du toit du Grand Hall soit semblable à celui des zones de toit adjacentes, dont il est séparé par un puits de lumière. Rimkus estime qu'environ 25 % des panneaux en RAAC existants du Grand Hall entrent dans la catégorie de risque élevé. Comme pour le toit de l'auditorium, le revêtement d'étanchéité du toit du Grand Hall a atteint la fin de sa vie utile.

Un déplacement vertical a été noté à des emplacements où un fléchissement visible à mi-portée a été observée. Le rapport de l'Institution of Structural Engineers intitulé « *Reinforced Autoclaved Aerated Concrete (RAAC) Investigation and Assessment – Further Guidance »,* en date d'avril 2023*,* a servi de référence pour établir le protocole d'examen et d'évaluation et déterminer le niveau de risque des panneaux en RAAC. L'organisme (« Institution of Structural Engineers ») et le groupe d'étude qui ont préparé ce guide sont basés au Royaume-Uni. Les signes d'infiltration d'eau, les modifications sur le terrain, le fléchissement, la fissuration et l'écaillage ont tous été

pris en considération pour déterminer le niveau de risque. Un système de codage par couleurs a été utilisé et a servi à annoter le dessin S01 ci-joint à l'Annexe A. Il est résumé ci-dessous :

- L'ombrage en bleu indique un risque critique qui requiert l'étaiement (le renforcement) ou le remplacement du panneau concerné de manière immédiate.
- L'orange indique un risque élevé qui requiert le remplacement ou le renforcement de l'élément concerné d'ici le 31 octobre 2024.
- Le jaune indique un risque modéré qui requiert une réévaluation annuelle.
- Le vert indique un risque faible qui requiert une réévaluation tous les trois ans.

Les résultats globaux du classement du risque posé par les panneaux en RAAC selon l'évaluation de Rimkus sont résumés ci-dessous :

- En tout, un panneau a été classé dans la catégorie de risque élevé (niveau bleu).

- Environ 5 % des panneaux de toiture dans l'ensemble des zones couvertes par des panneaux en RAAC (environ 1 000 pi²) ont été classés dans la catégorie de risque élevé (niveau orange).

- Environ 2 % des panneaux en RAAC examinés ont été classés dans la catégorie de risque modéré (niveau jaune).

- Le restant (environ 92 %) des panneaux en RAAC ont été classés dans la catégorie de risque faible (niveau vert).

Le pourcentage de panneaux en RAAC dans une catégorie n'est qu'un indicateur de la marche à suivre. Comme indiqué ci-dessus, l'état de la toiture correspondante et la concentration des panneaux en RAAC à réparer déterminent également la durée de vie utile restante de ces toitures.

La majorité des anomalies affectant les panneaux étaient dues à l'infiltration d'eau dans la toiture. Des modifications sur le terrain des panneaux en RAAC ont également été constatées à de nombreux endroits. Les modifications sur le terrain comprenaient des ouvertures sans renforcement visant à permettre des pénétrations localisées de la toiture. Les infiltrations d'eau et les modifications sur le terrain sans renforcement ont réduit de façon permanente la capacité portante des panneaux en RAAC. Les panneaux altérés fonctionnent donc avec un coefficient de sécurité réduit relativement à celui prévu lors de la conception initiale des structures. Toute surcharge importante due à la neige ou à la pluie pourrait entraîner le dépassement de la capacité portante réduite des panneaux en mauvais état et créer ainsi un risque accru de défaillance soudaine.

Les recommandations en matière de réhabilitation des panneaux en RAAC et les budgets correspondants pour les panneaux classés dans la catégorie de risque élevé sont résumés au **Tableau 7** de la section 4.1. Il est recommandé d'achever le renforcement de ces panneaux d'ici le 31 octobre 2024. Les recommandations en matière de réévaluation périodique et les budgets correspondants pour les catégories de risque modéré et faible sont résumés au **Tableau 10** de la section 4.2. Les coûts budgétaires pour les travaux de réhabilitation des panneaux en RAAC et la réévaluation périodique de la situation qui sont recommandés sont résumés ci-dessous. Les coûts sont indiqués uniquement pour les activités de construction, y compris la main-d'œuvre et les matériaux; ils excluent les taxes applicables, les honoraires de consultants, les aléas de

construction, les relevés de substances désignées (RSD) et les conditions inconnues du site, le cas échéant.

Année	***Recommandations relatives aux panneaux en RAAC***	***Coût budgétaire***
2024	Renforcement localisé des panneaux en RAAC aux emplacements classés dans la catégorie de risque élevé (niveau orange)	112 500 $
2025	Réévaluation des panneaux en RAAC classés dans la catégorie de risque modéré (niveau jaune)	10 000 $
2026	Réévaluation des panneaux en RAAC classés dans la catégorie de risque modéré (niveau jaune)	10 500 $
2027	Réévaluation de tous les panneaux en RAAC au sein de l'établissement	45 000 $
2028	Réévaluation des panneaux en RAAC classés dans la catégorie de risque modéré (niveau jaune)	11 500 $
2029	Réévaluation des panneaux en RAAC classés dans la catégorie de risque modéré (niveau jaune)	12 000 $

Toiture et panneaux en RAAC

Comme pour les panneaux en RAAC, la toiture a été soumise à une évaluation purement visuelle sans aucune investigation intrusive. Les types de toitures variaient d'une zone à l'autre de l'installation et comprenaient des toitures inversées ballastées et des toitures végétalisées. Comme on s'y attendait, compte tenu de la taille de l'installation, les éléments de la toiture avaient été remplacés par étapes au fil des ans. L'état de la toiture et sa durée de vie utile restante variaient donc d'une zone à l'autre du toit. La majorité des toitures de l'édifice B utilisent le système de toiture inversé, ce qui rend difficile l'examen du revêtement d'étanchéité. Pendant l'examen des équipements du toit, les endroits auxquels le revêtement d'étanchéité était visible ont été examinés soigneusement.

Les recommandations en matière de réparation et d'entretien localisés de la toiture, ainsi que les budgets correspondants sont résumées au **Tableau 7** de la section 4.1. Divers travaux d'entretien et de réparation sont recommandés en 2024, notamment la réparation des joints d'étanchéité des boîtes à mastic préfabriquées, ainsi que l'inspection régulière des drains de toit et l'élimination des débris qui s'y trouvent.

Il est recommandé de toujours remplacer les panneaux en RAAC au moment de la prochaine réfection prévue de la toiture. Les prévisions en matière de durée de vie utile restante et les budgets pour les travaux recommandés de remplacement de panneaux en RAAC et de toitures, le cas échéant, sont présentés au **Tableau 8**.

Les coûts budgétaires pour les travaux recommandés d'entretien de la toiture et de remplacement des panneaux en RAAC (**Tableau 9**) sont résumés ci-dessous. Les coûts indiqués couvrent uniquement la construction, y compris la main-d'œuvre et les matériaux; ils excluent les taxes applicables, les honoraires de consultant, les aléas de construction, les relevés de substances désignées (RSD) et les conditions inconnues du site, le cas échéant.

Année recommandée	***Recommandation relative à la toiture et aux panneaux en RAAC***	***Coût budgétaire***
2024	Entretien de la toiture et remplacement de la toiture et des panneaux en RAAC	3 006 480 $
2026 à 2029	Remplacement de la toiture et des panneaux en RAAC	2 715 720 $
2029 à 2034	Remplacement de la toiture et des panneaux en RAAC	344 320 $

1. INTRODUCTION

1.1 Historique du RAAC

Le Siporex était un choix de matériau répandu en Ontario pour la construction d'immeubles scolaires, institutionnels et industriels de la moitié des années 1950 jusqu'à la moitié des années 1970. Le Siporex était surtout utilisé sous la forme de panneaux muraux et de dalles ou de panneaux dans les toitures et les planchers. Les panneaux pouvaient avoir une portée de jusqu'à 6,1 m (20 pi) entre les supports. Au Canada, les produits en Siporex ont été fabriqués par Domtar dans son usine de Delson (Québec) de 1955 à 1972. C'était la seule marque déposée de RAAC vendue sur le marché ontarien.

Le Siporex était un choix de matériau répandu en Ontario pour la construction d'immeubles scolaires, institutionnels et industriels de la moitié des années 1950 jusqu'à la moitié des années 1970. Il était surtout utilisé sous la forme de panneaux muraux et de dalles ou de panneaux dans les toitures et les planchers. Les panneaux pouvaient avoir une portée de jusqu'à 6,1 m (20 pi) entre les supports. Au Canada, les produits en Siporex ont été fabriqués par Domtar dans son usine de Delson (Québec) de 1955 à 1972. C'était la seule marque déposée de RAAC vendue sur le marché ontarien. À l'époque, les produits Siporex étaient appréciés, car ils étaient commercialisés en tant que matériau léger offrant, en plus de ses propriétés structurelles, d'excellentes caractéristiques d'isolation thermique, d'insonorisation et de protection contre le feu, un plafond préfini attrayant et un excellent substrat pour les revêtements de plancher ou de toiture. Il se caractérise par une conception polyvalente, de longues portées économiques et un rythme de construction rapide et contrôlable.

Le terme « béton cellulaire autoclavé » (« AAC » pour « Autoclaved Aerated Concrete ») est légèrement erroné, car il désigne un matériau qui n'est pas du béton pour ce qui est de ses matières constitutives ou de ses propriétés physiques. Les éléments en « béton cellulaire autoclavé » (« AAC ») étaient néanmoins traités comme ceux en béton pour ce qui est de leur conception; à ce titre, ils devaient se conformer aux normes de l'Association Canadienne de Normalisation (CSA) et de l'American Concrete Institute (ACI), ainsi qu'au Code national du bâtiment du Canada et au Code du bâtiment de l'Ontario en vigueur à l'époque. Des armatures en acier étaient ajoutées au béton cellulaire autoclavé (AAC) lors du moulage pour créer les produits en béton cellulaire autoclavé armé (RAAC).

Béton cellulaire autoclavé armé (« RAAC ») :

Mélange cellulaire de sable, de ciment Portland et de poudre d'aluminium. Pendant le processus de durcissement, la poudre d'aluminium réagit avec l'eau et la chaux contenue dans le ciment en dégageant de l'hydrogène gazeux. Ce gaz forme des petites bulles dans le mélange de manière à produire une structure poreuse légère et relativement uniforme.

Les produits Siporex comprenaient des armatures en acier agencées de manière conventionnelle, pour travailler en tension et en compression, ainsi que des barres transversales; ils n'étaient pas précontraints. Les barres transversales n'étaient pas agencées de manière à optimiser la portance des produits; elles servaient plutôt à former une cage de renfort principalement à des fins de fabrication.

La substance produite lors du processus de mélange est versée dans des moules. Une fois que cette masse commence à durcir, elle est découpée en blocs ou en dalles au moyen de fils.

Les pièces sont ensuite soumises à un processus d'autoclavage; ce processus consiste à faire durcir le matériau dans des réacteurs dans lesquels on introduit de la vapeur à pression élevée après le moulage et le découpage final. La combinaison de température et de pression est choisie pour réduire le retrait autant que possible et accélérer le processus de durcissement du matériau.

Le RAAC est dans l'ensemble un matériau de construction moins robuste que les platelages en acier ou le béton conventionnel, ce qui le rend plus vulnérable aux dommages dus aux impacts et pose un risque de défaillance soudaine. En général, les panneaux en RAAC ont une durée de vie utile inférieure aux autres types courants de platelages de toit, y compris les platelages en acier et les panneaux en béton préfabriqués.

Les propriétaires et les responsables de la gestion des immeubles ne sont souvent pas informés des problèmes liés à leur installation jusqu'à ce que des signes tangibles de la détérioration ou de la défaillance d'un élément soient décelés pendant un projet de réfection de la toiture. Par conséquent, les toitures comprenant des panneaux en RAAC requièrent une surveillance attentive de la part du personnel responsable de la gestion de l'installation et des évaluations plus fréquentes de l'état de la toiture et des panneaux en RAAC.

Les déficiences qui surgissent au fil du temps dans les produits en RAAC installés dans des édifices existants posent un risque croissant de défaillance future si lesdits produits sont exposés à des infiltrations d'eau constantes. Si l'on permet aux panneaux de se détériorer continuellement, cela pose un risque croissant de défaillance du RAAC. Les conséquences d'une défaillance du RAAC comprennent la détérioration possible de l'immeuble et des risques pour la sécurité publique.

En Ontario, la première étape à suivre pour déceler la présence de panneaux en RAAC consiste à établir l'année de construction de l'édifice. Les édifices construits avant 1955 ou après 1975 n'en contiennent probablement pas, car les produits en RAAC n'étaient pas faciles à obtenir en dehors de cette période. La deuxième étape à suivre consiste à effectuer des observations visuelles lorsque la surface externe de la partie inférieure du platelage de toit est exposée. Les panneaux en RAAC sont gris clair ou blanc cassé. Si des zones écaillées sont décelées, la surface interne du panneau aura une apparence alvéolée et ne comportera ni pierre ni granulat. Les panneaux en RAAC vendus en Ontario avaient toujours une largeur de 457 mm (18 po) et une longueur maximale de 6,1 m (20 pi).

Pour de plus amples renseignements généraux sur les risques liés aux panneaux en RAAC et les stratégies de gestion desdits risques, consulter le document technique produit par Rimkus Consulting Group intitulé « *Understanding the Historic Use of Reinforced Autoclaved Aerated Concrete (RAAC) in building construction in Ontario » (*Comprendre l'historique de l'utilisation du béton cellulaire autoclavé renforcé [RAAC] dans la construction d'immeubles en Ontario), daté du 25 mai 2024.

1.2 Portée et méthodologie des travaux

Rimkus a réalisé une évaluation visuelle individuelle de tous les panneaux de toiture en RAAC accessibles au sein de l'installation. Étant donné que la durabilité et la durée de vie des panneaux en RAAC dépendent fortement de l'importance de l'infiltration d'eau, la portée des travaux confiés

à Rimkus comprend également l'évaluation de l'état de la toiture dans toutes les zones couvertes de l'édifice B. L'investigation a été réalisée par Graham Twynam, Chris Dawson et Marzieh Galehdari au cours de plusieurs visites des lieux réalisées entre le 6 décembre 2023 et le 26 mars 2024.

Étant donné que la durabilité et la durée de vie des panneaux en RAAC dépendent fortement de l'importance de l'infiltration d'eau, la portée des travaux confiés à Rimkus comprend également l'évaluation de l'état de la toiture dans toutes les zones couvertes de l'édifice B.

L'investigation des panneaux en RAAC a été entièrement visuelle sans évaluation intrusive des panneaux. Seule la surface inférieure des panneaux a été examinée. Les zones de toit couvertes par des panneaux en RAAC étaient dépourvues d'un plafond inférieur dans tous les locaux techniques. Les panneaux en RAAC surplombant la salle du Grand Hall (zone de toit B1) et une partie des panneaux en RAAC surplombant l'auditorium (zone de toit B4) étaient dissimulés par des plafonds finis. Étant donné le besoin de maintenir le contrôle des espaces aux alentours de ces zones, ces panneaux n'ont pas été examinés dans le cadre de cette première étape d'évaluation. Les recommandations en matière de réhabilitation présentées dans le présent rapport sont fondées sur les observations de l'état des panneaux en RAAC dans les zones adjacentes de la toiture. Dans certains espaces mécaniques, il était difficile de vérifier visuellement l'état des panneaux en raison de la concentration de tuyauteries. Ces emplacements sont identifiés dans la section des remarques à propos des observations de la zone de toit en question. Il a été supposé que les zones inaccessibles comprennent des panneaux posant un risque élevé compte tenu de l'état des panneaux observés. Dans le Grand Hall, il est supposé qu'environ 25 % des panneaux de la zone B1 entrent dans la catégorie de risque élevé.

Pour chaque panneau en RAAC dans lequel on a décelé des anomalies, des recommandations en matière de mesures de réhabilitation ou de surveillance supplémentaire ont été formulées, ainsi qu'un échéancier et une estimation des coûts budgétaires. Les panneaux en RAAC exigeant la prise de mesures immédiates ont été signalés au client et aux responsables de la gestion de l'installation le jour même de la visite sur les lieux.

Des photographies ont été prises pendant les visites des lieux et sont présentées à l'Annexe A du présent rapport.

1.3 Évaluation des risques liés au RAAC

Les renseignements recueillis pendant les visites des lieux ont été utilisés pour établir un système de classification des risques pour les panneaux en RAAC au sein de l'édifice inspecté. L'échelle de classification par niveaux BOJV (bleu, orange, jaune ou vert) a été mise au point pour faciliter cette évaluation (voir le **Tableau 1**).

Tableau 1 — Tableau de classification des risques

Niveau de risque	***Mesures recommandées***
Niveau bleu — Risque critique	Restriction immédiate de l'accès aux espaces occupés sous les panneaux en RAAC, suivie de l'installation d'étaiements ou le remplacement/renforcement des panneaux affectés.

Niveau orange — Risque élevé	Remplacement des panneaux concernés ou installation de supports secondaires avant la prochaine surcharge importante. En Ontario, la surcharge due à la neige est le facteur décisif pour la majorité des systèmes de toiture. C'est pourquoi le 31 octobre de l'année civile durant laquelle l'évaluation a été réalisée a été proposé comme date limite pour l'achèvement des travaux.
Niveau jaune — Risque modéré	Réévaluation annuelle requise.
Niveau vert — Risque faible	Réévaluation trisannuelle.

Deux facteurs clés pour déterminer le niveau de risque étaient les modifications des panneaux en RAAC réalisées sur le terrain et les infiltrations d'eau.

La première étape de la détermination du niveau de risque consistait à étudier soigneusement les modifications réalisées sur le terrain pour permettre la pénétration de conduits ou des panneaux coupés sur le terrain et soutenus par des panneaux adjacents. L'espacement des armatures longitudinales des panneaux de marque Siporex pouvait varier de 51 à 76 mm (2 à 3 po). À titre d'exemple, une ouverture de 152 mm (6 po) de diamètre, réalisée sur le terrain par carottage d'un panneau dont les armatures sont espacées de 76 mm (3 po) entraînera le sciage d'au moins une armature, et par conséquent, une perte de la résistance en flexion d'environ 20 %. Un tel scénario est en fait optimiste, car il est possible que deux armatures soient coupées sur place, de manière à entraîner une diminution supplémentaire de la résistance en flexion. Cela pourrait ne pas être trop préoccupant si le carottage n'est pas réalisé à la mi-portée du panneau. Cependant, un risque existe également si le carottage est réalisé à proximité du support, car la résistance au cisaillement transversal devient critique à cet endroit. Ces pénétrations des panneaux réalisées sur le terrain ont été évaluées en fonction de chaque situation, car les dimensions de l'ouverture réalisée par carottage et son emplacement dans la portée étaient des facteurs clés pour l'évaluation du niveau de risque.

La deuxième étape consistait à réaliser des observations visuelles des signes d'infiltration d'eau et à les documenter. Si aucune infiltration d'eau ou tache d'humidité n'était décelée, le **Tableau 2** a servi de guide. Si des taches d'humidité étaient évidentes, le **Tableau 3** a servi de guide de référence. Ces lignes directrices pour l'évaluation des risques observent une forme légèrement modifiée des recommandations contenues dans les lignes directrices d'évaluation des structures en RAAC émises par l'Institute of Structural Engineers :

Tableau 2 — Aucune infiltration d'eau observée

Flèche Δ_y à la mi-portée du panneau	***Fissuration/ écaillage majeurs décelés***	***Fissuration/ écaillage mineurs décelés à 500 mm ou moins du support***	***Fissuration/ écaillage mineurs décelés à plus de 500* mm du support**	***Aucune anomalie décelée***
Δ_y > portée/100	Bleu	Bleu	Bleu	Orange

portée/100 < Δy < portée/200	Bleu	Orange	Jaune	Jaune
Δ_y > portée/200	Orange	Jaune	Vert	Vert

Tableau 3 — Infiltration d'eau décelée

Flèche Δ_y à la mi-portée du panneau	***Fissuration/ écaillage majeurs décelés***	***Fissuration/ écaillage mineurs décelés à 500 mm ou moins du support***	***Fissuration/ écaillage mineurs décelés à plus de 500 mm du support***	***Aucune anomalie décelée***
Δ_y > portée/100	Bleu	Bleu	Bleu	Bleu
portée/100 < Δ_y < portée/200	Bleu	Orange	Orange	Orange
Δ_y > portée/200	Bleu	Orange	Jaune	Jaune

Les lignes directrices présentées dans les tableaux précédents sont uniquement fondées sur l'état du panneau, les signes d'infiltration d'eau et les flèches à mi-portée; elles ne tiennent pas compte les modifications réalisées sur le terrain, le cas échéant. Lorsqu'il a été constaté que des panneaux étaient en mauvais état et qu'ils avaient été modifiés sur le terrain pour les équipements de la toiture, tous les facteurs ont été considérés avec soin par l'ingénieur responsable de l'examen sur les lieux pour établir le niveau de risque applicable.

1.4 Estimés budgétaires

Sur la base des informations recueillies lors de la visite des lieux, le remplacement des panneaux RAAC sélectionnés dans l'assemblage de la toiture ou le renforcement des panneaux RAAC est recommandé et requis. À des fins de planification budgétaire, il faut prévoir un écart de ± 25 % par rapport aux coûts estimatifs indiqués à la section 4. Veuillez noter que lors de la préparation des budgets pour les différents éléments, il a été supposé que tous les travaux de restauration des panneaux RAAC recommandés pour 2024 seraient réalisés dans le cadre d'un seul et même projet.

Le coût des réparations est basé sur l'état de détérioration au moment de l'étude et les prix unitaires moyens actuels provenant de notre expérience que nous avons acquise lors de projets similaires. Il est important de comprendre que les prix sont exprimés en dollars courants et qu'ils ne sont pas basés sur des appels d'offres, mais plutôt sur des approches générales et des quantités estimées. Les coûts de réparation réels dépendront des prix reçus au moment de l'appel d'offres et/ou des quantités réelles établies au cours du contrat de réparations.

Les coûts fournis ne concernent que la construction, y compris les matériaux et la main-d'œuvre. Veuillez noter qu'ils ne comprennent ni les taxes applicables ni les honoraires d'ingénierie liés à la préparation des spécifications techniques et à la vérification de la conformité de celles-ci. Les coûts indiqués excluent également les honoraires des consultants engagés pour assurer la gestion des processus d'appel d'offres et de construction.

2. EXAMEN DE LA DOCUMENTATION ET DES PLANS

Pour aider Rimkus à mieux comprendre le type de construction du platelage de toit et des panneaux de toiture, ainsi que l'état et l'historique de la toiture dans diverses zones du toit, IO a fourni la documentation suivante à titre de référence et à des fins d'examen :

1. Les plans originaux de la charpente de toit S13, S14, S15 et S19, préparés par *l'Architecte de projet Raymond Moriyama* et datés de novembre 1967.

2. Le plan de toiture A201 préparé par *Halcrow Yolles*; ce dessin a été émis dans le cadre d'un ensemble de « dessins de l'ouvrage fini », daté du 11 juin 2008.

3. Un rapport d'évaluation du bâtiment de base (« BBAR »), daté du 23 novembre 2020.

Les plans originaux de l'Architecte de projet Raymond Moriyama indique que l'édifice B comprend deux systèmes structuraux. Le premier est un système conventionnel de dalles, de poutres et de solives en béton coulé en place. Le second type de structure de toit est un système de panneaux en RAAC soutenus par des poutres ou des solives en acier.

Les dessins de *Halcrow Yolles* datant de 2008 indiquent les types de platelages de toit ou de panneaux de toiture existants dans la majorité des zones du toit, mais pas dans toutes. Ces dessins indiquent également qu'il existe deux types de construction du platelage de toit, y compris des panneaux en RAAC et des platelages conventionnels en béton. Les emplacements des panneaux en RAAC et des dalles en béton coulé indiqués sur les dessins de *Halcrow Yolles* et les plans originaux des structures sont cohérents.

Le rapport d'évaluation du bâtiment de base (BBAR) de 2020 indique que la toiture a été remplacée pour la dernière fois en 2005 et que sa durée de vie utile a diminué de 25 à 20 ans compte tenu de son état observé. Par conséquent, le rapport d'évaluation du bâtiment de base (BBAR) recommande le remplacement complet de la toiture d'ici 2025.

3. OBSERVATIONS

3.1 Observations générales

L'édifice B a une empreinte totale d'environ 45.000 pi² qui s'évase à partir du basilaire. L'installation comprend trois tours rondes. Deux des tours (ouest et sud) ont quatre étages; elles sont utilisées à des fins administratives et pour les programmes du Centre des sciences de l'Ontario (CSO). La troisième tour (nord) contient un auditorium. Des espaces mécaniques sont situés vers l'intérieur des toitures circulaires au dernier étage de chaque tour. La portion centrale de l'édifice entouré des trois tours sert principalement de zone de présentation au public; elle porte le nom de Grand Hall. Le Grand Hall comprend un plafond incurvé d'une hauteur d'environ 30 pi. L'édifice B a été construit le long d'un ravin avec des différences d'élévation par rapport aux forêts. Cet édifice est dépourvu d'une route de service ou de toute autre voie d'accès externe. L'accès à l'édifice est assuré par a) la passerelle piétonne reliant les édifices A et B, laquelle est actuellement fermée; et b) une série d'ascenseurs et d'escaliers mécaniques reliant les édifices B et C. Cette conception unique en son genre influe sur les stratégies de réparation et de renforcement envisageables; elle rend également extrêmement difficile la détermination des coûts budgétaires.

Figure 1 — Vue aérienne de l'édifice B (image extraite de Google Earth)

L'édifice original a été construit vers 1968. La superstructure comprenait un système conventionnel de poutres en treillis en acier soutenant des panneaux en RAAC. Il a été établi que les panneaux de toiture en RAAC avaient une portée longitudinale de 10 pi. Dans d'autres zones de la toiture, il a été observé que des dalles nervurées ou dalles en béton avaient été coulées sur place et qu'elles étaient soutenues par des poutres en béton.

Dans l'ensemble, les types de construction du platelage de toit observés sur les lieux semblaient se conformer de manière générale avec les renseignements contenus dans les dessins originaux des structures datant de 1967 et les dessins de *Yolles Partnership Inc.* datant de 2008. Les types de construction du platelage observés sur les lieux sont présentés à la section 3.2 pour chaque zone de la toiture.

3.2 Détermination du type de platelage de toit

Les diverses zones de la toiture ont été examinées par le dessous afin d'établir et de confirmer les matériaux de construction des platelages de toit ou des panneaux de toiture; les résultats des visites sur les lieux sont résumés ci-dessous au **Tableau 4**. Les diverses zones de la toiture sont indiquées sur le dessin de la toiture de Rimkus ci-joint à **l'Annexe B.**

Tableau 4 — Types de platelage de toit

Zone de toit	***Type de platelage de toit confirmé***
B1	Panneaux en RAAC
B1b	Panneaux en RAAC
B2	Dalle de béton
B2b	Panneaux en RAAC
B2c	Dalle de béton
B2d	Panneaux en RAAC
B2f	Dalle de béton (uniquement d'après l'examen du dessin de Yolles de 2008)
B3	Dalle de béton
B3b	Panneaux en RAAC
B3c	Panneaux en RAAC
B4	Panneaux en RAAC
B4b	Panneaux en RAAC
B4c	Dalle de béton

Les panneaux de toiture en RAAC ont une aire combinée totale d'environ 29 000 pi², ce qui représente environ 65 % de l'aire totale du toit.

3.3 Observations relatives aux panneaux en RAAC

Étant donné que la portée de la présente évaluation est limitée à l'évaluation de l'état des panneaux en RAAC, les autres types de platelages ne seront pas abordés dans le présent rapport.

La majorité des anomalies affectant les panneaux étaient dues à l'infiltration d'eau à travers la toiture ou aux équipements dans celle-ci. Les infiltrations d'eau peuvent compromettre la résistance des matériaux et accroître la probabilité de corrosion des armatures en acier. Aux endroits où les problèmes d'infiltration d'eau ont été réglés, les panneaux en RAAC demeurent compromis de façon permanente, car leur capacité portante a été réduite, de sorte que les panneaux posent un risque plus élevé de défaillance.

Des modifications des panneaux en RAAC réalisées sur le terrain pour tenir compte des équipements sur la toiture. Étant donné que les panneaux ont une largeur de 18 po et que l'espacement des barres d'armatures à certains endroits du panneau était visible et observé comme étant de l'ordre de 3 à 4 pouces, toute ouverture de 2 pouces ou plus de diamètre a probablement entraîné la rupture d'au moins une barre d'armature, réduisant ainsi sa capacité portante. Dans la majorité des zones de la toiture, aucun support intermédiaire n'a été installé aux endroits modifiés sur le terrain pour transférer la charge vers les poutres en béton supportant les panneaux RAAC.

Les infiltrations d'eau et les modifications sur le terrain sans renforcement ont réduit de façon permanente la capacité portante des panneaux en RAAC. Par conséquent, les panneaux altérés fonctionnent avec un coefficient de sécurité réduit comparativement à celui prévu lors de la conception initiale des structures. Le coefficient de sécurité est défini comme le rapport entre la charge appliquée et la capacité portante. Si la charge appliquée excède la capacité, le coefficient de sécurité est inférieur à un et cela entraîne une défaillance théorique du panneau en RAAC. Dans le cas des panneaux compromis, une surcharge importante de la toiture peut entraîner un coefficient de sécurité inférieure à un et donc la défaillance des panneaux concernés. La capacité portante des panneaux en RAAC est directement liée aux anomalies observées et à la catégorie de risque établie. Les panneaux posant un risque critique ou élevé ont subi la perte de capacité portante la plus importante et sont exposés à un risque accru d'effondrement soudain.

Les observations relatives aux panneaux en RAAC sont résumées au **Tableau 5**. Toutes les photographies mentionnées dans les remarques relatives aux observations sont jointes aux présentes à l'**Annexe A**. Les emplacements des réparations dans chaque zone de la toiture sont indiqués sur les plans de la toiture préparé par Rimkus et joint aux présentes à l'**Annexe B**.

Tableau 5 — Observations relatives aux panneaux en RAAC

Zone de toit	***Observations***
B1	**Généralités** - La surface inférieure de la structure du toit n'est pas accessible pour réaliser une évaluation visuelle. - L'utilisation de panneaux en RAAC dans la construction a été confirmée au moyen d'une caméra fixée sur une perche télescopique et insérée dans un point d'accès horizontal unique.

Zone de toit	*Observations*
	- Des infiltrations d'eau uniformes ont été observées le long des joints des panneaux (**Photographie 1**). - Les photographies prises à un emplacement ne suffisent pas pour formuler des commentaires sur l'état général des panneaux en RAAC dans une zone donnée du toit.
B1b	**Généralités** - L'état général des panneaux en RAAC varie de bon à satisfaisant. - Certains panneaux entrent dans les catégories de risque jaune et orange. - Les anomalies relevées comprennent la présence de taches d'humidité excessives et des modifications sur le terrain sans renforcement.
B1b	**Emplacement de travaux de réparation B1b.1** - Taches d'humidité excessives (**Photographie 2**).
B1b	**Emplacement de travaux de réparation B1b.2** - Taches d'humidité excessives et pénétration du toit sans renforcement (**Photographie 3**).
B2b	**Généralités** - Les panneaux en RAAC sont en bon état général. - Tous les panneaux sont classés dans la catégorie de risque faible.
B2d	**Généralités** - L'état général des panneaux en RAAC varie de satisfaisant à mauvais. - Certains panneaux entrent dans les catégories de risque jaune et orange. - Les anomalies relevées comprennent la présence de taches d'humidité excessives et des modifications sur le terrain sans renforcement. - Des taches d'humidité uniformes ont été observées à proximité du puits de lumière.
B2d	**Emplacement de travaux de réparation B2d.1** - Percements du toit sans renforcement à proximité d'un support (**Photographie 4**).
B2d	**Emplacement de travaux de réparation B2d.2** - Déplacement vertical important relativement aux panneaux adjacents.
B2d	**Emplacement de travaux de réparation B2d.3** - Taches d'humidité excessives à proximité du puits de lumière (**Photographie 5**).
B2d	**Emplacements de travaux de réparation B2d.4 et B2d.5** - Taches d'humidité excessives.

Zone de toit	*Observations*
B3b	**Généralités** - Les panneaux en RAAC sont en bon état général. - Un panneau a été classé dans la catégorie de risque bleue et un panneau dans la catégorie de risque jaune. - Les anomalies observées comprennent de l'effritement et des taches modérées d'humidité.
B3b	**Emplacement de travaux de réparation B3b.1** - Effritement à l'emplacement du support (**Photographie 6**).
B3C	**Généralités** - L'état général des panneaux en RAAC varie de satisfaisant à mauvais. - Certains panneaux entrent dans les catégories de risque jaune et orange. - Les anomalies relevées comprennent la présence de taches d'humidité excessives et des modifications sur le terrain sans renforcement. - Des taches d'humidité uniformes ont été observées à proximité du puits de lumière.
B3C	**Emplacement de travaux de réparation B3c.1** - Des taches d'humidité ont été observées à l'emplacement de toutes les percements dans le toit sans renforcement.
B3c	**Emplacement de travaux de réparation B3c.2** - Percement du toit sans renforcement et taches d'humidité (**Photographie 7**).
B3c	**Emplacement de travaux de réparation B3c.3** - Taches d'humidité excessives (**Photographies 8 et 9**).
B4	**Généralités** - Les panneaux en RAAC sont en mauvais état général. - Certains panneaux entrent dans les catégories de risque jaune et orange. - Des taches d'humidité excessives ont été observées à de nombreux endroits (**Photographies 10 et 11**). - Un effritement systémique a été observé le long des joints des panneaux en RAAC (**Photographies 12 à 15**). - Des percements de toit sans renforcement ont été observées à de nombreux endroits (**Photographie 16**).
B4b	**Généralités** - Les panneaux en RAAC sont en bon état général. - Deux panneaux sont classés dans la catégorie de risque orange. - Les anomalies observées comprennent des taches d'humidité excessives.
B4b	**Emplacement de travaux de réparation B4b.1** - Taches d'humidité excessives (**Photographie 17**).

3.4 Observations relatives à la toiture

La portée des travaux compris dans la présente évaluation comprend l'examen visuel de la toiture dans toutes les zones de l'édifice B. Le Tableau 6 résume l'état actuel de la toiture et les déficiences notées. Toutes les photographies mentionnées dans les remarques relatives aux observations sont jointes à l'Annexe A.

Tableau 6 — Observations relatives à la toiture

Zone de toit	***Observations***
B1	**Généralités** - L'état du système de toiture est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 2 à 5 ans. - La toiture inversée existante se compose d'un revêtement d'étanchéité élastomère, d'une membrane de protection en polyester, de polystyrène extrudé de 76,2 mm et de polystyrène de 63,5 mm recouvert d'une chape de béton - Les anomalies observées comprennent la croissance de végétation dans l'ensemble de la toiture. **(Photographie 18)**
B1	**Emplacement de travaux de réparation B1** - Éliminer la végétation de la zone de toit. **(Photographie 19)**
B1b	**Généralités** - L'état du système de toiture est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 2 à 5 ans. - La toiture inversée existante se compose d'un revêtement d'étanchéité élastomère, d'une membrane de protection en polyester, de polystyrène extrudé de 76,2 mm et de polystyrène de 63,5 mm recouvert d'une chape de béton - Les anomalies observées comprennent la croissance de végétation dans l'ensemble de la toiture. **(Photographie 20)**
B1b	**Emplacement de travaux de réparation B1b** - Éliminer la végétation de la zone de toit. **(Photographie 21)**
B2	**Généralités** - L'état du système de toiture est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 2 à 5 ans. - La toiture inversée existante se compose d'un revêtement d'étanchéité élastomère, d'une membrane de protection en polyester, de polystyrène extrudé de 76,2 mm et de polystyrène de 63,5 mm recouvert d'une chape de béton - Les anomalies observées comprennent la croissance de végétation dans l'ensemble de la toiture **(Photographie 22)**

Zone de toit	*Observations*
B2	**Emplacement de travaux de réparation B2** - Éliminer la végétation de la zone de toit. **(Photographie 23)**
B2b	**Généralités** - L'état du système de toiture est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 2 à 5 ans. - La toiture inversée existante se compose d'un revêtement d'étanchéité élastomère, d'une membrane de protection en polyester, de polystyrène extrudé de 76,2 mm et de polystyrène de 63,5 mm recouvert d'une chape de béton - Les anomalies observées comprennent la croissance de végétation dans l'ensemble de la toiture. **(Photographie 24)**
B2b	**Emplacement de travaux de réparation B2B** - Éliminer la végétation de la zone de toit. **(Photographie 25)**
B2c	**Généralités** - L'état du système de toiture est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 2 à 5 ans. - La toiture inversée existante se compose d'un revêtement d'étanchéité élastomère, d'une membrane de protection en polyester, de polystyrène extrudé de 76,2 mm et de polystyrène de 63,5 mm recouvert d'une chape de béton - Les anomalies observées comprennent la croissance de végétation dans l'ensemble de la toiture. **(Photographie 26)**
B2c	**Emplacement de travaux de réparation B2c** - Éliminer la végétation de la zone de toit **(Photographie 27)**
B2d	**Généralités** - L'état du système de toiture est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 2 à 5 ans. - La toiture inversée existante se compose d'un revêtement d'étanchéité élastomère, d'une membrane de protection en polyester, de polystyrène extrudé de 76,2 mm et de polystyrène de 63,5 mm recouvert d'une chape de béton - Les anomalies observées comprennent la croissance de végétation dans l'ensemble de la toiture et le déplacement de plusieurs pavés de béton **(Photographie 28)**
B2d	**Emplacement de travaux de réparation B2d** - Éliminer la végétation de la zone de toit - Replacer les pavés de béton déplacés **(Photographie 29)**
B2e	**Généralités**

Zone de toit	*Observations*
	- Compte tenu de l'âge approximatif du système de toiture, son état actuel est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 2 à 5 ans. - La zone de toit B2e n'était pas accessible au moment de l'examen de la toiture; la toiture semble se composer d'un revêtement monocouche blanc - Les anomalies observées comprennent la présence de débris organiques importants dans l'ensemble de la zone de toit **(Photographie 30)**
B2e	**Emplacement de travaux de réparation B2e** - Éliminer les débris organiques de la zone de toit **(Photographie 31)**
B2f	**Généralités** - Compte tenu de l'âge approximatif du système de toiture, son état actuel est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 2 à 5 ans - La zone de toit B2f n'était pas accessible au moment de l'examen de la toiture. Étant donné son apparence visuelle, le toit actuel est une toiture inversée qui semble avoir été installée en même temps que les autres toitures inversées de l'installation. - Les anomalies observées comprennent la croissance de végétation dans l'ensemble de la toiture **(Photographie 32)**
B2f	**Emplacement de travaux de réparation B2f** - Éliminer la végétation de la zone de toit **(Photographie 33)**
B2g	**Généralités** - Compte tenu de l'âge approximatif de la toiture, son état actuel est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 5 à 10 ans - La zone de toit B2g n'était pas accessible au moyen de l'examen de la toiture; la toiture semble se composer d'un revêtement monocouche blanc **(Photographie 34)**
B3	**Généralités** - L'état du système de toiture est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 5 à 10 ans. - La toiture inversée existante se compose d'un revêtement d'étanchéité élastomère, d'une membrane de protection en polyester, de polystyrène extrudé de 76,2 mm et de polystyrène de 63,5 mm recouvert d'une chape de béton **(Photographie 35)**
B3b	**Généralités** - L'état du système de toiture est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 2 à 5 ans - La toiture inversée existante se compose d'un revêtement d'étanchéité élastomère, d'une membrane de protection en polyester, de polystyrène

Zone de toit	*Observations*
	extrudé de 76,2 mm et de polystyrène de 63,5 mm recouvert d'une chape de béton - Les anomalies observées comprennent la croissance de végétation dans l'ensemble de la toiture **(Photographie 36)**
B3b	**Emplacement de travaux de réparation B3b** - Éliminer la végétation de la zone de toit **(Photographie 37)**
B3c	**Généralités** - L'état du système de toiture est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 2 à 5 ans - La toiture inversée existante se compose d'un revêtement d'étanchéité élastomère, d'une membrane de protection en polyester, de polystyrène extrudé de 76,2 mm et de polystyrène de 63,5 mm recouvert d'une chape de béton - Les anomalies observées comprennent la croissance de végétation dans l'ensemble de la toiture (**Photographie 38**)
B3c	**Emplacement de travaux de réparation B3c** - Éliminer la végétation de la zone de toit. (**Photographie 39**)
B4	**Généralités** - L'état du système de toiture est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 2 à 5 ans - La toiture inversée existante se compose d'un revêtement d'étanchéité élastomère, d'une membrane de protection en polyester, de polystyrène extrudé de 76,2 mm et de polystyrène de 63,5 mm recouvert d'une chape de béton - Les anomalies observées comprennent la croissance de végétation dans l'ensemble de la zone de toit **(Photographie 40)**
B4	**Emplacement de travaux de réparation B4** - Éliminer la végétation de la zone de toit. **(Photographie 41)**
B4b	**Généralités** - L'état du système de toiture est jugé satisfaisant/mauvais, avec une durée de vie utile restante approximative de 2 à 5 ans - La toiture inversée existante se compose d'un revêtement d'étanchéité élastomère, d'une membrane de protection en polyester, de polystyrène extrudé de 76,2 mm et de polystyrène de 63,5 mm recouvert d'une chape de béton - Les anomalies observées comprennent la croissance de végétation dans l'ensemble de la toiture. Il manque environ 20 pi de solin métallique au niveau du parapet **(Photographie 42)**.

Zone de toit	*Observations*
B4b	**Emplacement de travaux de réparation B4b** - Éliminer la végétation de la zone de toit. - Remplacer les solins en tôle manquants **(Photographies 43 et 44)**
B4c	- La zone de toit B4c n'était pas accessible au moment de l'examen de la toiture.

4. RECOMMANDATIONS

4.1 Stratégies de réhabilitation des panneaux en RAAC et de la toiture

Pour pallier entièrement tous les risques liés au RAAC, il est recommandé de remplacer tous les panneaux de toiture en RAAC par de nouveaux platelages d'acier, en même temps que la prochaine réfection de la toiture.

Plus précisément, et tel que décrit dans le **Tableau 1**, les panneaux en RAAC classés dans la catégorie de risque critique (niveau bleu) requièrent une action immédiate, tandis que les panneaux classés dans la catégorie de risque élevé (niveau orange) requièrent des travaux de réhabilitation avant la prochaine saison hivernale.

Le **Tableau 7** résume la procédure de réhabilitation recommandée pour les emplacements de travaux de réparation de panneaux en RAAC localisés, qui sont discutés dans le **Tableau 5** et illustrés sur le plan de la toiture de Rimkus joint à l'**Annexe B**. L'emplacement de travaux de réparation B3b.1 entre dans la catégorie de risque critique (niveau bleu) et exige des travaux de réhabilitation immédiats. Des étaiements temporaires ont été installés immédiatement pour soutenir le panneau endommagé. Tous les autres emplacements de travaux de réparation présentés au **Tableau 7** entrent dans la catégorie de risque élevé (niveau orange) et requièrent des mesures de réhabilitation d'ici le 31 octobre 2024.

Deux stratégies de réparation ont été envisagées pour la réhabilitation des panneaux en RAAC classés dans les catégories de risque bleu ou orange. La première stratégie consiste à enlever localement l'ensemble de la toiture existante et les panneaux RAAC, puis à les remplacer par un nouvel assemblage de toiture et un platelage d'acier. La seconde stratégie consiste à conserver la toiture et les panneaux en RAAC en mauvais état existants, tout en les renforçant par le bas au moyen d'une nouvelle structure en acier ou en bois d'ingénierie. La nouvelle charpente de soutien serait adaptée à la charpente de support en acier existante de façon à réduire considérablement les efforts en flexion et en cisaillement dans les panneaux. La stratégie de renforcement devrait être possible dans toutes les zones localisées contenant des panneaux classés au niveau orange. L'accessibilité de la partie supérieure de la toiture ou de la partie inférieure des panneaux en RAAC et les coûts ont été considérés pour formuler les recommandations en matière de stratégie de réhabilitation présentées aux **Tableaux 7 et 8**. Rimkus recommande la prise en charge de toutes les réparations localisées de panneaux en RAAC prévues pour 2024 (niveau de risque orange) dans le cadre d'un seul projet. Nous sommes d'avis que la stratégie la plus économique consisterait à adopter une démarche de réparation cohérente. Le renforcement des panneaux est considéré comme la stratégie la plus économique compte tenu de la composition de la toiture et des efforts considérables requis pour transporter les matériaux requis jusqu'aux diverses zones de toit. Les coûts de renforcement localisé des panneaux en RAAC sont donc présentés au **Tableau 7**. Les coûts budgétaires liés aux travaux localisés d'entretien et de réparation recommandés pour l'ensemble de la toiture sont également présentés au **Tableau 7**.

Dans les zones de la toiture comprenant des concentrations plus élevées de panneaux à risque modéré ou élevé, le remplacement complet des panneaux en RAAC et de la toiture est recommandé dans toute la zone en question. Par conséquent, il est recommandé de remplacer

entièrement les panneaux en RAAC et la toiture dans les zones B3C et B4 (surplombant l'auditorium) en 2024. Tel qu'observé dans le **Tableau 5**, la zone de toit B1 (surplombant le Grand Hall) n'était pas accessible. Sur la base des quelques images photographiques prises à cet endroit, des infiltrations d'humidité ont été observées le long des joints des panneaux. De surcroît, selon les observations faites dans les zones de toit adjacentes, des infiltrations d'eau relativement uniformes ont été notées à proximité du puits de lumière. Ces puits de lumière forment également une bordure autour du périmètre de la zone de toit B1. Il est donc estimé qu'environ 25 % des panneaux dans la zone B1 entrent dans la catégorie de risque élevé. Par conséquent, le remplacement complet des panneaux en RAAC et de la toiture est également recommandé dans la zone B1. Les coûts afférents au remplacement des panneaux en RAAC et de la toiture dans les zones B3C, B1 et B4 sont présentés au **Tableau 8**.

En règle générale, Rimkus recommande que les panneaux en RAAC soient toujours remplacés au moment de la prochaine réfection prévue de la toiture afin d'éliminer complètement les risques liés aux panneaux en RAAC. Les échéanciers et les coûts budgétaires recommandés pour le remplacement complet de la toiture et des panneaux en RAAC (le cas échéant) dans les zones de toit qui n'ont pas encore été mentionnées au paragraphe précédent sont également présentés au **Tableau 8**. Le calcul des coûts est basé sur la détérioration des systèmes de toiture observée au moment de la visite du site et sur les prix unitaires moyens obtenus à partir de notre expérience sur des projets pour des travaux de réhabilitation similaires. Pour une estimation budgétaire globale, un écart de +/- 25 % doit être attribué aux coûts indiqués dans le tableau récapitulatif des réparations de toiture recommandées. La durée de vie restante et les performances des toitures existantes seront réduites si les réparations recommandées et l'entretien régulier des toitures ne sont pas effectués.

Les travaux de remplacement de la toiture et des panneaux en RAAC ou de renforcement des panneaux en RAAC auraient un impact considérable sur les activités susceptibles d'avoir lieu dans les zones des travaux ou à proximité de celles-ci.

Tableau 7 — Recommandations en matière de réhabilitation localisée de panneaux en RAAC et de la toiture

Zone de toit	*Emplacement des travaux de réparation de panneaux en RAAC*	*Panneau en RAAC Stratégie de réhabilitation recommandée*	*Aire approximative (pi²)*	*Budget pour le renforcement de panneaux en RAAC*	*Recommandations en matière de réhabilitation de la toiture*	*Budget pour la réparation de la toiture*	*Année recommandée*
B1			Élément		Éliminer la végétation de la zone de toit.	2 500 $	2024
B1b	B1b.1	Renforcement de panneau	30	15 000 $			2024
B1b	B1b.2	Renforcement de panneau	15	7 500 $			2024
B1b			Élément		Éliminer la végétation de la zone de toit.	1 500 $	2024
B2			Élément		Éliminer la végétation de la zone de toit.	1 000 $	2024
B2b			Élément		Éliminer la végétation de la zone de toit.	1 500 $	2024
B2c			Élément		Éliminer la végétation de la zone de toit.	1 000 $	2024
B2d	B2d.1	Renforcement de panneau	15	7 500 $			2024
B2d	B2d.2	Renforcement de panneau	15	7 500 $			2024
B2d	B2d.3	Renforcement de panneau	60	30 000 $			2024
B2d	B2d.4	Renforcement de panneau	30	15 000 $			2024
B2d	B2d.5	Renforcement de panneau	15	7 500 $			2024
B2d			Élément		Éliminer la végétation de la zone de toit.	2 000 $	2024
B2d			Élément		Replacer les pavés de béton déplacés	2 500 $	2024
B2e			Élément		Éliminer les débris organiques de la zone de toit	2 000 $	2024
B2f			Élément		Éliminer la végétation de la zone de toit.	1 000 $	2024
B3b			Élément		Éliminer la végétation de la zone de toit	1 000 $	2024

Zone de toit	*Emplacement des travaux de réparation de panneaux en RAAC*	*Panneau en RAAC Stratégie de réhabilitation recommandée*	*Aire approximative (pi²)*	*Budget pour le renforcement de panneaux en RAAC*	*Recommandations en matière de réhabilitation de la toiture*	*Budget pour la réparation de la toiture*	*Année recommandée*
B3b	B3b.1	Renforcement de panneau	15	7 500 $			2024
B3c			Élément		Éliminer la végétation de la zone de toit	1 500 $	2024
B4			Élément		Éliminer la végétation de la zone de toit	2 000 $	2024
B4b	B4b.1	Renforcement de panneau	30	15 000 $			2024
B4b			Élément		Éliminer la végétation de la zone de toit	1 500 $	2024

Tableau 8 — Remplacement complet de la toiture et des panneaux en RAAC dans une zone donnée

Zone de toit	*Aire approximative (pi²)*	*Recommandation*	*Budget pour le remplacement de la toiture et des panneaux en RAAC*	*Ingénierie 15 %*	*Provision 20 %*	*Budget TOTAL pour le remplacement*	*Année recommandée*
B1	7 926	Remplacement complet de la toiture et des panneaux en RAAC	1 426 680 $	214 002 $	285 336 $	1 926 018 $	2024
B3c	3 260	Remplacement complet de la toiture et des panneaux en RAAC	586 800 $	88 020 $	117 360 $	792 180 $	2024
B4	5 400	Remplacement complet de la toiture et des panneaux en RAAC	972 000 $	145 800 $	194 400 $	1 312 200 $	2024
B1b	3 211	Remplacement complet de la toiture et des panneaux en RAAC	577 980 $	86 697 $	115 596 $	780 273 $	2026 à 2029
B2	5 400	Remplacement complet de la toiture	432 000 $	64 800 $	86 400 $	583 200 $	2026 à 2029
B2b	1 989	Remplacement complet de la toiture et des panneaux en RAAC	358 020 $	53 703 $	71 604 $	483 327 $	2026 à 2029
B2c	750	Remplacement complet de la toiture	60 000 $	9 000 $	12 000 $	81 000 $	2026 à 2029
B2d	3 021	Remplacement complet de la toiture et des panneaux en RAAC	543 780 $	81 567 $	108 756 $	734 103 $	2026 à 2029
B2e	2 361	Remplacement complet de la toiture	188 880 $	28 332 $	37 776 $	254 988 $	2026 à 2029
B2f	216	Remplacement complet de la toiture	17 280 $	2 592	3 456 $	23 328 $	2026 à 2029
B3b	1 945	Remplacement complet de la toiture et des panneaux en RAAC	350 100 $	52 515 $	70 020 $	472 635 $	2026 à 2029
B4b	1 989	Remplacement complet de la toiture	159 120 $	23 868 $	31 824 $	214 812 $	2026 à 2029
B4c	357	Remplacement complet de la toiture	28 560 $	4 284 $	5 712 $	38 556 $	2026 à 2029
B2g	216	Remplacement complet de la toiture	17 280 $	2 592	3 456 $	23 328 $	2029 à 2034
B3	4 088	Remplacement complet de la toiture	327 040 $	49 056 $	65 408 $	441 504 $	2029 à 2034

Des recommandations sont formulées pour la date d'achèvement, les mesures de réhabilitation et les coûts budgétaires de construction seulement. Les coûts présentés aux **Tableaux 7 et 8** ne concernent que la construction, y compris les matériaux et la main-d'œuvre, et ne comprennent pas les taxes applicables, les frais de conseil, les imprévus liés à la construction, les études de substances désignées (DSS) et/ou les conditions inconnues du site. Les coûts sont résumés ci-dessous au **Tableau 9**.

Tableau 9 — Sommaire des recommandations en matière de réhabilitation de la toiture et des panneaux en RAAC

Année recommandée	***Stratégie de réhabilitation***	***Coût budgétaire***
2024	Renforcement localisé des panneaux en RAAC à des emplacements donnés	112 500 $
2024	Entretien de la toiture et remplacement de la toiture et des panneaux en RAAC	3 006 480 $
2026 à 2029	Remplacement de la toiture et des panneaux en RAAC	2 715 720 $
2029 à 2034	Remplacement de la toiture et des panneaux en RAAC	344 320 $

4.2 Recommandations en matière de surveillance et de réévaluation futures

Tel que décrit ci-dessus dans le **Tableau 1**, les panneaux en RAAC classés dans la catégorie de risque modéré (niveau jaune) requièrent une réévaluation annuelle, tandis que les panneaux classés dans la catégorie de risque faible (niveau vert) requièrent une réévaluation complète tous les trois ans. Au minimum, les réévaluations doivent suivre la procédure décrite à la **section 1.2**. Il incombe à l'ingénieur chargé de l'examen du site de déterminer si une procédure d'évaluation plus exhaustive doit être entreprise au moment de l'évaluation du site, sur la base des conditions observées.

Les lecteurs sont invités à consulter le plan de la toiture préparé par Rimkus, ci-joint à l'**Annexe B**, sur lequel les catégories de risque associées aux panneaux sont indiquées en jaune (risque modéré) ou en vert (risque faible). Les coûts budgétaires pour les réévaluations au cours des cinq prochaines années sont présentés au **Tableau 10**. Les coûts indiqués ne concernent que la construction, y compris les matériaux et la main-d'œuvre, et ne comprennent pas les taxes applicables, les frais de conseil, les imprévus liés à la construction, les études de substances désignées (DSS) et/ou les conditions inconnues du site.

Tableau 10 — Recommandations relatives à la réévaluation des panneaux en RAAC

Année	*Orientation pour l'évaluation*	*Coût budgétaire*
2025	Réévaluation partielle des panneaux en RAAC classés dans la catégorie de risque modéré (niveau jaune) seulement	10 000 $
2026	Réévaluation partielle des panneaux en RAAC classés dans la catégorie de risque modéré (niveau jaune) seulement	10 500 $
2027	Réévaluation complète de **tous les panneaux en RAAC** au sein de l'installation	45 000 $
2028	Réévaluation partielle des panneaux en RAAC classés dans la catégorie de risque modéré (niveau jaune) seulement	11 500 $
2029	Réévaluation partielle des panneaux en RAAC classés dans la catégorie de risque modéré (niveau jaune) seulement	12 000 $

4.3 Résumé des recommandations par catégorie de risque

Pour éliminer complètement tous les risques liés au RAAC, il est recommandé de remplacer entièrement tous les panneaux de toiture en RAAC par de nouveaux platelages d'acier, et ce, en même temps que la prochaine réfection de la toiture.

Étant donné que des travaux de réfection de la toiture ne sont pas requis de manière immédiate dans toutes les zones, nous résumons ci-dessous les recommandations intérimaires pour la prise en charge des panneaux en RAAC en mauvais état identifiés durant l'évaluation de l'état de la toiture (abordées de manière plus détaillée aux sections **4.1** et **4.2**). Les mesures d'atténuation des risques recommandées correspondent à la catégorie de risque attribuée à chaque panneau en RAAC ayant été évalué. Pour de plus amples détails, veuillez consulter la matrice de catégories de risque présentée au **Tableau 1**, ainsi que le plan S01 en annexe pour la catégorie de risque et l'emplacement des panneaux.

Panneaux posant un risque critique (niveau bleu)

- Installation immédiate d'étaiements (renforts) pour tous les panneaux posant un risque critique. Les emplacements de ces panneaux ont été communiqués immédiatement au client et les travaux en question ont été achevés avant la préparation du présent rapport.
- L'étaiement devra être maintenu jusqu'à l'achèvement des travaux de réhabilitation des panneaux.

Panneaux posant un risque élevé (niveau orange)

- Remplacement ou renforcement d'ici le 31 octobre 2024.
- Mise en œuvre d'un plan de surveillance des surcharges dues à la neige et à la pluie jusqu'à l'achèvement des travaux de réhabilitation; pour de plus amples détails, consulter le document de Rimkus intitulé « Snow Loading & Rainwater Management Plan » (Plan de gestion des eaux de pluie et des surcharges dues à la neige).
- S'il n'est pas possible d'achever les travaux de réhabilitation dans les délais recommandés, l'une des options suivantes d'atténuation supplémentaire des risques est recommandée et doit être mise en œuvre de concert avec le programme de surveillance des surcharges dues à la neige.

Option 1 : *Restriction ou interdiction d'accès afin d'empêcher toute circulation piétonne dans les zones où se trouvent des panneaux posant un risque élevé.*

Option 2 : *Installation d'étaiements (renforts) temporaires en dessous des panneaux en RAAC.*

Option 3 : *Si l'étaiement n'est pas possible, installation de panneaux de protection horizontaux près des surfaces inférieures des plafonds fixes ou d'autres éléments entravants (p. ex. canalisations principales d'extincteur ou tuyauteries industrielles).*

- Les trois options recommandées ci-dessus sont classées par ordre de préférence, l'option 1 consistant à éliminer le risque pour le public ou le personnel.

Panneaux posant un risque modéré (niveau jaune)

- Surveillance en permanence et réévaluation annuelle.

Panneaux posant un risque faible (niveau vert)

- Surveillance en permanence et réévaluation trisannuelle.

5. RÉFÉRENCES

A. The Institute of Structural Engineers. *« Reinforced Autoclaved Aerated Concrete (RAAC) Investigation and Assignment – Further Guidance. »*
RAAC Study Group, avril 2023.

B. Rimkus Consulting Group, « *Understanding the Historic Use of Reinforced Autoclaved Aerated Concrete (RAAC) in building construction in Ontario. »* 25 mars 2024.

ANNEXE A : PHOTOGRAPHIES

Photographie 1
Zone de toit B1 — Traces uniformes d'infiltration d'eau le long des joints de panneaux

Photographie 2
Emplacement de travaux de réparation B1b.1 — Infiltration d'eau excessive et panneaux en mauvais état.

Photographie 3
Emplacement de travaux de réparation B1b.2 — Infiltration d'eau excessive et percement sans renforcement.

Photographie 4
Emplacement de travaux de réparation B2d.1 — Percement du toit sans renforcement à proximité d'un support.

Photographie 5
Emplacement de travaux de réparation B2d.3 — Taches d'humidité excessives à proximité du puits de lumière.

Photographie 6
Emplacement de travaux de réparation B3b.1 — Effritement du béton au niveau du support

Photographie 7
Emplacement de travaux de réparation B3c.2 — Percement du toit sans renforcement et taches d'humidité.

Photographie 8
Zone de toit B3c.3 — Taches d'humidité excessives et modification sur le terrain.

Photographie 9
Emplacement de travaux de réparation B3c.3 — Taches d'humidité excessives à proximité du puits de lumière.

Photographie 10
Zone de toit B4 — Taches d'humidité excessives.

Photographie 11
Zone de toit B4 — Taches d'humidité au niveau du support du panneau en RAAC.

Photographie 12
Zone de toit B4 — Effritement systémique le long des joints des panneaux en RAAC.

Photographie 13
Zone de toit B4 — Effritement systémique le long des joints des panneaux en RAAC.

Photographie 14
Zone de toit B4 — Effritement systémique le long des joints des panneaux en RAAC.

Photographie 15
Zone de toit B4 — Effritement systémique le long des joints des panneaux en RAAC.

Photographie 16
Zone de toit B4 — Percement de toit sans renforcement typique.

Photographie 17
Emplacement de travaux de réparation B4b.1 — Taches d'humidité excessives.

Photographie 18
Zone de toit B1.

Photographie 19
Emplacement de travaux de réparation B1 — Éliminer la végétation de la zone de toit.

Photographie 20
Zone de toit B1b.

Photographie 21
Emplacement de travaux de réparation B1 — Éliminer la végétation de la zone de toit.

Photographie 22
Zone de toit B2.

Photographie 23
Emplacement de travaux de réparation B1 — Éliminer la végétation de la zone de toit.

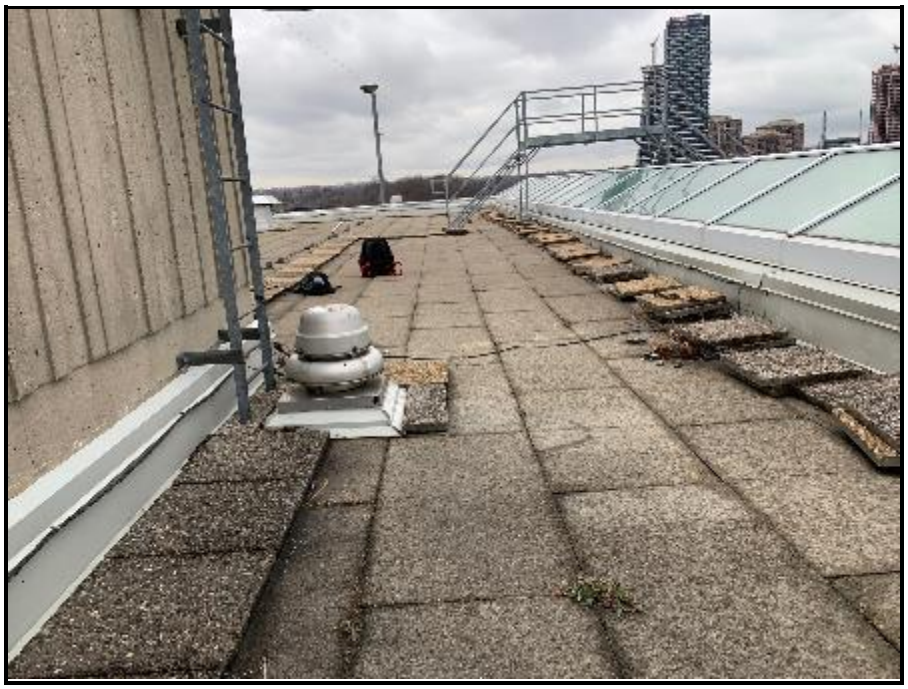
Photographie 24
Zone de toit B2b.

Photographie 25
Emplacement de travaux de réparation B2b — Éliminer la végétation de la zone de toit.

Photographie 26
Zone de toit B2c.

Photographie 27
Emplacement de travaux de réparation B2c — Éliminer la végétation de la zone de toit.

Photographie 28
Zone de toit B2d.



Photographie 29
Emplacement de travaux de réparation B2d — Replacer les pavés de béton déplacés.

Photographie 30
Zone de toit B2e.

Photographie 31
Zone de travaux de réparation B2e — Éliminer les débris organiques de la toiture.

Photographie 32
Zone de toit B2f.

Photographie 33
Zone de travaux de réparation B2f — Éliminer la végétation de la zone de toit.

Photographie 34
Zone de toit B2g.

Photographie 35
Zone de toit B3.

Photographie 36
Zone de toit B3b.

Photographie 37
Zone de travaux de réparation B3b — Éliminer la végétation de la zone de toit.

Photographie 38
Zone de toit B3c.

Photographie 39
Zone de travaux de réparation B3c — Éliminer la végétation de la zone de toit.

Photographie 40
Zone de toit B4.

Photographie 41
Zone de travaux de réparation B4 — Éliminer la végétation de la zone de toit.

Photographie 42
Zone de toit B4b.

Photographie 43
Zone de travaux de réparation B4b — Éliminer la végétation de la zone de toit.

Photographie 44
Zone de travaux de réparation B4b — Remplacer les solins métalliques manquants.

ANNEXE B : PLAN DE LA TOITURE