



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

# CanmetÉNERGIE

*Leadership en écoInnovation*

## Le guide de rénovation extérieure énergétique avec des éléments préfabriqués (REEEP)



Canada

« *CanmetÉNERGIE- Ottawa dirige le développement de solutions scientifiques et technologiques dans le domaine de l'énergie au profit de l'environnement et de l'économie des Canadiens. »*

## **Avis de non-responsabilité :**

Ni Ressources naturelles Canada ni aucun de ses employés ne donne de garantie expresse ou implicite, ni n'assume de responsabilité légale quant à l'exactitude, à l'exhaustivité ou à l'utilité de son contenu. La mention dans le rapport d'un produit, d'un processus, d'un service ou d'un organisme commercial particulier ne signifie pas nécessairement que Ressources naturelles Canada l'approuve, le recommande ou le favorise. Les points de vue et les opinions exprimés dans ce rapport ne reflètent pas nécessairement ceux de Ressources naturelles Canada.

Ce travail a été financé par Ressources naturelles Canada dans le cadre du Programme de recherche et de développement énergétiques et du Programme d'innovation énergétique.

Cat. M154-153/2023F-PDF

ISBN 978-0-660-48180-7

© Sa Majesté le Roi du Canada, représenté par le Ministre des Ressources naturelles, 2023



---

# REMERCIEMENTS

Le contenu technique de ce guide a été élaboré par Mark Carver et Christopher McLellan de Ressources naturelles Canada, CanmetÉNERGIE, Daniel Calero et Graham Finch, P.Eng de RDH, Jeff Armstrong de Cold Climate Building et Darcy Charlton de If Then Architecture.

Les auteurs souhaitent remercier tous ceux qui ont contribué et aidé à l'évaluation, à la révision et à l'élaboration de ce guide, notamment Brock Conley de CanmetÉNERGIE, Peter Amerongen de ReNù Engineering, Glenn Somerton, P.Eng et Vusal Ibrahimli, E.I.T. de Morrison Hershfield.

Ce travail a été financé par Ressources naturelles Canada dans le cadre du Programme de recherche et de développement énergétiques et du Programme d'innovation énergétique.

# TABLE DES MATIÈRES

Remerciements .....	2
<b>1. Aperçu .....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Qu'est-ce que ce guide et à qui s'adresse-t-il ? .....</b>	<b>8</b>
<b>1.2 Champ d'application .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Qu'est-ce que la REEEP ? .....</b>	<b>8</b>
<b>1.4 Les arguments en faveur de l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment des logements existants .....</b>	<b>9</b>
1.4.1 Réduction des émissions de gaz à effet de serre .....	9
1.4.2 Réduire les coûts énergétiques .....	10
1.4.3 Amélioration du confort, de la résilience et de la durabilité .....	12
<b>1.5 L'intérêt d'une approche préfabriquée pour les rénovations majeure .....</b>	<b>12</b>
<b>1.6 La nature du parc immobilier canadien .....</b>	<b>14</b>
<b>1.7 Une économie et un marché de la rénovation en plein essor .....</b>	<b>15</b>
<b>1.8 L'importance et le défi de la fermeture des bâtiments .....</b>	<b>15</b>
<b>1.9 Les co-bénéfices .....</b>	<b>16</b>
<b>2. La nature des rénovations majeure par panneaux dans un contexte canadien .....</b>	<b>17</b>
<b>2.1 L'expérience européenne des rétrofits industrialisés .....</b>	<b>17</b>
2.1.1 Approche technique Energiesprong .....	18
2.1.2 L'expérience d'Energiesprong à ce jour .....	18
<b>2.2 Le contexte canadien – Évolution ou révolution de la rénovation .....</b>	<b>18</b>
<b>2.3 Bien plus que des panneaux .....</b>	<b>19</b>
<b>2.4 L'équipe – rôles et responsabilités .....</b>	<b>19</b>
<b>2.5 Manufacturiers de panneaux versus, fabricants de panneaux et entrepreneurs .....</b>	<b>20</b>
<b>2.6 La valeur de la réalisation de projet intégrée .....</b>	<b>21</b>
2.6.1 Définition du projet .....	21
2.6.2 Exécution du projet .....	22
2.6.3 Risque lié à la performance énergétique .....	24
<b>3. Considérations techniques et pré-conception .....</b>	<b>25</b>
<b>3.1 Qu'est-ce qui fait un bon projet REEEP ? .....</b>	<b>25</b>
<b>3.2 Fixer des objectifs de performance .....</b>	<b>26</b>
<b>3.3 Disponibilité des plans de construction existants .....</b>	<b>27</b>
<b>3.4 Morphologie des bâtiments .....</b>	<b>27</b>
<b>3.5 Assemblages des enveloppes existantes .....</b>	<b>27</b>
<b>3.6 Accès au site et adéquation .....</b>	<b>28</b>

<b>3.7</b>	<b>Exigences en matière d'équipement</b> .....	<b>28</b>
<b>3.8</b>	<b>Considérations relatives au code du bâtiment</b> .....	<b>29</b>
	3.8.1 Codes de construction .....	29
	3.8.2 Construction combustible ou non combustible .....	30
	3.8.3 Permis de construire .....	34
<b>3.9</b>	<b>Considérations relatives à la conception des murs existants</b> .....	<b>34</b>
	3.9.1 Attachement structurel .....	35
	3.9.2 Assemblages sous le niveau du sol .....	37
	3.9.3 Assemblages de toits .....	37
	3.9.4 Isolation existante, étanchéité à l'air et contrôle de la vapeur d'eau .....	38
<b>3.10</b>	<b>Évaluation du bâtiment avant la conception des panneaux</b> .....	<b>39</b>
	3.10.1 Évaluation structurelle .....	39
	3.10.2 Évaluation énergétique .....	39
	3.10.3 Évaluation de l'état des bâtiments et des installations et plans de rénovation .....	39
<b>3.11</b>	<b>Évaluer les améliorations mécaniques potentielles avant la conception des panneaux</b> .....	<b>41</b>
	3.11.1 Chauffage, ventilation et climatisation (CVC) .....	41
	3.11.2 Services .....	43
<b>3.12</b>	<b>Préparation du bâtiment</b> .....	<b>44</b>
<b>4.</b>	<b>Les occupants du bâtiment</b> .....	<b>46</b>
<b>4.1</b>	<b>Bâtiments vacants ou occupés</b> .....	<b>46</b>
<b>4.2</b>	<b>Quels sont les avantages pour les occupants ?</b> .....	<b>46</b>
<b>4.3</b>	<b>L'importance d'une communication claire et cohérente</b> .....	<b>47</b>
<b>4.4</b>	<b>Accès au logement avant, pendant et après la construction</b> .....	<b>47</b>
<b>5.</b>	<b>Conception du projet</b> .....	<b>48</b>
<b>5.1</b>	<b>Conception de systèmes de rénovation en panneaux</b> .....	<b>48</b>
<b>5.2</b>	<b>Objectif énergétique</b> .....	<b>48</b>
<b>5.3</b>	<b>Performance thermique</b> .....	<b>49</b>
	5.3.1 Pont thermique .....	50
	5.3.2 Épaisseur du panneau .....	55
<b>5.4</b>	<b>Considérations hygrothermiques</b> .....	<b>55</b>
	5.4.1 Gestion des eaux liquides en vrac .....	56
	5.4.2 Perméabilité à la vapeur .....	56
	5.4.3 Évaluation du risque hygrothermique des revêtements de réservoirs .....	57
<b>6.</b>	<b>Sélection d'un type de panneau REEEP</b> .....	<b>59</b>
<b>6.1</b>	<b>Panneaux structuraux isolés</b> .....	<b>60</b>
	6.1.1 Aperçu .....	60
	6.1.2 Assemblages couche par couche .....	60
	6.1.3 Facteurs de différenciation .....	61

<b>6.2</b>	<b>Base de clouage (demi-PIS)</b> .....	<b>62</b>
6.2.1	Aperçu .....	62
6.2.2	Assemblages couche par couche .....	62
6.2.3	Considérations relatives à la conception .....	63
<b>6.3</b>	<b>Panneau à ossature bois</b> .....	<b>64</b>
6.3.1	Aperçu .....	64
6.3.2	Assemblages couche par couche .....	64
6.3.3	Facteurs de différenciation.....	65
<b>6.4</b>	<b>Panneau à solives</b> .....	<b>66</b>
6.4.1	Aperçu .....	66
6.4.2	Assemblages couche par couche .....	66
6.4.3	Facteurs de différenciation.....	67
<b>6.5</b>	<b>Panneaux SIFE</b> .....	<b>68</b>
6.5.1	Aperçu .....	68
6.5.2	Assemblages couche par couche .....	68
6.5.3	Facteurs de différenciation.....	69
<b>6.6</b>	<b>Tableau récapitulatif</b> .....	<b>69</b>
<b>7.</b>	<b>Capture des bâtiments</b> .....	<b>70</b>
<b>7.1</b>	<b>Avantages d'une approche de capture numérique de bâtiment</b> .....	<b>70</b>
<b>7.2</b>	<b>Inconvénients possibles d'une approche de capture numérique de bâtiment</b> .....	<b>71</b>
<b>7.3</b>	<b>Définitions</b> .....	<b>71</b>
<b>7.4</b>	<b>Mesures critiques, informations sur le site, documentation</b> .....	<b>72</b>
7.4.1	Photographies du site .....	72
7.4.2	Plan du site et plan clé .....	73
7.4.3	Mesures critiques et précision requise .....	73
<b>7.5</b>	<b>Sources d'erreur</b> .....	<b>74</b>
<b>7.6</b>	<b>Technologie et méthodologie de la capture des bâtiments</b> .....	<b>75</b>
7.6.1	Mesures de la main .....	75
7.6.2	Réseau de contrôle des enquêtes : Enquête par station totale .....	75
7.6.3	Photogrammétrie .....	77
7.6.4	Numérisation 3D LiDAR.....	78
<b>7.7</b>	<b>Formats de données</b> .....	<b>81</b>
7.7.1	Nuages de points .....	81
7.7.2	Mesures de la station totale.....	82
<b>7.8</b>	<b>Résultats de la capture des bâtiments et documentation de base</b> .....	<b>82</b>

<b>8. Conception et dessin des panneaux</b> .....	<b>84</b>
<b>8.1 Stratégie d’ajustement des panneaux</b> .....	<b>86</b>
8.1.1 Fenêtres.....	87
8.1.2 Joints verticaux des panneaux.....	87
<b>9. Fabrication de panneaux</b> .....	<b>89</b>
<b>9.1 Exigences de l’atelier et degré de sophistication</b> .....	<b>89</b>
<b>9.2 Méthodes de fabrication</b> .....	<b>91</b>
9.2.1 Panneau d’écartement à ossature bois.....	91
9.2.2 Panneaux à base de clouage en mousse rigide (PIS simple face).....	92
9.2.3 Panneau structurel isolé (PIS).....	93
<b>9.3 Tâches en ligne ou hors ligne</b> .....	<b>94</b>
<b>9.4 Manipulation des panneaux</b> .....	<b>94</b>
<b>9.5 AQ/CQ et inspections</b> .....	<b>95</b>
9.5.1 Test d’étanchéité à l’air dans le magasin.....	95
<b>9.6 Opportunités et perspectives d’automatisation</b> .....	<b>96</b>
<b>10. Installation des panneaux et travail sur le terrain</b> .....	<b>97</b>
<b>10.1 Préparation du site et démolition</b> .....	<b>97</b>
<b>10.2 Transport des panneaux sur le site</b> .....	<b>97</b>
<b>10.3 Minimiser le besoin d’échafaudage</b> .....	<b>97</b>
<b>10.4 Hissage des panneaux</b> .....	<b>98</b>
<b>10.5 Coordination avec d’autres métiers et services</b> .....	<b>98</b>
<b>10.6 Compléter l’étanchéité à l’air</b> .....	<b>98</b>
10.6.1 Raccords collés.....	99
10.6.2 Joints d’étanchéité.....	100
<b>10.7 Finition des joints de panneaux</b> .....	<b>100</b>
<b>10.8 Finition des ouvertures des fenêtres et des portes à l’intérieur</b> .....	<b>102</b>
<b>11. Mise en service, mesure et vérification</b> .....	<b>103</b>
<b>11.1 Contrôle de l’impact de la QAI, des performances hygrothermiques et de la consommation d’énergie</b> .....	<b>103</b>
11.1.1 Qualité de l’environnement intérieur (QEI) et contrôle du confort thermique.....	103
11.1.2 Surveillance hygrothermique.....	103
11.1.3 Contrôle de l’énergie.....	103
<b>11.2 Test d’étanchéité à l’air et commissionnement de l’enveloppe du bâtiment</b> .....	<b>104</b>
11.2.1 Test d’étanchéité à l’air.....	104
11.2.2 Commissionnement de l’enveloppe du bâtiment.....	104

<b>12. Coût</b> .....	<b>105</b>
<b>12.1 Réduction des coûts en Europe</b> .....	<b>105</b>
<b>12.2 Coût total de possession d'un bâtiment</b> .....	<b>105</b>
<b>12.3 Coûts des panneaux</b> .....	<b>108</b>
<b>12.4 Taille du marché</b> .....	<b>108</b>
<b>13. Conclusions et prochaines étapes</b> .....	<b>109</b>
<b>Références</b> .....	<b>110</b>
<b>Annexe A : cahiers des charges des panneaux REEEP</b> .....	<b>112</b>
<b>A.1 Mur REEEP – Système de mur en panneaux structuraux isolés</b> .....	<b>113</b>
<b>A.2 Mur REEEP – Système de mur en panneaux à ossature 2x4</b> .....	<b>124</b>
<b>A.3 Mur REEEP – Base panneaux à base de clouage</b> .....	<b>135</b>
<b>A.4 Mur REEEP – Système de mur à panneaux solives en I</b> .....	<b>146</b>
<b>A.5 Mur REEEP – Panneau de système extérieur isolé et fini</b> .....	<b>157</b>
<b>Annexe B : Les valeurs R, le carbone incorporé et les tables de correspondance des poids des panneaux REEEP</b> .....	<b>168</b>
<b>Annexe C: Caractéristiques du parc immobilier Canadien</b> .....	<b>172</b>
<b>Annexe D: Exemples de communications aux locataires</b> .....	<b>174</b>



---

# 1. APERÇU

## 1.1 Qu'est-ce que ce guide et à qui s'adresse-t-il ?

Ce document fournit aux constructeurs, aux fabricants de panneaux, aux consultants en conception et aux spécialistes de la capture du bâtiment des conseils étape par étape pour réaliser des rénovations extérieures préfabriquées (en panneaux), en mettant l'accent sur l'amélioration de la performance énergétique des logements existants. Il couvre les processus de pré-conception, de mesure du bâtiment (capture des bâtiments), de conception, de fabrication et d'installation des panneaux. Le guide vous accompagne pas à pas, de la conception à l'achèvement du projet, tout en abordant les considérations à prendre en compte aux différentes étapes. Les autres personnes intéressées par cette approche peuvent être des propriétaires de bâtiments, des décideurs politiques, des responsables de la construction, des fournisseurs et des conseillers en efficacité énergétique.

Le développement d'approches industrialisées visant à améliorer la performance énergétique des logements existants n'en est qu'à ses débuts. Les informations et les idées contenues dans ce guide sont basées sur un petit échantillon de projets réels et ne doivent donc pas être considérées comme définitives, mais comme des conseils qui évolueront au fur et à mesure que de nouveaux projets seront menés à bien et que l'expérience sera acquise.

## 1.2 Champ d'application

Cette version est limitée aux rénovations de murs préfabriqués au-dessus du niveau du sol des bâtiments de la partie 9 (habitations et petits bâtiments) du Code national du bâtiment du Canada (CNB). La typologie de bâtiment visée est celle des immeubles multifamiliaux de faible hauteur, bien que les concepts généraux puissent s'appliquer à tous les types de bâtiments, de la maison unifamiliale aux grands immeubles. Les implications de la rénovation des murs sur d'autres éléments de l'enveloppe tels que les fondations et les toits, ainsi que les systèmes mécaniques et électriques, sont discutées, mais ces autres éléments ne sont pas l'objet du présent guide.

## 1.3 Qu'est-ce que la REEEP ?

La Rénovation énergétique extérieure préfabriquée (REEEP) était un projet de recherche et développement d'une durée de six ans (2016-2022) mené par CanmetÉNERGIE. Le projet visait à développer un processus ainsi que des conceptions de panneaux pour des projets de style Energiesprong[1], adaptés au parc immobilier et à l'industrie du Canada. La R&D de REEEP s'est concentrée sur le développement de panneaux muraux de rénovation. Ce guide aborde tous les aspects d'une rénovation majeure, y compris le sous-sol, les toits et les installations mécaniques, mais l'accent est mis sur les assemblages de murs au-dessus du niveau du sol.

Le processus implique la numérisation ou l'imagerie d'un bâtiment pour en capturer toutes les dimensions pertinentes, à concevoir des panneaux muraux sur mesure pour recouvrir le bâtiment, à fabriquer ces panneaux hors site et à les installer sur le bâtiment.

Au moment de la rénovation, le projet REEEP a développé cinq prototypes de panneaux muraux et trois projets pilotes documentés ont été menés à bien au Canada. Pour maximiser les avantages de la construction hors site, la REEEP prévoit que les panneaux seront finis en usine dans la mesure du possible. Les panneaux comprennent un support structurel et des fixations préinstallés, une isolation thermique, des membranes de contrôle de l'air, de la vapeur et de l'eau et des solins, une fenestration et des revêtements d'écran pare-pluie. Les objectifs de résistance thermique et d'étanchéité à l'air sont compatibles avec les performances des maisons passives et à consommation énergétique nette zéro. La durabilité, y compris le contrôle approprié de l'eau et de la vapeur sur les murs existants, est primordiale pour la conception globale de l'enveloppe du bâtiment.

## 1.4 Les arguments en faveur de l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment des logements existants

Il y a plusieurs raisons d'améliorer l'enveloppe des bâtiments du parc immobilier canadien existant :

1. Réduire la demande de chauffage, les émissions opérationnelles et les coûts énergétiques,
2. Améliorer le confort, la résilience thermique et la capacité de survie passive,
3. Améliorer la durabilité et la résilience du bâtiment aux intempéries et au changement climatique,
4. Réduire le risque de condensation et de développement de moisissures, améliorer l'esthétique, augmenter la valeur de la propriété et remplacer les systèmes de bardage et de fenestration obsolètes et vieillissants.

### 1.4.1 Réduction des émissions de gaz à effet de serre

Le secteur résidentiel canadien représente plus d'un sixième de la consommation nationale d'énergie et près de 14 % des émissions de GES liées à l'énergie au Canada. Dans ce secteur, le chauffage des locaux représente les deux tiers des émissions de GES. En rénover les maisons canadiennes les plus anciennes ou les plus inefficaces pour qu'elles atteignent des niveaux d'isolation et d'étanchéité à l'air nets ou passifs, il est possible de réduire la demande de chauffage de 80 % ou plus [2], [3]. Toutes choses étant égales par ailleurs, la réduction de la demande de chauffage réduit les émissions et rend plus viable économiquement le passage à des sources d'énergie moins polluantes (mais souvent plus coûteuses).

Les gouvernements de tous niveaux se sont engagés à réduire les émissions. Le gouvernement du Canada s'est fixé pour objectif de réduire les émissions de 40 à 45 % par rapport aux niveaux de 2005 d'ici à 2030 et de parvenir à des émissions nettes nulles dans l'ensemble de l'économie d'ici à 2050. [4]

Le gouvernement de la Colombie britannique, en tant que chef de file provincial en matière de lutte contre le changement climatique, s'est fixé pour objectif de réduire de plus de moitié les émissions dans les bâtiments et les communautés d'ici à 2030 [5].

La Fédération canadienne des municipalités note que les municipalités contrôlent plus de 50 % des émissions canadiennes. En outre, quelque 516 municipalités canadiennes ont déclaré une urgence climatique, et nombre d'entre elles ont élaboré ou mis en œuvre des stratégies locales de réduction des émissions. [6]

Bien que la motivation de réduire les émissions soit évidente et que des progrès soient réalisés, les émissions globales du secteur du bâtiment ont tendance à augmenter. Les émissions de GES des bâtiments résidentiels, commerciaux et institutionnels représentaient 77 Mt CO<sub>2</sub>e en 2019, soit une augmentation de 9,5 % depuis 1990. En revanche, les émissions des bâtiments résidentiels affichent une tendance différente. Malgré une augmentation prévue des émissions de 24,1 Mt entre 1990 et 2019 en raison de l'augmentation de la population et du revenu par habitant, les émissions de GES des bâtiments résidentiels sont en hausse.

Les bâtiments résidentiels ont connu une réduction nette de 1,6 Mt CO<sub>2</sub>e grâce à l'amélioration de l'efficacité énergétique. [7]

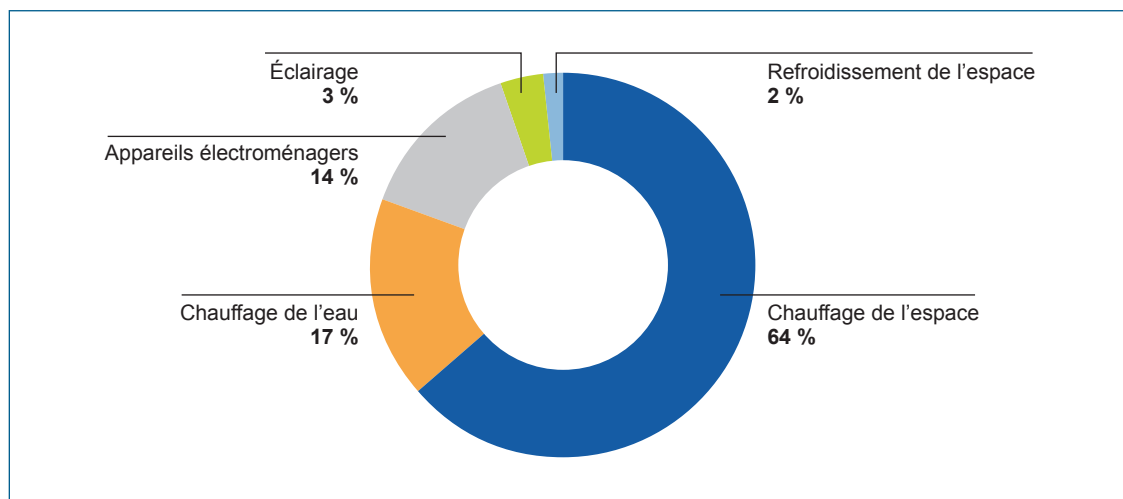
Parvenir à une réduction nette signifie que les bâtiments existants réduisent leurs émissions en changeant de combustible (en passant du chauffage aux combustibles fossiles à l'électricité), en améliorant leur efficacité énergétique ou en remplaçant leur parc immobilier. Étant donné que les codes et réglementations actuels en matière de construction orientent les nouvelles constructions vers une consommation énergétique nette nulle et que les futurs codes potentiels abordent spécifiquement les émissions, il est évident que les bâtiments existants, en particulier les anciens bâtiments inefficaces, sont ceux qui offrent les meilleures possibilités de réduction des émissions.

Pour changer le paradigme et réduire considérablement les émissions de ce secteur, il faudra adopter une nouvelle approche industrielle de la rénovation, adaptée à l'échelle communautaire. La REEEP vise clairement à répondre à ce besoin.

Le Logement communautaire d'Ottawa a achevé un projet pilote du REEEP visant à rénover quatre maisons de ville pour les rendre nettes d'énergie et de carbone en 2021. Le projet devrait permettre d'éviter 18 tonnes de CO<sub>2</sub>e (4 à 5 tonnes par unité) par an. Le projet a contribué à hauteur d'environ 36 t de CO<sub>2</sub>e aux émissions de matériaux initiales pendant la construction. Si le projet atteint son objectif de consommation énergétique annuelle nette zéro, la période de récupération des GES sera d'environ deux ans. L'extrapolation de ces impacts suggère qu'en modernisant le parc existant de plus de 100 000 unités de logement en rangée similaires et subventionnées du Canada pour qu'elles ne produisent pas de carbone, on pourrait atténuer les émissions de 0,5 à 1,0 Mt de CO<sub>2</sub>e par an ou de 10 à 20 Mt de CO<sub>2</sub>e d'ici à 2050. Pour situer le contexte, comme indiqué ci-dessus, les émissions du secteur des bâtiments s'élevaient à 77 Mt CO<sub>2</sub>e en 2019 [7].

## 1.4.2 Réduire les coûts énergétiques

Le chauffage des locaux représente la plus grande part de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel, comme l'illustre la figure 1-1. Par conséquent, la réduction des pertes de chaleur à travers l'enveloppe offre une opportunité significative de réduire les coûts énergétiques. En 2019, les dépenses énergétiques moyennes des ménages canadiens, tous types de maisons confondus, s'élevaient à 2 102 \$ [8]. Étant donné que le chauffage des locaux représente 61,6 % de la consommation d'énergie dans le secteur résidentiel, le coût moyen du chauffage des locaux est d'environ 1 295 \$ par ménage.



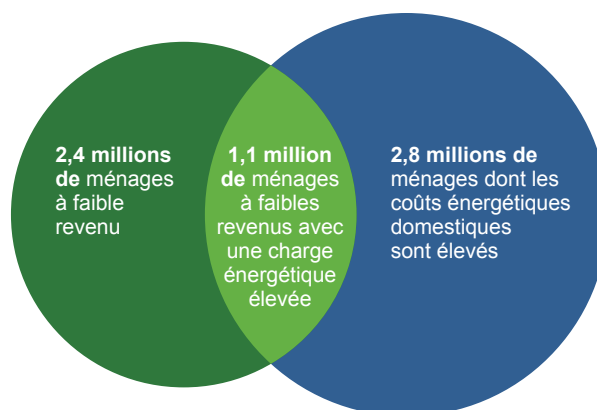
**Figure 1-1** : Répartition de la consommation d'énergie résidentielle par utilisation finale, 2018 [9].

Les familles à revenus faibles ou modérés peuvent être confrontées à des coûts énergétiques élevés (également connus sous le nom de pauvreté énergétique), qui se définissent comme 6 % ou plus du revenu après impôt consacré à l'énergie domestique. Au Canada, 2,8 millions de ménages subissent des coûts énergétiques élevés, dont 1,1 million sont définis comme des ménages à faible revenu (selon la mesure du faible revenu après impôt (MFR)). Étant donné qu'il y a 2,4 millions de ménages à faible revenu, près de la moitié des ménages à faible revenu subissent des coûts énergétiques élevés, comme le montre la figure 1-2. [10]

Un certain nombre de facteurs, dont l'âge, le type et la taille de l'habitation, peuvent dicter les coûts énergétiques. Comme le montre la figure 1-3, il n'est pas surprenant que le pourcentage le plus élevé de ménages subissant une charge énergétique élevée vive dans des logements construits en 1960 ou avant. La charge énergétique diminue dans les années plus récentes.

Le Canada compte environ 550 000 logements subventionnés (dont 100 000 sont des maisons en rangée et 411 000 des appartements) [12]. Si certains logements sociaux ont été construits dans les années 1950 et des logements pour les travailleurs de la guerre dans la décennie précédente, la plupart des logements sociaux ont été construits entre 1964 et les années 1980 [11].

Une grande partie du parc de logements sociaux est en mauvais état en raison d'un entretien différé et d'un manque de financement. Si la forme architecturale simple de la plupart des logements sociaux et les vastes portefeuilles des fournisseurs de logements se prêtent bien à l'approche REEEP, la réduction des coûts énergétiques pour les occupants offre un avantage social en allégeant le fardeau énergétique.



**Figure 1-2** : Ménages au Canada, catégorisés en fonction de leur faible revenu (MFR) et de la charge élevée des coûts énergétiques domestiques (6 % ou plus du revenu après impôt consacré à l'énergie domestique) [10].

Les coûts énergétiques des quatre logements communautaires d'Ottawa s'élevaient à environ 2 200 dollars par an avant la rénovation. Même s'ils continueront à payer une redevance mensuelle pour être raccordés au réseau électrique, les locataires devraient économiser environ 1 850 dollars par an en coûts énergétiques (85 %) et être protégés contre l'escalade future des prix de l'énergie.

**Tableau 1-1** : Coûts énergétiques avant et après une rénovation REEEP nette zéro

Type de coût de l'énergie	Bâtiment existant	Rénovation nette-zéro
Frais de raccordement électrique (\$/an)	344	344
Consommation électrique (kWh/an)	7 440	0
Frais de consommation d'électricité (\$/an)	1 072	0
Frais de raccordement au gaz naturel (\$/an)	258	0
Consommation de gaz naturel (m3)	2 221	s/o
Redevance de consommation de gaz naturel (\$/an)	533	0
<b>Coût énergétique annuel total (\$/an)</b>	<b>2 207</b>	<b>334</b>

### 1.4.3 Amélioration du confort, de la résilience et de la durabilité

Les enveloppes du bâtiment à haute performance offrent des avantages qui vont au-delà de la réduction de l'énergie et des émissions. Les maisons hautement isolées et étanches à l'air améliorent le confort des occupants en réduisant les courants d'air, la stratification de la température et les pertes radiatives par le vitrage.

Au-delà du confort, les enveloppes de bâtiments à haute performance améliorent la résilience des habitations. Le changement climatique accroît la gravité et la fréquence des phénomènes météorologiques extrêmes. Ces événements entraînent souvent des pannes d'électricité qui peuvent coïncider avec des températures extrêmement froides ou chaudes. Les enveloppes de bâtiments à haute performance contribuent à une meilleure résilience thermique en maintenant passivement des conditions de confort et de survie pendant plus longtemps au cours d'une panne d'électricité. Une meilleure étanchéité à l'air, associée à un système de ventilation mécanique correctement conçu et mis en service, permet de mieux contrôler la qualité de l'air intérieur, ce qui peut s'avérer particulièrement utile en cas de pollution atmosphérique importante, comme la fumée des incendies de forêt.

L'intégration de détails de gestion de l'eau bien conçus et bien exécutés dans les rénovations de l'enveloppe du bâtiment améliore la durabilité et la résilience du bâtiment aux événements météorologiques extrêmes. L'augmentation de la résilience thermique des assemblages peut réduire leur potentiel de séchage, car ils sont moins traversés par le flux de chaleur. Il est donc essentiel d'empêcher ces assemblages d'être mouillés en premier lieu.

L'ajout de panneaux isolés par l'extérieur, outre qu'il est moins dérangerant pour les occupants, permet de garder les éléments d'ossature et les revêtements existants plus chauds pendant les mois froids. Cela réduit le risque de condensation qui contribue à la formation de moisissures et aux problèmes de santé qui en découlent.

## 1.5 L'intérêt d'une approche préfabriquée pour les rénovations majeures

Pour transformer notre parc immobilier en un parc à zéro émission nette d'ici le milieu du siècle, il faudrait rénover plus de 500 000 logements par an. Par rapport aux nouvelles constructions, cela équivaut à deux rénovations majeures pour chaque nouveau logement mis en chantier au cours des 30 prochaines années.

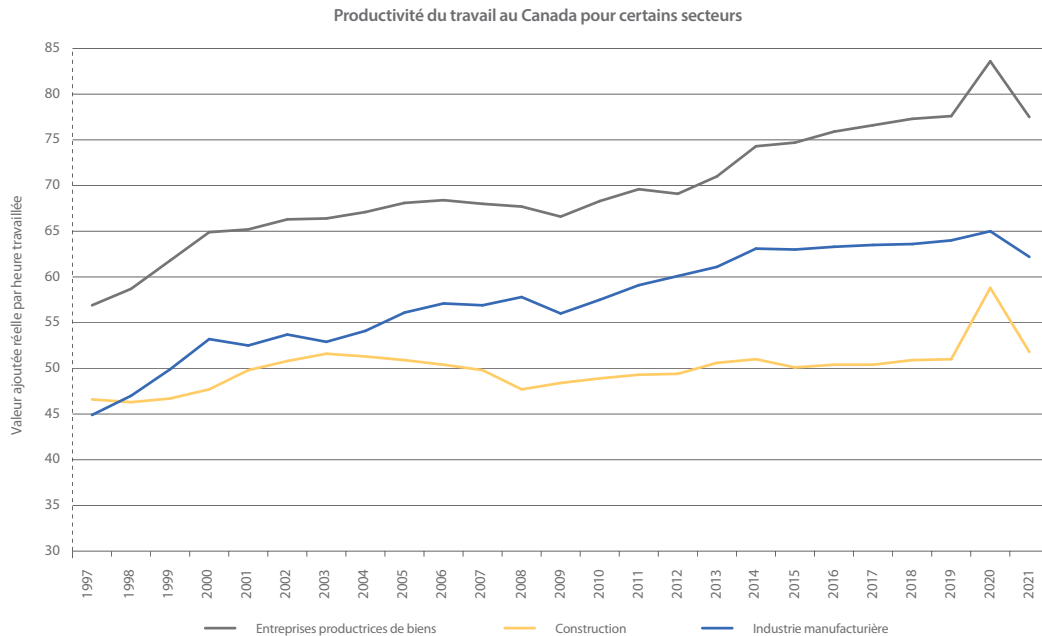
Malgré la générosité des programmes fédéraux, provinciaux et des services publics visant à encourager les propriétaires à investir dans des rénovations énergétiques, l'approche actuelle n'est pas à la hauteur, tant au niveau du taux que de la profondeur des interventions. La plupart des rénovations réalisées à ce jour ont été « superficielles » (c'est-à-dire qu'elles ont permis d'améliorer la consommation d'énergie de moins de 20 %).

Les rénovations majeures traditionnelles se heurtent à plusieurs obstacles : elles sont perturbatrices, coûteuses et comportent des risques, à la fois techniques et financiers. En outre, le Canada manque de corps de métier qualifiés capables d'effectuer ce type de travaux à grande échelle. Par conséquent, les rénovations majeures sont rares. À l'heure actuelle, le marché est pratiquement inexistant et il n'existe pas de solutions normalisées.

REEEP est un processus qui permet de surmonter ces obstacles et de procéder à une rénovation rapide, profonde et à grande échelle des habitations canadiennes. Des numérisations numériques d'un bâtiment existant sont réalisés afin d'obtenir des données dimensionnelles. Des panneaux de revêtement étanches à l'air et hautement isolés, avec de nouvelles fenêtres et de nouvelles portes, sont fabriqués hors site, sur la base de ces scans. Cette approche préfabriquée hors site réduit considérablement la quantité de travail sur site et les perturbations associées pour les occupants du bâtiment. Il existe de nombreuses possibilités d'automatiser le flux de travail à partir de la capture numérique, de la conception et de la fabrication des panneaux.

Pour concrétiser les avantages de la REEEP à une échelle permettant de réduire de manière significative les émissions du parc immobilier existant, il faudra passer d'un travail sur site ponctuel à une personnalisation de masse. Il s'agit là d'un défi majeur pour un secteur en retard sur le plan des gains de productivité, mais aussi d'une opportunité pour les innovateurs de prendre la tête de l'industrie.

Alors que d'autres secteurs, comme l'industrie manufacturière, ont vu leur productivité multipliée par huit, celle de la construction est restée stagnante pendant plusieurs décennies [12].



**Figure 1-3** : La croissance de la productivité du travail dans le secteur de la construction (jaune) est bien inférieure à celle de l'industrie manufacturière (bleu) et de l'ensemble des entreprises productrices de biens (gris) au Canada [3]<sup>1</sup>.

La préfabrication et l'automatisation sont des innovations sur lesquelles de nombreux acteurs du secteur comptent pour améliorer leur productivité.

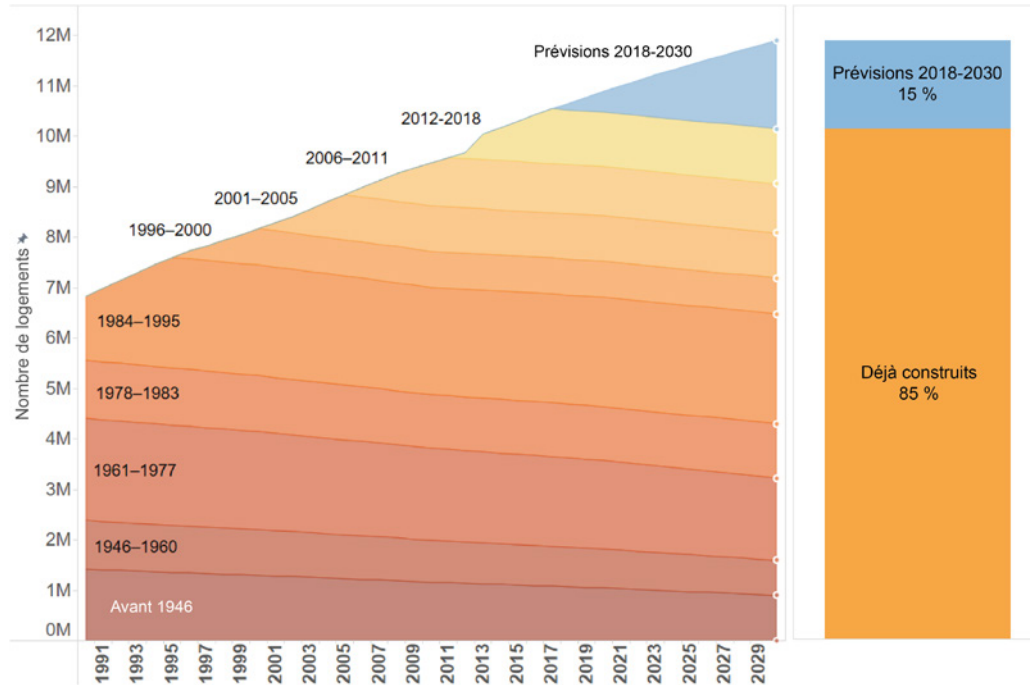
La préfabrication présente d'autres avantages

- Moins de perturbations pour les résidents en raison de la réduction du temps passé sur le site ;
- Moins de déchets ;
- Amélioration de la qualité et de la satisfaction des travailleurs grâce au travail à l'intérieur, en un seul lieu, dans un environnement confortable et bien éclairé, où les outils sont en sécurité ;
- Amélioration de la sécurité des travailleurs grâce à la réduction du temps passé sur les échelles, les ascenseurs et les échafaudages, ou à la manipulation de matériaux lourds ;
- Un meilleur contrôle de la qualité ;
- Meilleur contrôle des stocks de matériel contre les pertes, les dommages et les intempéries ;
- Diminution du risque de perte de matériel sur site ;
- Contribue à remédier à la pénurie de main-d'œuvre qualifiée, car la formation peut être spécifique à une seule opération, et permet de réaliser des travaux sur site avec une main-d'œuvre moins qualifiée, et ;
- Les solutions peuvent être mises à l'échelle et déployées rapidement.

1 L'augmentation anormale de la productivité en 2020 est attribuée à un déclin des activités économiques pendant la pandémie. La contraction de la production et de l'emploi a été particulièrement importante dans les secteurs qui ont tendance à employer des travailleurs plus jeunes et moins instruits. Avec la contraction de ces secteurs, l'expérience et l'éducation moyennes des travailleurs qui ont continué à travailler ont augmenté, ce qui a contribué à la croissance des compétences moyennes des travailleurs et de la productivité moyenne du travail. [31]

## 1.6 La nature du parc immobilier canadien

En 2018, le parc de logements du Canada comptait 15,8 millions d'unités [9]. Près de 54 % de ce parc sont des maisons individuelles, 12 % sont des maisons basses en rangée ou jumelées, 2 % sont des maisons mobiles, et les 32 % restants sont des appartements. On peut raisonnablement estimer que 30 % des appartements (soit 10 % du parc total) sont des habitations de faible hauteur.



**Figure 1-4 :** Parc canadien d'habitations de faible hauteur par année de construction. Les cases de l'année représentent les cycles du code de la construction.

Les objectifs de résilience thermique et d'étanchéité à l'air pour la rénovation des maisons existantes varient en fonction de l'objectif de performance, de la zone climatique, de la typologie, des conditions existantes et de la construction. Les valeurs R théoriques cibles sont indiquées à la [Figure 5-2](#).

## 1.7 Une économie et un marché de la rénovation en plein essor

Les pays du monde entier se préparent à une économie de la rénovation en plein essor pour atteindre leurs objectifs de décarbonisation. Des innovations sont nécessaires en matière de politiques, de technologies de construction, de contrats et de modèles d'entreprise pour lancer cette vague. Ce document se limite aux solutions de murs en panneaux, mais d'autres travaillent à la construction de l'écosystème et du marché de la rénovation au Canada.

Comme nous l'avons vu précédemment, le parc de logements sociaux est un excellent candidat pour les projets REEEP et peut servir de plateforme pour établir l'approche par panel. Une fois qu'un marché est établi dans le secteur du logement abordable et que les coûts sont comprimés par l'expérience, d'autres marchés potentiels incluent les locations au prix du marché, les résidences universitaires et collégiales, les logements des Forces canadiennes, les logements dans les communautés nordiques et éloignées, les communautés de logements construits de manière similaire et les maisons privées.

## 1.8 L'importance et le défi de la fermeture des bâtiments

L'enveloppe du bâtiment est constituée des murs de fondation et de la dalle, des murs au-dessus du niveau du sol, des fenêtres et des portes (fenestration) et de la toiture. L'enveloppe sépare l'intérieur de l'extérieur. Pour ce faire, elle doit contrôler la pluie, l'air, la vapeur et la chaleur. Ces quatre éléments sont essentiels à la construction d'un bâtiment performant, durable et résistant.

Les maisons existantes sont souvent plus tolérantes aux défauts de contrôle de l'eau. La chaleur et l'air qui traversent un mur, par exemple, peuvent sécher l'humidité qui s'est infiltrée par un défaut de solin. L'amélioration du rendement énergétique peut changer cette dynamique en réduisant le flux de chaleur et donc le potentiel de séchage. Pour éviter les moisissures, le pourrissement et d'autres problèmes liés à l'humidité, il est essentiel que les détails de contrôle de l'eau soient conçus et exécutés correctement afin de limiter les sources et les voies d'accès possibles à l'humidité, tout en fournissant un mécanisme permettant à l'humidité de sécher au fil du temps.

La priorité suivante est de contrôler le flux d'air. Outre la pénalité énergétique, les fuites d'air excessives entraînent des conséquences sur le confort, la santé et la durabilité, avec le risque de courants d'air, de condensation, de développement de moisissures et de dégradation des matériaux. Le contrôle de l'air est assuré par un système d'étanchéité à l'air continu, ce qui peut s'avérer très difficile à réaliser dans un bâtiment existant avec une approche fragmentaire.

À l'exception du remplacement des fenêtres et de la toiture, l'enveloppe du bâtiment est généralement laissée intacte pendant des décennies (souvent plus de 50 ans). En raison de sa longévité par rapport aux systèmes mécaniques, l'enveloppe d'un bâtiment justifie généralement l'investissement plus important nécessaire à l'amélioration de ses performances.

L'amélioration des équipements de chauffage domestique est depuis longtemps considérée comme une mesure qui seront plus faciles à prendre dans le cadre des rénovations énergétiques. Cependant, il y a une limite pratique à la profondeur d'une rénovation sans s'attaquer à l'enveloppe du bâtiment. Pour réaliser des économies d'énergie significatives et améliorer la durabilité et la résilience, l'enveloppe du bâtiment doit être traitée de manière globale.



## 1.9 Les co-bénéfices

Si l'objectif d'une rénovation REEEP est de réduire la consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, avec une conception, une planification et une exécution soignées, ces rénovations peuvent également améliorer la santé et le confort des occupants, ainsi que la durabilité des bâtiments et la résilience climatique.

### Santé et confort

Les problèmes de confort, tels que les courants d'air et les surfaces froides, peuvent résulter d'une isolation insuffisante et de fuites d'air. De nombreux occupants connaissent un faible taux d'humidité en hiver et un taux d'humidité excessif en été. La santé et le confort peuvent être considérablement améliorés grâce à une rénovation en profondeur. En contrôlant les fuites d'air indésirables et en apportant de l'air frais par ventilation mécanique, le CO<sub>2</sub> et d'autres polluants tels que le radon et les composés organiques volatils (COV) seront réduits. En isolant l'extérieur de l'ossature et du revêtement, la surface est surélevée et le risque de condensation et de formation de moisissures est réduit.

### Construire la durabilité et la résilience climatique

L'intégration de détails de gestion de l'eau bien conçus et exécutés dans les rénovations de l'enveloppe du bâtiment améliorera la durabilité et la résilience du bâtiment face aux événements climatiques extrêmes. Cependant, l'augmentation de la résistance thermique des assemblages entraîne généralement une réduction de leur capacité de séchage. Il est donc essentiel d'éviter que ces assemblages ne soient mouillés en premier lieu.

## 2. LA NATURE DES RÉNOVATIONS MAJEURE PAR PANNEAUX DANS UN CONTEXTE CANADIEN

### 2.1 L'expérience européenne des rénovations industrialisés

Le projet REEEP s'est inspiré d'innovations européennes telles qu'Energiesprong. Originaire des Pays-Bas, Energiesprong est une initiative visant à agréger la demande de rénovations, à fixer des normes et des objectifs énergétiques clairs et à industrialiser l'approche des rénovations nettes zéro afin d'obtenir des résultats rapides, de qualité et à moindre coût [1].

De nombreux succès de l'approche néerlandaise peuvent être adaptés au Canada, à condition de comprendre comment le contexte canadien se compare.

**Tableau 2-1** : Le contexte néerlandais par rapport au Canada

	Les Pays-Bas	Canada
Climat	Modéré, maritime, une zone. HDD : 2 800.  Le refroidissement mécanique n'est généralement pas nécessaire.	Continentale froide et humide, six zones  HDD : 2 700-12 000, la plupart des logements étant inférieurs à 6 000.  Le refroidissement mécanique est courant.
Densité de population	Élevée (488/km <sup>2</sup> ).	Faible (4/km <sup>2</sup> ).
Construire la tradition	Structure : Maçonnerie/béton. Toiture : Tuiles d'ardoise sur charpente en bois. Fondation : Béton. Généralement non isolée, vide sanitaire peu profond. Pas de sous-sol.	Structure : Cadre en bois léger. Toiture : Généralement des bardeaux d'asphalte sur une ossature en bois. Fondation : Béton. Généralement, avec des sous-sols.
Coût de l'énergie	Haut.	Modéré.
Système de chauffage	Hydronique.	Air pulsé.
Étanchéité à l'air	1,5 ACH <sub>50</sub> [14].	1940 : 10 ACH <sub>50</sub> , 1960 : 7,4 ACH <sub>50</sub> , 1980 : 6 ACH <sub>50</sub> , 2000 : 4,3 ACH <sub>50</sub> , 2019 : 2,5 ACH <sub>50</sub> .
Ventilation	Les systèmes d'échappement seul et les systèmes équilibrés sont courants [15].	Les systèmes d'échappement seuls et les systèmes équilibrés sont courants.
Prévalence de la préfabrication	Longue histoire, large utilisation.	Histoire récente. Prévalence moindre mais en augmentation.

### 2.1.1 Approche technique Energiesprong

Les rénovations Energiesprong comprennent généralement une nouvelle façade isolée en panneaux, composée de panneaux unitaires avec un nouveau fenêtrage et une toiture isolée en panneaux. Les nouveaux panneaux muraux sont installés directement sur les murs de maçonnerie typiques existants. Les tuiles existantes sont enlevées avant l'installation des nouveaux panneaux de toiture. Les événements sont bouchés avant que les vides sanitaires ne soient remplis de polystyrène expansé (PSE) en vrac.

Les joints des panneaux sont généralement de l'ordre de 12 mm et la continuité du pare-air est assurée par des joints d'étanchéité. Les taux d'infiltration mesurés sont très faibles, généralement de l'ordre de 0,18-0,26 CFM/pi<sup>2</sup> à 50 PA (0,914-1,32 L/s/m<sup>2</sup>)<sup>2</sup> ([16]). L'air de ventilation est fourni par un système de ventilation à récupération de chaleur équilibré.

Les panneaux à ossature bois et les panneaux isolés structuraux (PIS) à base de PSE sont tous deux utilisés. La fabrication des panneaux était à l'origine manuelle et s'effectuait sur des tables d'ossature de base ou dans des ateliers. Toutefois, certains fournisseurs (par exemple, RC Panels) ont commencé à automatiser la fabrication des panneaux de rénovation.

### 2.1.2 L'expérience d'Energiesprong à ce jour

Les premiers projets achevés, pour la plupart des maisons en rangée de deux étages, visant à atteindre une performance énergétique nette zéro, auraient coûté 130 000 € (186 000 \$CAN) en 2016. Selon un rapport publié par la NYERSDA [17], le coût a été réduit de 50 % en 2018 (à environ 65 000 €). Toutefois, il semble que les coûts pour atteindre le niveau zéro net soient considérablement plus élevés que le chiffre indiqué dans le rapport de la NYSERDA. La normalisation des solutions, l'intégration des chaînes d'approvisionnement, l'achat en gros et l'automatisation peuvent permettre de réduire davantage les coûts.

Le suivi révèle que les projets atteignent une performance nette zéro. La durée de la construction a été signalée comme une plainte des résidents, mais l'utilisation d'éléments préfabriqués a probablement permis de réduire considérablement la durée de la construction par rapport à une approche purement construite sur le site. La durée de la construction est généralement d'une à quatre semaines. Les bâtiments restent occupés pendant la rénovation et la plupart des travaux sont réalisés de l'extérieur.

## 2.2 Le contexte canadien – Évolution ou révolution de la rénovation

Energiesprong représente une approche révolutionnaire de la rénovation traditionnelle – caractérisée par des méthodes de construction inefficaces, à forte intensité de chantier et à des coûts élevés – en faveur d'une approche industrialisée à grande échelle pour transformer le parc de logements existants plus rapidement et plus économiquement.

L'approche néerlandaise repose sur l'idée que la création d'un marché important est une condition préalable pour inciter une industrie à faire les investissements nécessaires pour développer et fabriquer un nouveau type de produit. En outre, l'hypothèse sous-jacente est que l'automatisation est la clé pour rendre le produit suffisamment bon marché pour que le modèle d'entreprise fonctionne.

Si l'approche fragmentaire de la rénovation des bâtiments est commune aux deux pays, il existe des différences importantes entre les contextes canadien et néerlandais, comme le montre le tableau 2. Par rapport aux Pays-Bas, le Canada est moins densément peuplé, compte plus de zones

2 Bien qu'il n'y ait pas de conversion directe entre ACH50 et TFN50, le Code national du bâtiment du Canada 2020 (CNB) fournit des niveaux de conformité en matière d'étanchéité à l'air en termes d'ACH50 et de TFN50, ainsi que de surface de fuite normalisée SFN10. D'après les niveaux de conformité du CNB pour les unités attenantes utilisant des tests d'étanchéité à l'air non protégés, la plage TFN50 mesurée de 0,914 à 1,32 L/s/m<sup>2</sup> est à peu près comparable à 2 à 3 ACH<sub>50</sub>.

climatiques, de codes, de pratiques de construction variées, plus de petits acteurs industriels et de plus grandes distances à parcourir. On s'attend à ce que les coûts de transport à eux seuls limitent la taille du marché dans la plupart des régions du pays au point que, du moins à court terme, il y aura peu d'intérêt à faire de gros investissements dans les usines et l'équipement.

À la lumière de ces différences, il est moins important de se concentrer sur le nombre d'entreprises désireuses et capables d'investir dans le développement d'un nouveau produit, que sur la manière d'élaborer une méthodologie REEEP qui tienne compte de la composition actuelle de l'industrie canadienne et qui utilise au mieux les produits et services qu'elle offre actuellement – une évolution plutôt qu'une révolution.

## 2.3 Bien plus que des panneaux

Bien que l'un des objectifs du projet REEEP ait été d'éliminer autant que possible les coûts et les délais associés aux approches traditionnelles, il est impossible d'éviter le fait qu'une rénovation en profondeur est un projet de construction majeur. Les panneaux muraux n'en constituent qu'une partie et ne représenteront probablement qu'une fraction du coût total du projet. Dans le cadre d'une rénovation profonde, les projets typiques peuvent également inclure des travaux d'excavation et des travaux sous le niveau du sol pour imperméabiliser, isoler et étanchéifier les fondations, la réfection de la toiture pour isoler et étanchéifier au-dessus du toit existant et l'ajout de nouveaux systèmes mécaniques, y compris la ventilation avec récupération de chaleur. Si le changement de combustible fait partie du programme, le coût de la suppression de l'alimentation en gaz et de l'augmentation de la taille de l'installation électrique peut également représenter un coût important.

## 2.4 L'équipe – rôles et responsabilités

La réussite d'un projet de Réaménagements écoénergétiques en profondeur nécessite une équipe compétente et expérimentée. Un projet REEEP n'est pas différent à cet égard, si ce n'est que de nouveaux rôles sont requis, comme celui «Topographe de relevé de bâtiment», d'un fabricant et d'un installateur de panneaux. De plus, étant donné la nouveauté de l'approche par panneaux au Canada, l'expertise professionnelle d'un ingénieur ou d'un architecte peut être nécessaire d'un point de vue pratique ou pour répondre aux préoccupations des responsables de la construction. Le *tableau 2-2* ci-dessous présente les rôles et les membres d'une équipe de projet REEEP.

**Tableau 2-2** : Rôles de l'équipe de projet

Membre de l'équipe	Rôle
Propriétaire(s)	Sélectionner les biens immobiliers candidats et financer la construction
Architecte	Développer le programme technique, l'évaluation du code, la demande de permis et coordonner les consultants
Conseiller en efficacité énergétique	Effectuer une analyse de l'énergie et du carbone
Scientifique du bâtiment / Consultant en enveloppe	Effectuer une évaluation de l'état du bâtiment et une évaluation hygrothermique
Ingénieur structurel	Il peut être nécessaire d'évaluer l'état de la structure et sa capacité à supporter la rénovation et de concevoir les connexions
«Topographe de relevé de bâtiment»	Mener une enquête sur le terrain pour obtenir des mesures et vérifier
Entrepreneur général	Responsable de tous les aspects de la réalisation du projet. Peut fabriquer les panneaux ou les sous-traiter. Il est probable qu'il utilise ses propres forces pour préparer le bâtiment à recevoir les panneaux et qu'il soit responsable de l'étanchéité à l'air
Fabricant et installateur de panneaux	Élaborer des dessins d'atelier sur la base des données de capture des bâtiments, fabriquer les panneaux, les livrer sur le site et les installer

## 2.5 Manufacturiers de panneaux versus, fabricants de panneaux et entrepreneurs

Aux fins du présent guide, les fabricants de panneaux sont considérés comme des entreprises qui fabriquent un panneau de base, souvent à l'aide d'un degré élevé d'automatisation et de chaînes de fabrication. Les fabricants de panneaux isolés structuraux (PIS) ou de panneaux muraux à ossature bois en sont des exemples. Pour les fabricants, la normalisation et la répétition sont les clés du succès, tandis que les couches personnalisées sont un facteur de perturbation. Les panneaux fabriqués n'incluent généralement pas de membranes, de fenêtres et de revêtements. Il est peu probable que les fabricants investissent dans de nouveaux procédés, à moins que le marché ne soit important et que le modèle d'entreprise ne soit certain. Pour ces raisons, les fabricants de panneaux sont mal placés pour produire des panneaux finis, mais peuvent fournir un panneau de base qui pourrait être fini par d'autres.

Les fabricants de panneaux produisent des panneaux fermés (avec des finitions intérieures ou extérieures appliquées en atelier) qui sont souvent finis à un degré plus élevé en incluant des éléments tels que l'isolation, les membranes, les fenêtres, le cerclage et parfois le bardage. Il s'agit d'une industrie de petite taille, mais qui se développe rapidement. Ces entreprises fabriquent généralement des panneaux manuellement pour des maisons personnalisées haut de gamme et, de ce fait, chaque projet est quelque peu unique. Ces entreprises ont un seuil plus bas pour la taille du marché et l'état d'esprit requis pour le travail sur mesure. Les fabricants de panneaux sont bien placés pour produire des panneaux de rénovation finis.

Les entrepreneurs généraux ou les constructeurs sont responsables de la réalisation de l'ensemble du projet. Comme les entrepreneurs généraux sont habitués à des exigences uniques pour chaque projet, ils disposent de systèmes internes qui peuvent être normalisés même si chaque projet est unique. Les entreprises générales sont également bien placées pour produire des panneaux de rénovation finis si elles peuvent trouver et équiper un espace intérieur à cet effet.

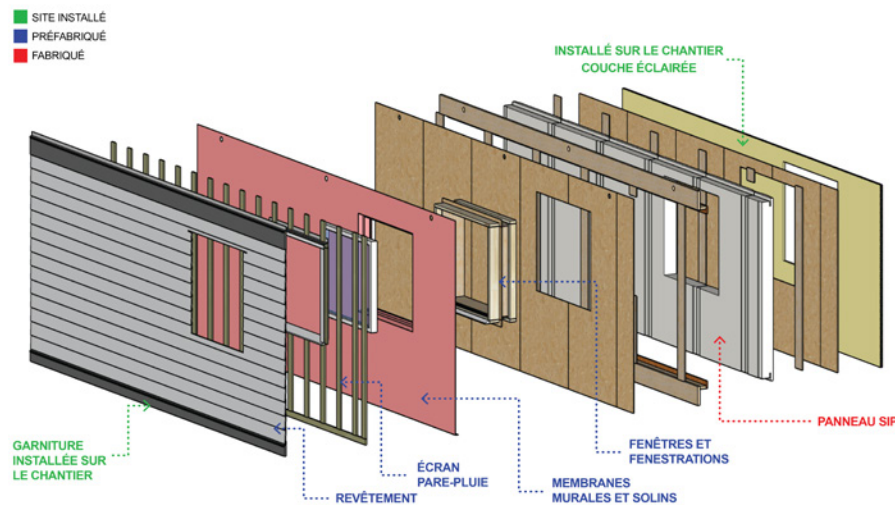


Figure 2-1 : Composants fabriqués, préfabriqués ou installés sur le site

Tableau 2-3 : Adéquation des fabricants de panneaux

Catégorie	Produit	L'état d'esprit	Adéquation
Manufacturier de panneaux	Panneaux PIS ou éléments à ossature bois (panneau de base)	La normalisation et la répétition sont les clés du succès.	Produit un panneau de base qui peut être fini par d'autres. N'est généralement pas adapté à la production de panneaux finis, mais peut fournir un panneau de base.
Fabricant de panneaux	Sur mesure, haute performance panneaux finis	La préfabrication hors site permet un contrôle de la qualité et de la précision pour des projets uniques.	Le mieux est de produire des panneaux de rénovation finis avec isolation, membranes, fenêtres, revêtements. Le fabricant de panneaux sera probablement responsable de l'installation.
Entrepreneur général	Construction générale, généralement axée sur le travail sur site	Chaque projet est unique.	Ils sont bien placés pour produire des panneaux finis de modernisation s'ils disposent de l'espace et de l'équipement nécessaires. Dans ce cas, le GC est responsable de l'installation.

## 2.6 La valeur de la réalisation de projet intégrée

Le déroulement du processus REEEP peut être grossièrement divisé en deux parties : la définition du projet et la réalisation du projet. La définition du projet consiste à définir le problème, le type de bâtiment, le nombre d'unités ou de suites, les performances avant et après la rénovation, la conception des panneaux, le modèle de financement, etc. La réalisation du projet couvre toutes les étapes nécessaires à la production et à l'installation des panneaux et à l'accomplissement de toutes les autres tâches liées au site.

Bien que le processus puisse sembler linéaire, la livraison commence lorsque la définition se termine – les deux sont en contact. En fait, ces méthodes sont imbriquées les unes dans les autres. Pour illustrer notre propos, nous avons examiné trois méthodes possibles de réalisation de projet, à savoir l'Appel d'offres (AO), la Demande de propositions (DDP) et la Réalisation de projet intégrée (RPI). L'objectif est de montrer comment le choix d'une méthode de livraison peut influencer la façon dont le problème est défini, les solutions qui sont développées, le coût et la viabilité globale du projet.

### 2.6.1 Définition du projet

**Étape 1 :** La définition du projet commence par un agenda stratégique défini par le propriétaire du bâtiment en collaboration avec les consultants appropriés – très probablement un architecte familiarisé avec les questions techniques, un conseiller en efficacité énergétique, un expert financier, un scientifique du bâtiment, un urbaniste. Les questions à trancher comprennent la définition du problème, le modèle financier, le budget, les sources de financement potentielles, le calendrier, l'adéquation du parc immobilier, les caractéristiques démographiques des locataires et la méthode de mise en œuvre du projet. À ce stade, les documents d'orientation pertinents sont identifiés, notamment le plan énergétique et d'émissions de la collectivité mis en place par la municipalité et/ou le plan énergétique stratégique mis en place par le fournisseur de logements. Un plan de communication et d'engagement des locataires doit également être élaboré, car le comportement des locataires est un élément clé des économies d'énergie ciblées.

**Étape 2 :** Un programme technique est élaboré : une méthodologie de sélection de projets multicritères est suivie pour identifier les bâtiments candidats ; la performance énergétique actuelle est déterminée ; les objectifs après la rénovation sont définis. Les consultants comprennent un architecte, un conseiller en efficacité énergétique, un fabricant de panneaux et un entrepreneur. Ce processus pourrait prendre la forme d'une réunion de projet supervisée.

## 2.6.2 Exécution du projet

Trois formes fondamentales de réalisation de projet sont décrites ci-dessous : l'appel d'offres, la demande de propositions et la réalisation de projet intégrée. Plusieurs variantes sont possibles.

**Tableau 2-4** : Options de réalisation du projet

Méthode de livraison	Description	Considérations
Appel d'offres (AO)	Solution décidée et documents d'appel d'offres préparés par des consultants experts	<ul style="list-style-type: none"> <li>Le processus descendant limite l'innovation – confinée aux solutions établies et connues des consultants.</li> <li>Si le calcul des coûts n'est pas effectué lors de la conception, l'argent est dépensé pour préparer les documents d'appel d'offres avant de connaître les coûts réalistes du projet.</li> <li>Les principaux acteurs du secteur n'ont pas la possibilité d'influer sur la solution, ce qui leur fait perdre des occasions d'innover ou d'optimiser.</li> <li>Le processus peut être lent et itératif – la décision de poursuivre ou non ne peut être prise qu'après réception des offres.</li> </ul>
Demande de propositions (DDP)	Solutions élaborées par différentes équipes de proposition	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les membres de l'équipe de projet sont constitués par le promoteur principal sur la base de leur expertise.</li> <li>La collaboration entre les membres de l'équipe est susceptible de produire une solution plus cohérente que la méthode AO.</li> <li>Le plus grand potentiel d'innovation (en supposant qu'il y ait plusieurs soumissionnaires et une variété de solutions possibles).</li> <li>Le DDP doit être basé sur les performances – par exemple, en spécifiant les économies d'énergie visées – mais doit fournir un cadre de référence fiable – par exemple, des données sur la construction de bâtiments existants et les performances énergétiques actuelles.</li> <li>Si le cadre de référence de la DDP est défectueux, des litiges contractuels peuvent survenir.</li> <li>Outre les objectifs de performance et le coût, les critères d'évaluation peuvent inclure la rapidité d'installation et le degré de perturbation pour les occupants.</li> <li>L'évaluation des propositions et le suivi des projets nécessitent une expertise appropriée.</li> <li>Le coût élevé de l'élaboration d'une proposition et le risque lié à l'exécution du contrat risquent de limiter les participants aux grands acteurs du secteur.</li> <li>Pour attirer les grands acteurs de l'industrie, les projets individuels devront être d'une ampleur suffisante, ce qui augmentera le risque global si les processus et les solutions techniques n'ont pas été testés.</li> </ul>

Méthode de livraison	Description	Considérations
Réalisation de projet intégrée (RPI)	La solution reflète la contribution de toutes les parties prenantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Considéré comme une progression naturelle des processus de collaboration des étapes 1 et 2, c'est-à-dire qu'un groupe composé de personnes représentant tous les domaines clés d'expertise est convoqué pour élaborer une solution de conception.</li> <li>• Le processus se prête à la phase initiale du REEEP lorsqu'il n'existe pas de solutions techniques ou de méthodes de procédure établies.</li> <li>• Le succès dépend de la volonté de tous les participants de partager des informations sensibles sur les coûts et les bénéfices.</li> <li>• Les coûts étant connus à l'avance, la décision de poursuivre ou non la procédure peut être prise plus tôt que pour les deux autres méthodes.</li> <li>• La certitude d'obtenir le feu vert plus tôt permet d'accélérer les choses – par exemple, des activités telles que la capture des bâtiments peuvent être réalisées au cours de la phase de conception.</li> <li>• La quantité et le coût de la documentation contractuelle peuvent être réduits parce que tous les membres clés de l'équipe participent à la prise de décision.</li> <li>• Les risques peuvent être identifiés et partagés de manière appropriée entre les membres de l'équipe sur la base d'un consensus.</li> <li>• Le projet a plus de chances d'aboutir sur le plan financier et technique parce que les acteurs clés ont partagé leur expérience dès le départ.</li> <li>• Les documents contractuels sont élaborés progressivement, en tenant compte des points de vue de tous les participants, ce qui minimise les risques de litiges.</li> <li>• Le processus se prête aux petits projets où les coûts initiaux et les risques peuvent être limités en raison de l'élimination du coût de l'appel d'offres et où tous les participants à l'équipe sont assurés de percevoir leurs honoraires.</li> <li>• Les solutions spécifiques sont susceptibles de varier d'une région à l'autre et le processus RPI est plus adapté aux différences régionales canadiennes, notamment en ce qui concerne les pratiques de financement et de gestion des fournisseurs de logements, les normes de construction, les typologies de bâtiments, la composition de l'industrie, les exigences du code, la participation des syndicats, etc.</li> </ul>

Les rénovations par panneaux étant un nouveau type de projet de construction dont les participants n'ont probablement que peu ou pas d'expérience préalable, la méthode de réalisation de projet intégrée (RPI) est sans doute la plus appropriée. En réunissant tous les participants clés dès le début du projet, la RPI garantit un niveau de collaboration beaucoup plus élevé, un échange d'informations en temps opportun qui aboutira à une meilleure solution à un coût moindre tout en minimisant le risque d'ordres de modification coûteux ou de litiges.



### 2.6.3 Risque lié à la performance énergétique

Si l'on demande à l'entrepreneur plutôt qu'au propriétaire du bâtiment d'assumer le risque lié à la performance énergétique, le coût de la rénovation sera plus élevé. La performance énergétique peut être prédite par la modélisation et confirmée par des tests, mais le comportement des occupants et les taux d'escalade des prix des combustibles ne peuvent être prédits avec précision (l'obtention d'une consommation énergétique nette zéro atténue le risque d'escalade des prix des combustibles). Si le coût de l'énergie est garanti dans le cadre du modèle de financement, un montant de base pour le coût de l'énergie ou la consommation d'énergie doit être établi et accepté par toutes les parties. Tout montant supérieur à la base convenue sera payé par le locataire ou le propriétaire du bâtiment.

## 3. CONSIDÉRATIONS TECHNIQUES ET PRÉ-CONCEPTION

### 3.1 Qu'est-ce qui fait un bon projet REEEP ?

Les bâtiments de forme simple avec des unités répétitives se prêtent bien aux rénovations par panneaux. Si vous répondez par l'affirmative aux questions posées ci-dessous, le projet est probablement un très bon candidat pour une rénovation REEEP.

#### Critères obligatoires

- Des travaux extérieurs sont-ils nécessaires (fenêtres, portes, bardage) ?
- Les coûts énergétiques sont-ils élevés pour un bâtiment de cette taille Intensité Élevée de Consommation Énergétique (ICE) ?
- La structure est-elle saine ?
- Aucun problème lié au code du bâtiment ou au zonage (marges de recul, ouvertures non protégées, désignations patrimoniales) qui empêcherait ou compliquerait une rénovation extérieure ?

#### Critères de conception et de construction des actifs

- L'architecture est-elle relativement simple ? (par exemple, peu d'articulations).
- Existe-t-il des dessins existants ?
- Le bâtiment est-il autonome ?
- Les occupants sont-ils à bord ?
- L'ensemble de l'enceinte est-elle accessible ? (par exemple, pas de garage attenant).
- Existe-t-il plusieurs unités répétitives ?

#### Critères relatifs au site, à l'emplacement et aux moyens de transport

- Les routes de transport sont-elles exemptes de restrictions de hauteur, de traversées de cours d'eau, etc.
- L'accessibilité autour du bâtiment est-elle bonne pour la machinerie ?
- Le site est-il dépourvu de câbles aériens qui pourraient gêner l'utilisation d'une grue ?
- Y a-t-il des aménagements paysagers qui ne peuvent être remplacés ?
- Existe-t-il une zone de transit suffisante ?
- Le site est-il éloigné ? Y a-t-il peu d'entreprises locales disponibles ?
- Les panneaux peuvent-ils être protégés de l'humidité pendant le transport et sur le chantier ?
- Dans l'hypothèse d'un objectif net zéro, l'orientation du bâtiment et l'ombrage du site permettent-ils l'installation de panneaux solaires sur le toit ?

## 3.2 Fixer des objectifs de performance

Pour obtenir des réductions significatives de la consommation d'énergie et des émissions de carbone, il faut adopter une approche globale qui suit les principes de la « maison en tant que système ». Une approche REEEP pourrait être employée dans des projets visant n'importe quel niveau de performance (consommation nette zéro, prêt net zéro, zéro carbone, maison passive). Il est réaliste de penser qu'un bâtiment existant n'aura qu'une seule occasion de se rénover au cours de sa vie. La plupart des coûts sont liés aux finitions extérieures. L'isolation supplémentaire et l'attention portée à l'étanchéité à l'air seront relativement peu coûteuses par rapport au coût total du projet. Il est très peu probable que les finitions extérieures soient à nouveau mises à jour dans un avenir proche. Ce guide recommande donc de concevoir la maison en fonction d'une consommation énergétique nette zéro ou d'un objectif de maison passive.

Indépendamment de l'objectif final et du programme suivi, la certification présente une valeur considérable car les programmes volontaires énumérés ci-dessus exigent de la rigueur, des tests d'étanchéité à l'air et des contrôles d'assurance qualité indépendants. Certaines normes, cependant, assouplissent leurs exigences pour les rénovations. Par exemple, le [Programme de rénovation nette zéro de l'ACCH](#) assouplit les exigences en matière d'étanchéité à l'air et de certains détails difficiles, tels que l'isolation sous la dalle. La norme [EnerPHit](#) du Passive House Institute assouplit également les exigences en matière d'étanchéité à l'air. La norme [PHIUS+ 2021](#) comprend les mêmes objectifs de conditionnement de l'espace et d'étanchéité à l'air que pour les nouvelles constructions, mais prévoit des tolérances plus importantes pour les ponts thermiques structurels existants dans les rénovations.

**Tableau 3-1** : Objectifs de performance, normes de construction et considérations possibles

Cible	Considérations	Normes et programmes
Consommation nette zéro ou Prêt net zéro	<ul style="list-style-type: none"> <li>L'orientation existante, la pente du toit et les bâtiments voisins, les arbres peuvent limiter le potentiel d'un système photovoltaïque sur site suffisant.</li> <li>Les entrepreneurs et les conseillers en efficacité énergétique doivent être</li> <li>Préqualifié par l'ACCH.</li> <li>Objectif minimal d'étanchéité à l'air de 2,0 ACH@50Pa (ci-joint) ; ou 1,5 ACH@50Pa (détaché).</li> </ul>	<a href="#">Rénovations nettes-zéro de l'ACCH (Part-9)</a>
Maison passive	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trois normes disponibles au Canada pour (PHI, EnerPHit, PHIUS).</li> <li>Min. Étanchéité à l'air EnerPHit (volumétrique) : 1,0 ACH@50Pa.</li> <li>Min. PHI étanchéité à l'air (volumétrique) : 0,6ACH@50Pa.</li> <li>Min. PHIUS+ 2015 étanchéité à l'air (basée sur la surface) : 0,04 CFM/pi<sup>2</sup> de l'enveloppe à @50Pa.</li> </ul>	Maison passive Canada : <a href="#">EnerPHit</a> <a href="#">PHIUS+ 2021</a>
Zéro carbone	<ul style="list-style-type: none"> <li>Non destiné à la construction de la partie 9</li> </ul>	Programme de construction zéro carbone du CBDCa

### 3.3 Disponibilité des plans de construction existants

Si le propriétaire du bâtiment n'a pas de plans existants, ceux-ci peuvent être disponibles auprès du bureau municipal des bâtiments. Ces plans peuvent s'avérer extrêmement utiles au stade initial de la conception pour élaborer des schémas et des modèles énergétiques. Ils peuvent également donner un aperçu de la conception structurelle et des assemblages utilisés et peuvent être utiles pour confirmer l'emplacement d'éléments tels que les fenêtres dans les données de capture des bâtiments. Cependant, il est rare que les plans de permis représentent des conditions telles que construites ou telles que trouvées. Il ne faut donc pas se fier aux dimensions des plans existants pour élaborer les plans détaillés des panneaux. Au-delà de la recherche de problèmes structurels et d'enveloppe dans le bâtiment existant, l'évaluation de l'état du bâtiment doit confirmer que les assemblages ont été construits conformément aux informations contenues dans les dessins existants. Il est important de souligner que le degré de précision requis pour une rénovation par panneaux exige qu'une enquête numérique détaillée soit menée pour saisir toutes les dimensions existantes pertinentes.

### 3.4 Morphologie des bâtiments

La conception des panneaux est plus simple pour les bâtiments de forme simple et, par conséquent, plus économique. Les éléments architecturaux tels que les balcons, l'articulation des façades, les toits en saillie (qui ne peuvent pas être démolis) ajouteront tous de la complexité. Il peut être possible de simplifier la forme du bâtiment dans le cadre de la rénovation (en encapsulant les balcons et les entrées en saillie, par exemple). Cependant, ces circonstances nécessiteront probablement des détails uniques conçus sur mesure.

Il n'y a pas de nombre minimum d'unités d'habitation pour une rénovation par panneaux. Cependant, avec un plus grand nombre d'unités répétées, le processus peut être rendu plus efficace et des économies d'échelle peuvent être exploitées. Bien que chaque unité doive être mesurée indépendamment (pour confirmer, par exemple, que les fenêtres et les portes sont de la même taille et au même endroit), la répétition des formes accélère la conception, la fabrication et l'installation des panneaux.

### 3.5 Assemblages des enveloppes existantes

Les assemblages existants et leur état doivent être soigneusement évalués avant d'entreprendre un projet REEEP. Si possible, il est utile d'identifier les couches existantes du mur, leur épaisseur, et de mesurer la teneur en humidité des matériaux sensibles à l'humidité comme le bois. Les éléments suivants présentent un intérêt particulier :

- Existe-t-il des défauts de gestion de l'eau existants qui pourraient constituer des sources potentielles de d'infiltration d'eau (par exemple, solin manquant, taches sur le revêtement extérieur) ?
- Existe-t-il des signes de moisissure ou de pourriture qui doivent être traités avant la rénovation ?
- Existe-t-il un pare-vapeur (polyéthylène, papier kraft enduit de goudron, plusieurs couches de peinture à l'huile) ? La présence de matériaux à faible perméance du côté climatisé de l'enveloppe peut encourager l'utilisation d'un panneau qui facilite le séchage vers l'extérieur.
- Le revêtement extérieur sera-t-il conservé ou enlevé ?
- Si un revêtement existant (brique, stuc ou bardage en bois) doit être conservé, comment l'humidification par la pluie sera-t-elle gérée pour garantir que l'humidité piégée derrière les panneaux ne causera pas de problèmes ?
- Les ponts thermiques existants ont-ils été correctement pris en compte ? Peuvent-ils être éliminés ?

### 3.6 Accès au site et adéquation

Divers équipements, tels qu'une excavatrice pour creuser les fondations et préparer le site, une machine pour hisser les panneaux et un monte-personne pour l'accès en hauteur, peuvent s'avérer nécessaires. Il sera probablement nécessaire d'accéder aux machines sur les quatre côtés du bâtiment. Pour ce faire, un dégagement minimum de 6 mètres (20 pieds) sera probablement nécessaire.

En règle générale, une rénovation par panneaux ne nécessite pas de grue de grande capacité. Un grand panneau fini revêtu d'un bardage en fibres-ciment peut peser 2,5 tonnes (5 000 livres). Cependant, une grue plus grande peut être en mesure de positionner tous les panneaux muraux à partir d'une seule position stationnaire si les avant-toits sont enlevés. L'emplacement de la grue elle-même est une considération essentielle – la taille et la mobilité de la grue doivent s'adapter aux restrictions du site. Lorsque les stabilisateurs sont rétractés, la capacité de levage est réduite, de sorte qu'un espace confiné peut limiter la taille des panneaux pouvant être installés dans des endroits étroits. La terre meuble peut également affecter la capacité de levage de la grue. Si la grue ne peut fonctionner qu'à partir de la rue adjacente, il faudra prévoir des fermetures et des autorisations.

Les panneaux peuvent également être installés à l'aide d'un camion grue ou d'un chariot élévateur télescopique, mais les unités à flèche rotative sont de loin préférables pour permettre un réglage d'avant en arrière.

Les fils électriques superposés peuvent compliquer le levage. Toutefois, si la rénovation comprend des améliorations électriques, il peut être possible de déplacer le service électrique sous terre.

Les arbres, les clôtures, les dépendances et les propriétés voisines sont autant de défis à relever. Dans la mesure du possible, l'enlèvement des clôtures et des petites dépendances facilitera grandement l'installation des panneaux.

### 3.7 Exigences en matière d'équipement

Une chargeuse compacte ou un chargeur à chenilles équipé d'une flèche est utile pour la manipulation des panneaux. Les panneaux doivent être soulevés par le haut pour éviter de les endommager. Une fois les fenêtres installées, les panneaux doivent être stockés et expédiés verticalement. Des rayonnages sur mesure peuvent être fabriqués pour faciliter le stockage des panneaux dans l'usine de fabrication, le transport et le stockage temporaire sur le site du projet. Une grue, un camion à flèche ou un chariot télescopique rotatif seront probablement les mieux adaptés à la manutention et à l'installation des panneaux.

LCO a utilisé un petit chariot télescopique équipé d'une flèche pour faire office d'élévateur à nacelle. Cela s'est avéré utile pour manipuler les panneaux dans l'atelier de fabrication et sur le chantier. Cependant, l'installation des panneaux était lente avec le chariot télescopique car il n'était pas possible de déplacer les panneaux vers l'avant ou vers l'arrière. Ce problème a été résolu par un chariot télescopique rotatif. La machine n'ayant pas de stabilisateurs, elle était parfois instable sur le site boueux ou enneigé.



**Figure 3-1** : (à gauche) chariot télescopique utilisé pour hisser un rack de stockage à ossature métallique sur une remorque en vue de sa livraison sur le chantier (à droite) chariot télescopique équipé d'une flèche hissant des racks sur une remorque à plateau en vue de leur transport.

## 3.8 Considérations relatives au code du bâtiment

### 3.8.1 Codes de construction

Les codes du bâtiment canadiens sont réglementés au niveau provincial et sont principalement destinés à la conception et à la construction de nouveaux bâtiments. Ils ne couvrent pas entièrement la portée des travaux de rénovation de l'enveloppe des bâtiments, y compris les projets REEEP. Certaines juridictions ont des exigences liées aux travaux de rénovation, tandis que d'autres n'ont pas d'exigences spécifiques. En conséquence, de nombreuses juridictions appliquent les codes de construction actuels aux travaux de rénovation importants et à certains types de modernisation des enveloppes, mais l'application n'est pas uniforme et les conditions existantes des anciennes enveloppes de bâtiments posent des problèmes, en particulier lorsque des exigences normatives entrent en jeu. Les remplacements de bardage, les rénovations de toiture et les remplacements de fenêtres, par exemple, ne relèvent souvent pas du code de la construction et ces travaux sont souvent des remplacements à l'identique avec des améliorations potentielles de la performance thermique en termes d'isolation ou de sélection des fenêtres.

Les défis typiques qui se posent lors des rénovations REEEP peuvent résulter de la capacité structurelle préexistante, des niveaux d'isolation, de l'absence de contrôle de l'air, de la vapeur ou de l'eau, des exigences d'accessibilité, de la protection contre l'incendie et des moyens d'évacuation, parmi d'autres surprises souvent rencontrées dans les bâtiments anciens.

Cela dit, il est prudent que la conception des rénovations majeure respecte l'intention du code du bâtiment en vigueur, en particulier en ce qui concerne la sécurité des personnes, l'accessibilité, la protection contre l'incendie et les principes de la science du bâtiment pour le type de travaux entrepris dans le cadre d'un projet REEEP. Le code du bâtiment en vigueur doit être respecté le plus fidèlement possible pour tous les travaux de REEEP et sera probablement l'attente des professionnels agréés impliqués. Les écarts par rapport aux exigences minimales du code, dus aux conditions existantes, doivent être soigneusement pris en compte lors de la phase de conception.

Les éléments spécifiques du code du bâtiment à évaluer lors de la conception d'un projet REEEP sont les suivants :

- La nécessité d'une barrière d'air ;
- Contrôle de la condensation, position des matériaux à faible perméance et potentiel de séchage vers l'extérieur ;
- Valeurs R minimales (bien que les rénovations par panneaux dépassent probablement les exigences minimales) ;
- La nécessité d'une ventilation mécanique ;
- Si l'on peut utiliser une ossature en bois combustible et de la mousse plastique ;
- Autres considérations de sécurité, y compris les déversements de combustion des équipements à aspiration naturelle.

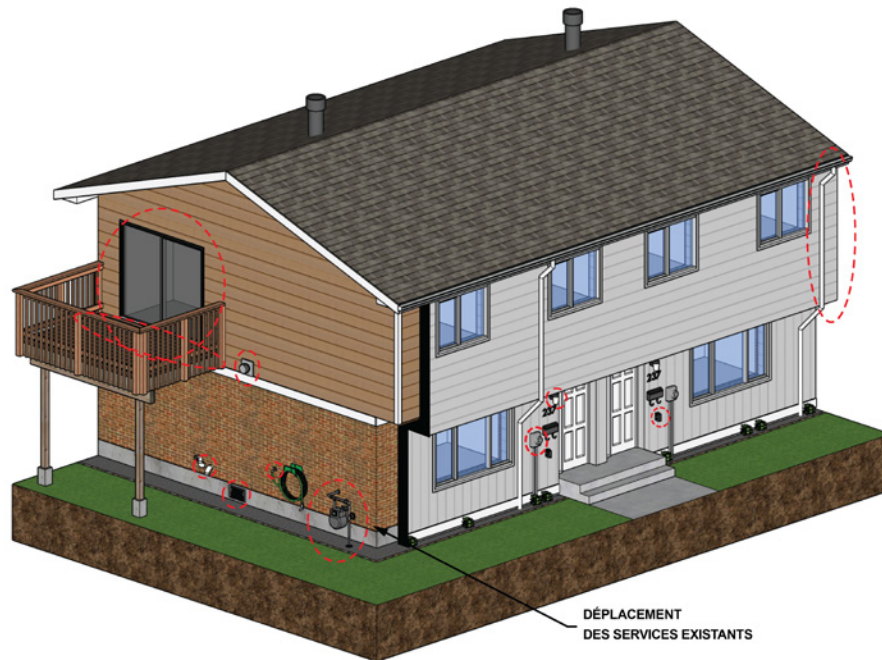
L'Autorité compétente (AC) *peut* exiger que le code du bâtiment en vigueur soit respecté pour :

- Structure ;
- Enceinte (chaleur, air, humidité) ;
- Considérations relatives à la combustibilité et à la séparation des feux ;
- Sortie, fenêtres, portes, accessibilité et autres éléments de sécurité ;
- Déplacement des compteurs de gaz existants, des panneaux électriques, des gicleurs, etc ;
- Les marges de recul (code incendie et zonage) sont affectées par l'empiètement des panneaux ;
- Restrictions de hauteur.

Pour les projets en Ontario, la partie 11 du Code du bâtiment de l'Ontario (CBO) offre quelques alternatives de conformité assouplies spécifiques aux rénovations ou aux modifications de bâtiments existants. Si le projet se situe en Ontario, il convient de procéder à une évaluation du code et d'évaluer l'applicabilité de la partie 11 du CBO.

Pour les projets au Québec, la partie 10 du Code de construction du Québec (CCQ) offre des alternatives de conformité plus souples pour les rénovations ou les modifications de bâtiments existants. Si le projet se situe au Québec, il convient de procéder à une évaluation du code et d'évaluer l'applicabilité de la partie 10 du CCQ.

Les codes de construction existants sont en cours d'élaboration au niveau national, dans certaines provinces et municipalités. L'AC doit toujours être consultée au début du projet pour connaître les exigences minimales du code du bâtiment que le projet REEEP devra respecter.



**Figure 3-2** : La rénovation de l'extérieur à l'aide de panneaux se traduira par des murs extérieurs plus épais qui nécessiteront le déplacement des services, indiqués ici en rouge. Le bardage brun et la brique à gauche montrent le profil de la maison existante, tandis que le bardage gris à droite fait partie de la nouvelle rénovation REEEP.

### 3.8.2 Construction combustible ou non combustible

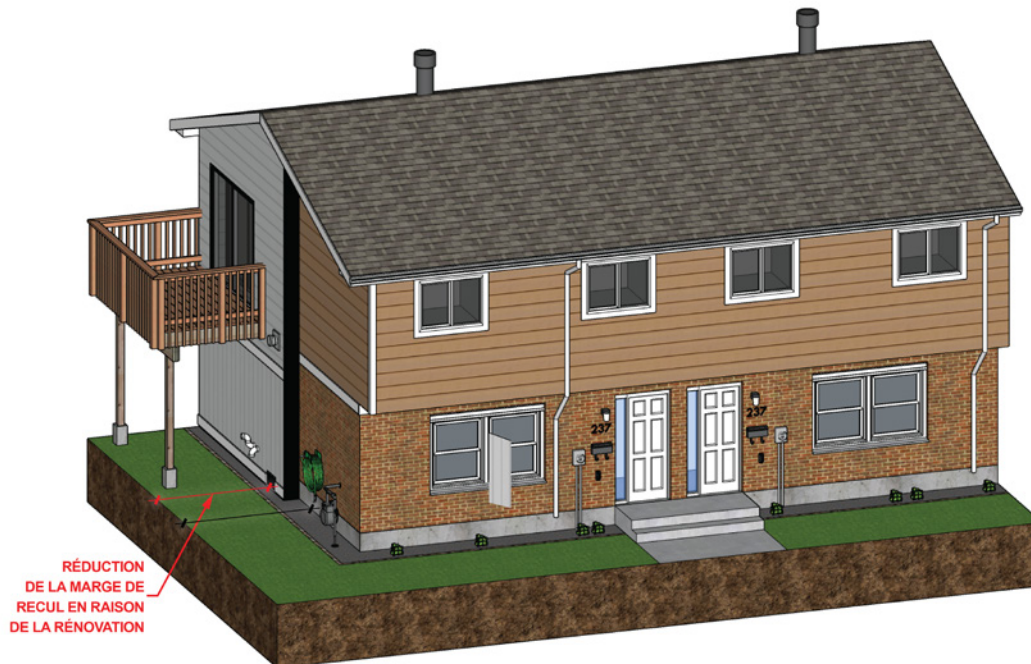
Le CNB prévoit des exigences en matière de séparation spatiale afin de réduire la probabilité de propagation du feu entre les bâtiments aux sous-sections 9.10.14 et 9.10.15. La probabilité de propagation du feu peut être réduite par les méthodes suivantes :

- Limiter la proximité d'un bâtiment par rapport à la limite de propriété (distance limitative) ;
- Limiter la surface des ouvertures, telles que les fenêtres et les portes, par lesquelles les flammes et le rayonnement peuvent affecter les bâtiments voisins (ouvertures non protégées) ;
- Concevoir des assemblages de murs extérieurs pour répondre à un classement de réaction et de résistance au feu requis ;
- Incorporer des gicleurs ; et
- Concevoir les espaces intérieurs comme des compartiments coupe-feu.

La distance limitative (DL) est un concept utilisé pour établir une séparation spatiale et désigne la distance entre la façade d'un bâtiment exposant et une limite de propriété, l'axe d'une rue ou une ligne imaginaire entre deux bâtiments ou compartiments coupe-feu sur la même propriété, mesurée à angle droit par rapport à la façade du bâtiment exposant. Les projets REEEP réduiront la distance limitative, ce qui peut avoir une incidence importante sur la conception des panneaux, voire sur la faisabilité de l'utilisation de l'approche REEEP.

On entend par façade exposée (EBF) la partie du mur extérieur d'un bâtiment orientée dans une direction et située entre le niveau du sol et le plafond de l'étage supérieur.

Le Classement de réaction et résistance au feu (FRR) désigne le temps en minutes ou en heures pendant lequel un matériau ou un assemblage résiste au passage des flammes et à la transmission de la chaleur lorsqu'il est exposé au feu. La condition standard d'exposition au feu suit la courbe temps-température standard indiquée dans la norme CAN/ULC-S101, « Méthodes normalisées d'essais de résistance au feu des constructions et des matériaux de construction ».



**Figure 3-3** : La rénovation d'un mur extérieur en panneaux se traduira par des murs extérieurs plus épais. Cela peut avoir une incidence sur les marges de recul minimales.

Ouverture non protégée (UPO) (appliquée à une façade exposée) : une porte, une fenêtre ou une ouverture, autre que celle équipée d'une fermeture ayant le degré de protection contre l'incendie (RPI) requis, ou toute partie du mur faisant partie de la façade exposée qui a un RPI inférieur à celui requis pour la façade exposée.

Une fois que la distance limitative et la surface d'une façade exposée sont déterminées, la proportion ou le pourcentage (%) d'ouvertures vitrées autorisées (maisons) ou d'ouvertures non protégées (autres que des maisons) peut être déterminé et les exigences de construction décrites dans le tableau 6 peuvent servir de ligne directrice générale. Il est toujours nécessaire de consulter le code en vigueur et l'Autorité compétente (AC) pour connaître les exigences spécifiques.

Le tableau 3-2 s'applique aux maisons de la partie 9 ne comportant aucun logement au-dessus d'un autre logement (c.-à-d. maisons individuelles, jumelées ou en rangée). Ce tableau s'applique également aux maisons comportant un logement secondaire.



**Note :** Un logement secondaire est un logement autonome dans une maison, où les deux logements constituent une seule entité immobilière (c'est-à-dire sous une seule propriété). Le logement secondaire ou l'appartement accessoire doit également répondre à d'autres exigences normatives du CNB.

Le tableau 3-3 s'applique aux bâtiments résidentiels de la partie 9, autres que les maisons.

**Tableau 3-2 :** Exigences de combustibilité pour les assemblages de murs extérieurs rénovés en vertu de la partie 9 du CNB

Enjeu	Facteurs limitants	Bardage, Isolation, Construction, Classement de réaction et de résistance au feu (FRR)
Construction des murs extérieurs en fonction de la distance entre le mur et la limite de propriété d'une propriété adjacente (DL)	< 600 mm de la limite de propriété	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revêtement incombustible.</li> <li>• Tous les types d'isolation.</li> <li>• Construction combustible.</li> <li>• FRR de 45 minutes pour l'assemblage des murs.</li> <li>• Aucune ouverture vitrée n'est autorisée.</li> </ul>
	600 à < 1200 mm	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revêtement combustible.</li> <li>• Tous les types d'isolation.</li> <li>• Construction combustible.</li> <li>• FRR de 45 minutes pour l'assemblage des murs.</li> <li>• Aucune ouverture vitrée n'est autorisée.</li> </ul>
	1200 mm et plus	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revêtement combustible.</li> <li>• Tous les types d'isolation.</li> <li>• Construction combustible.</li> <li>• Pas de FRR pour l'assemblage mural.</li> <li>• % d'ouvertures vitrées autorisées en fonction de la surface du mur et de la distance limitative.</li> </ul>
Protection de l'isolation en plastique expansé	Protection intérieure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 12,7 mm Plaque de plâtre à l'intérieur du mur</li> </ul>
	Protection extérieure	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aucun requis</li> </ul>

**Note :** La protection intérieure pour l'isolation en mousse plastique suppose une finition intérieure standard des murs de la maison. D'autres finitions intérieures sont possibles.

**Tableau 3-3** : Exigences de combustibilité pour les assemblages de murs extérieurs rénovés sous CNB-Partie 9 – Autres que les maisons

Enjeu	Facteurs limitants	Bardage, Isolation, Construction, Classement de réaction et de résistance au feu (FRR)
Exigences minimales pour la construction des murs extérieurs en fonction du pourcentage d'ouvertures non protégées autorisées	Jusqu'à 10 % d'UPO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revêtement incombustible.</li> <li>• Uniquement de l'isolant incombustible (pas de mousse).</li> <li>• Construction incombustible (pas d'ossature en bois).</li> <li>• FRR d'une heure pour l'assemblage des murs.</li> </ul>
	>10 à 25 % UPO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revêtement incombustible.</li> <li>• Tous les types d'isolation.</li> <li>• Construction combustible.</li> <li>• FRR d'une heure pour l'assemblage des murs.</li> </ul>
	>25 à 50 % UPO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revêtement incombustible.</li> <li>• Tous les types d'isolation.</li> <li>• Construction combustible.</li> <li>• FRR de 45 minutes pour l'assemblage des murs.</li> </ul>
	>50 à <100 % UPO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revêtement combustible.</li> <li>• Tous les types d'isolation.</li> <li>• Construction combustible.</li> <li>• FRR de 45 minutes pour l'assemblage des murs.</li> </ul>
	100 % UPO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revêtement combustible.</li> <li>• Tous les types d'isolation.</li> <li>• Construction combustible.</li> <li>• Pas de FRR pour l'assemblage mural</li> </ul>
Protection de l'isolation en plastique expansé	Protection intérieure	• Plaque de plâtre de 12,7 mm à l'intérieur du mur.
	Protection extérieure	• Aucune n'est requise.

### 3.8.3 Permis de construire

Chaque projet REEEP sera probablement unique et nécessitera un permis de construire de la part de l'AC locale. Les concepteurs doivent donc impliquer l'AC dans la planification de la rénovation le plus tôt possible et se renseigner sur les exigences spécifiques de leur juridiction. Les discussions doivent de préférence avoir lieu au stade de la conception avant l'élaboration des plans détaillés. Cela peut permettre d'identifier les décisions à prendre ou à ne pas prendre concernant les marges de recul en matière de zonage, la séparation spatiale, l'accès, la protection contre les incendies, les améliorations structurelles, etc.

Les assemblages extérieurs en panneaux ne sont pas explicitement considérés comme des solutions acceptables dans le cadre de la partie 9 du code du bâtiment. Il peut donc être nécessaire de faire appel à un ingénieur pour évaluer les assemblages et éventuellement réaliser une analyse structurelle complète du bâtiment existant. Pour les bâtiments relevant de la partie 4 du code du bâtiment, un ingénieur structurel professionnel doit être impliqué pour évaluer la conception (en particulier les dispositions relatives à la résistance aux charges latérales dans le cadre des codes actuels et anciens). Lorsque l'AC ou l'ingénieur en structure l'exige, il est essentiel de planifier et de budgétiser la conception et la modification de la structure dès le début du processus.

Les panneaux préfabriqués peuvent également poser des problèmes supplémentaires pour les inspections de l'AC, car de nombreux modèles arrivent sur le site avec des composants cachés qui ne peuvent plus être inspectés par l'inspecteur. Le fait de spécifier des fabricants qui répondent aux normes et aux certifications des installations pour la production de panneaux préfabriqués (par exemple, la norme CSA A277 Procédure de certification des bâtiments, modules et panneaux préfabriqués) peut aider à résoudre ces problèmes. Bien que les normes d'installation telles que la norme CSA A277 ne soient pas particulièrement courantes, les réglementations semblent s'orienter dans cette direction. Par ailleurs, l'AC pourrait également être invité à examiner la fabrication des panneaux dans l'usine avant leur livraison sur le site, afin de se familiariser avec les aspects qu'il examinerait habituellement sur place.

Dans certains quartiers, un permis d'aménagement (c'est-à-dire une consultation de quartier, une évaluation de l'urbanisme, etc.) peut être nécessaire si l'on modifie le caractère de l'habitation.

Notez que les codes du bâtiment, les permis de construire et éventuellement les permis d'aménagement peuvent également imposer des exigences différentes lorsque des travaux d'agrandissement de la maison sont effectués en même temps.

## 3.9 Considérations relatives à la conception des murs existants

Les panneaux préfabriqués sont destinés à être installés sur le mur existant, soit en enlevant le revêtement, soit en le laissant en place, et en enlevant les fenêtres existantes et leurs garnitures intérieures. Avant de discuter des travaux de préparation nécessaires avant la conception, il est important d'avoir une compréhension générale de la façon dont les panneaux peuvent être fixés au bâtiment et de leur interface avec les assemblages adjacents/adjoins.

### 3.9.1 Attachement structurel

Les panneaux sont fixés mécaniquement à la base des murs au-dessus du niveau du sol, à la ligne de plancher de l'étage suivant et à la ligne de toiture. La section suivante décrit cette fixation pour les bâtiments existants en bois léger à plateforme. Dans les applications non structurelles typiques, ces points de fixation devront être conçus pour supporter le poids des panneaux. Pour les applications de rénovation sismique destinées à renforcer la structure de la maison, un ingénieur en structure devra être consulté (cela sort du cadre de ce guide).

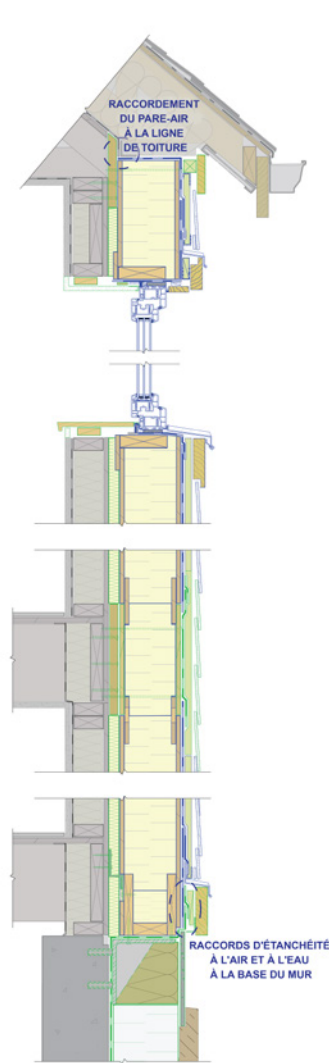
Comme le montre la figure 3-5, les zones de fixation de la structure doivent être exposées et évaluées au cours de l'élaboration du projet (vous trouverez plus de détails sur l'évaluation de votre bâtiment existant dans la section suivante). Ces zones comprennent la base du mur, les solives de rive et la sablière à la ligne de toiture, où la structure sera généralement raccordée à la structure existante pour le soutien latéral et éventuellement le transfert des charges par gravité. En règle générale, les planches de rive installées sur le terrain assurent la fixation structurelle entre l'ossature existante et les panneaux.

Les fenêtres et les portes seront remplacées par les nouvelles installées dans le panneau, de sorte que l'ossature structurelle autour de ces éléments peut et doit être exposée et évaluée. Si la structure environnante est endommagée par l'humidité, il convient d'identifier la source de l'humidité et de prendre des mesures pour y remédier avant ou pendant la rénovation. Cela s'applique à l'ensemble de l'enveloppe du bâtiment, mais les fenêtres et les portes sont des sources fréquentes de fuites et leur remplacement selon des méthodes d'installation modernes permet le plus souvent de résoudre le problème.

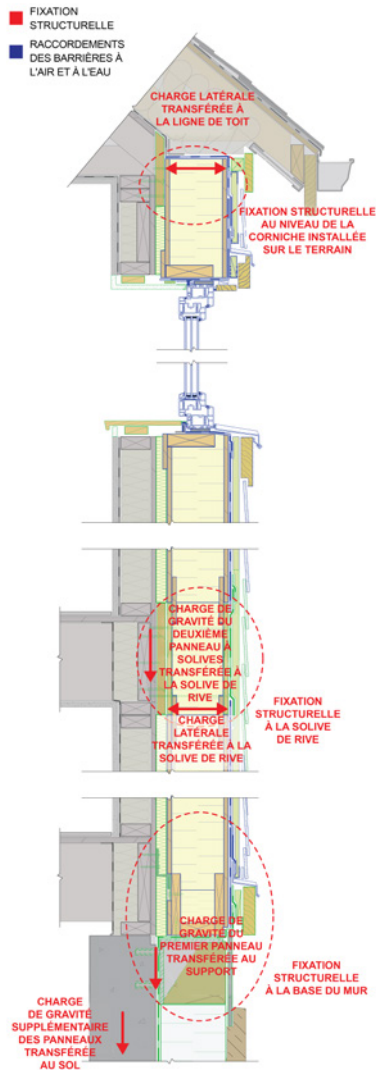
Si des travaux de réhabilitation structurelle sont nécessaires, il est préférable de les identifier et de les planifier dès le début de la phase de conception. Si cela n'est pas possible, il convient d'inclure dans le budget de construction des provisions pour la réparation de la pourriture du bois et l'élimination des champignons.

Les panneaux qui ne sont pas destinés à la rénovation sismique (qui ne sont pas destinés à renforcer latéralement la structure du bâtiment existant) sont généralement soutenus structurellement (pour les charges gravitaires ou latérales) par l'ensemble des murs existants à plusieurs endroits :

- Au pied du mur ;
- Au niveau des solives de rive de chaque étage ;
- Au niveau des plaques supérieures des murs, et éventuellement de la charpente du toit.



**Figure 3-4** : Emplacements typiques des fixations structurelles et des raccords du pare-air



**Figure 3-5** : Charge structurelle typique sur l'assemblage existant.

La figure 3-5 illustre le transfert de charge fondamental d'un panneau typique (non sismique) sur un vieux mur aux emplacements de support énumérés précédemment. La conception de la rénovation doit prendre en compte les charges suivantes sur la structure existante :

- Charges latérales causées par le vent et l'activité sismique ;
- Le poids des panneaux (charge de gravité) ;
- Tout transfert de charges vives ou de charges de gravité à partir de la structure existante ;
- Mouvement d'humidité dû à des modifications de la structure existante ou nouvelle après l'installation des panneaux ;
- Dilatation et contraction thermiques.

L'ingénierie structurelle sera le plus souvent requise pour des conditions de projet spécifiques. Les graphiques fournis ont pour but de donner un aperçu des conditions typiques à prendre en compte à un stade précoce de la conception.

### 3.9.2 Assemblages sous le niveau du sol

Les fondations peuvent être isolées à l'intérieur ou à l'extérieur. Les approches extérieures sont privilégiées en raison de leurs performances hygrothermiques, des perturbations limitées pour les occupants et de la possibilité qu'elles offrent de rénover les systèmes de drainage et d'imperméabilisation vieillissants. Les solutions spécifiques sortent toutefois du cadre de ce guide.

### 3.9.3 Assemblages de toits

Il convient d'envisager d'améliorer la performance thermique des toitures en adoptant les approches suivantes :

1. **Maintenir la toiture existante** : Conserver la ligne de toit existante, ajouter de l'isolation dans le grenier, installer des panneaux muraux de rénovation directement sous le soffite existant (ce qui pourrait être un défi pour l'installation des panneaux).

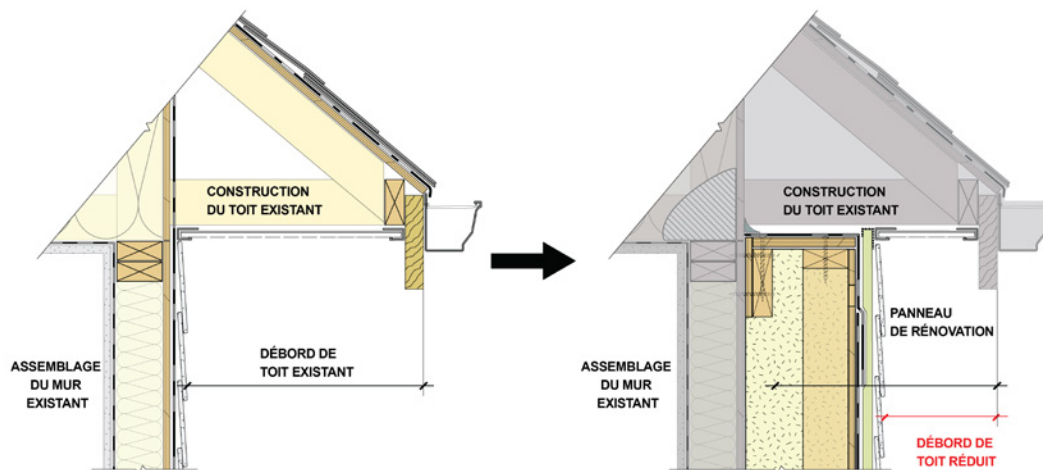
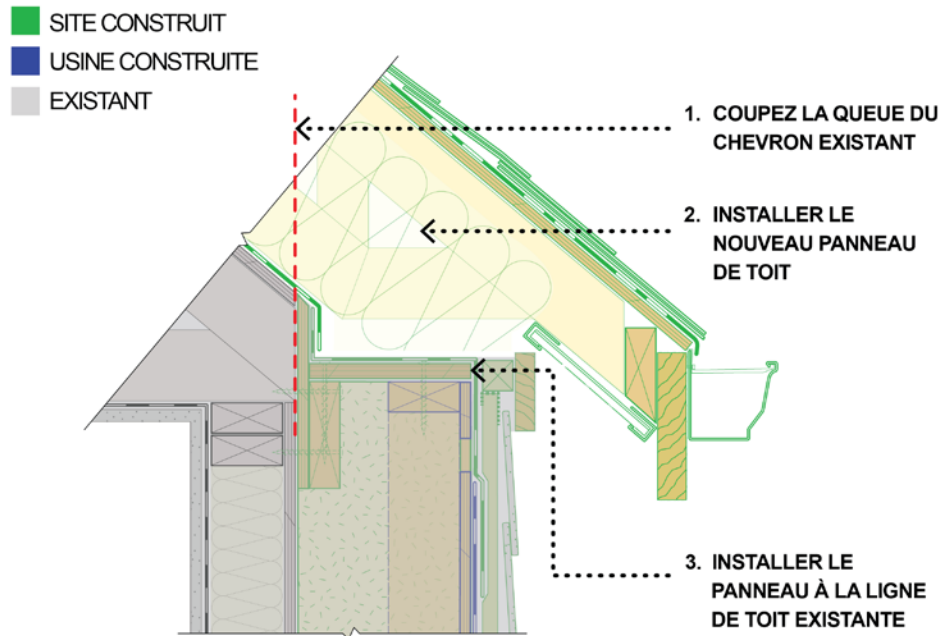


Figure 3-6 : Les porte-à-faux existants seront réduits après la rénovation des panneaux.

Les lignes de toit existantes peuvent être maintenues lorsque :

- Il y a suffisamment de hauteur dans le grenier pour ajouter une isolation supplémentaire (si nécessaire) ;
  - Les débords de toit sont suffisamment profonds pour s'adapter à l'épaisseur des panneaux et continuer à respecter l'esthétique architecturale prévue, à protéger la façade et à fournir une surface de soffite suffisamment dégagée pour les combles ventilés ;
  - La connexion structurelle à la plaque supérieure est accessible sans qu'il soit nécessaire de modifier la ligne de toit;
2. **Rénovation à la tronçonneuse** : Coupez les queues des chevrons et des fermes de toit, installez des panneaux isolés sur le toit existant.



**Figure 3-7** : « La rénovation à la tronçonneuse » permet de couper l'avant-toit au ras du mur. Cela permet un contrôle continu de l'eau, de l'air et de la chaleur. Les débords peuvent être appliqués ou conçus dans la nouvelle structure du toit.

Les détails concernant les toits ne sont pas abordés dans cette version du guide.

### 3.9.4 Isolation existante, étanchéité à l'air et contrôle de la vapeur d'eau

**Isolation existante** : Identifiez les endroits existants présentant de faibles niveaux d'isolation (par exemple, l'intersection entre le toit et le mur, les murs de démolition des combles). Le concepteur peut avoir besoin de ces informations pour évaluer le risque hygrothermique après la rénovation à ces endroits spécifiques.

**Étanchéité à l'air et contrôle de la vapeur** : Une rénovation en panneaux peut réduire la capacité d'un système mural à sécher (son potentiel de séchage par diffusion de vapeur) et peut donc introduire un risque supplémentaire de condensation et d'accumulation d'humidité dans l'ensemble de la rénovation dans des circonstances spécifiques.

Ce risque doit être soigneusement évalué et pris en compte lors de la sélection d'un modèle de panneau, en particulier dans les circonstances suivantes :

- Il existe des fuites d'air qui ne peuvent pas ou ne seront pas résolues par la rénovation. L'étanchéité à l'air globale du bâtiment affectera le risque relatif associé à une rénovation extérieure. Les fuites d'air se produisent généralement à des endroits courants tels que les murs mitoyens, les faux plafonds et les pénétrations dans l'enceinte du bâtiment/la barrière d'étanchéité à l'air ;
- La rénovation par panneaux sera installée sur le revêtement existant, qui peut absorber et retenir l'humidité (par exemple, le placage de briques) ;
- Le mur existant comporte un ou plusieurs matériaux peu perméables ou un pare-vapeur (par exemple, un pare-vapeur en polyéthylène) qui peuvent limiter le potentiel de séchage vers l'intérieur.

Dans des circonstances similaires à celles décrites ci-dessus, il est préférable d'opter pour un panneau ayant un potentiel de séchage plus élevé. Les options de conception des panneaux et leurs facteurs de différenciation respectifs, y compris le potentiel de séchage, sont examinés au chapitre 6.

## 3.10 Évaluation du bâtiment avant la conception des panneaux

### 3.10.1 Évaluation structurelle

La première étape d'une rénovation par panneaux peut consister à engager un professionnel pour effectuer une évaluation structurelle ou géotechnique des fondations existantes afin de déterminer si la charge supplémentaire imposée par les panneaux peut être supportée. Si les fondations existantes ne sont pas adéquates, les améliorations nécessaires peuvent entraîner des dépenses considérables pour le projet.

### 3.10.2 Évaluation énergétique

Un conseiller en efficacité énergétique (CEE) peut procéder à une évaluation de la performance énergétique du bâtiment existant et modéliser des scénarios de rénovation. Cela permettra d'établir l'analyse de rentabilité, les objectifs énergétiques et les valeurs R minimales de l'assemblage.

### 3.10.3 Évaluation de l'état des bâtiments et des installations et plans de rénovation

Il est recommandé de faire appel à un professionnel de la construction pour effectuer l'évaluation de l'enveloppe du bâtiment existant. Il peut s'agir d'un entrepreneur, d'un inspecteur en bâtiment ou d'un bureau d'études, à condition qu'ils aient une connaissance approfondie des principes de la science du bâtiment. Si le propriétaire souhaite évaluer lui-même son bâtiment, il doit être conscient qu'il accepte les risques associés à toute évaluation incorrecte et qu'il peut en résulter des dépenses supplémentaires par la suite.

Une évaluation du bâtiment doit être effectuée pour plusieurs raisons, dont les suivantes :

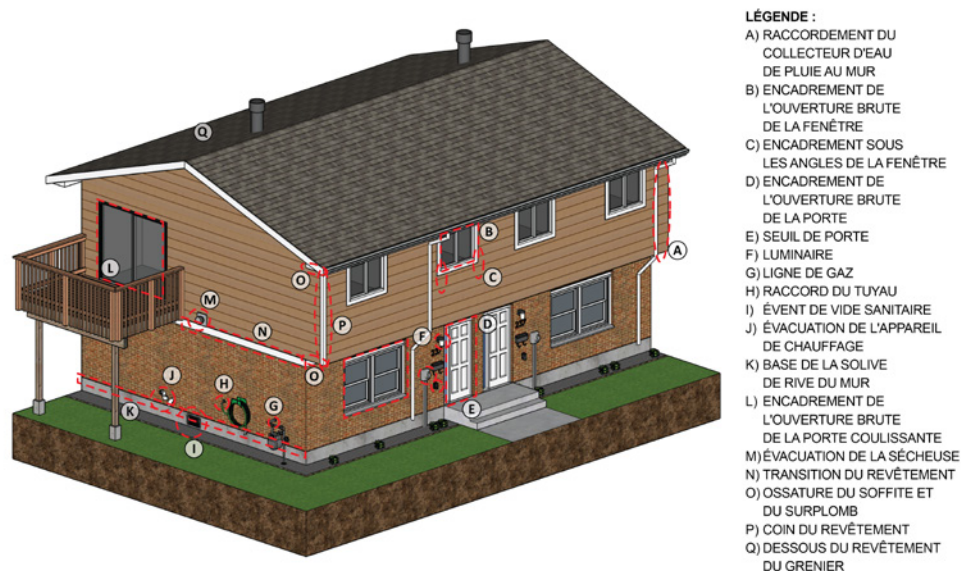
- Informer la conception du panneau et les détails nécessaires. Il est essentiel de bien comprendre l'ensemble existant. Il s'agit notamment de comprendre les conditions existantes et la durée de vie des composants de l'enveloppe du bâtiment et de décider ce qui doit être conservé ou remplacé ;
- Sur la base de cette évaluation, un **Coût total de possession d'un bâtiment** peut être développé pour comparer les coûts à long terme associés à l'entretien de l'enceinte existante par rapport à une enceinte rénovée. L'analyse du **Coût total de possession d'un bâtiment** comprend tous les coûts quantifiables d'énergie, de maintenance et de renouvellement liés à la possession et à l'exploitation du bâtiment pendant une période donnée. Compte tenu de la longue durée de vie de la plupart des composants de l'enceinte, il est utile d'effectuer cette analyse sur une période de 30 ou même 50 ans. Nous vous recommandons d'effectuer ces comparaisons de coûts à long terme dès le début du projet afin de mieux évaluer les périodes d'amortissement de la rénovation énergétique. Les avantages supplémentaires tels que la santé, le confort et la résilience sont plus difficiles à prendre en compte, mais doivent être considérés ;
- Les considérations structurelles, qui consistent notamment à déterminer si la structure existante doit être réparée ou améliorée de quelque manière que ce soit ;
- Une évaluation précoce permet d'éclairer les choix de rénovation et d'éviter des surprises plus tard dans la construction, qui pourraient s'avérer coûteuses à résoudre. L'évaluation peut influencer la décision de procéder ou non à ce type de rénovation.



Vous trouverez ci-dessous quelques conseils pour réaliser/gérer l'évaluation :

- Prenez de nombreuses photos ;
- Marquez ce qui doit être conservé ou enlevé en fonction de l'état ou de la conception des panneaux. En règle générale, l'enlèvement du revêtement facilite l'installation des panneaux et permet d'inspecter le revêtement et l'ossature. Les matériaux de revêtement qui ont tendance à être plus faciles à enlever sont le bois, le vinyle, le métal et le fibrociment. Les matériaux de revêtement qu'il est plus facile de conserver sont la pierre, la brique et le stuc ;
- Identifiez les compteurs de gaz, les services électriques, les lumières extérieures, les prises de courant, les robinets d'arrosage, etc. qui seraient autrement dissimulés par les nouveaux panneaux ;
- Les chemins de charge structurels et les assemblages doivent également être identifiés et compris ;
- Les sous-sols et les vides sanitaires doivent être inspectés pour détecter les signes d'intrusion d'eau et de tassement du bâtiment ;
- Des ouvertures exploratoires doivent être pratiquées dans les endroits à haut risque où la détérioration est la plus probable. Par exemple, des ouvertures doivent être pratiquées dans les zones murales situées sous les fenêtres et au niveau des appuis des fondations afin d'évaluer l'état de l'ossature sous-jacente, en particulier aux endroits où des fixations structurelles pourraient être effectuées. La figure 3-8 ci-dessous donne quelques exemples d'endroits où l'humidité et les insectes ont causé des dégâts.

Notez qu'une analyse sur les matières dangereuses doit être réalisée avant d'effectuer des travaux d'ouverture exploratoire. Les propriétaires de bâtiments doivent être conscients des risques liés à la présence de substances dangereuses telles que l'amiante, la peinture au plomb, les moisissures, etc. Pour plus d'informations, contactez l'autorité locale chargée de la santé et de la sécurité des travailleurs pour connaître les directives locales relatives à la manipulation des matériaux dangereux.



**Figure 3-8 :** Emplacements typiques des dégâts causés par l'humidité et les insectes dans la structure du bâtiment.

Une fois terminée, l'évaluation de l'état doit permettre d'identifier :

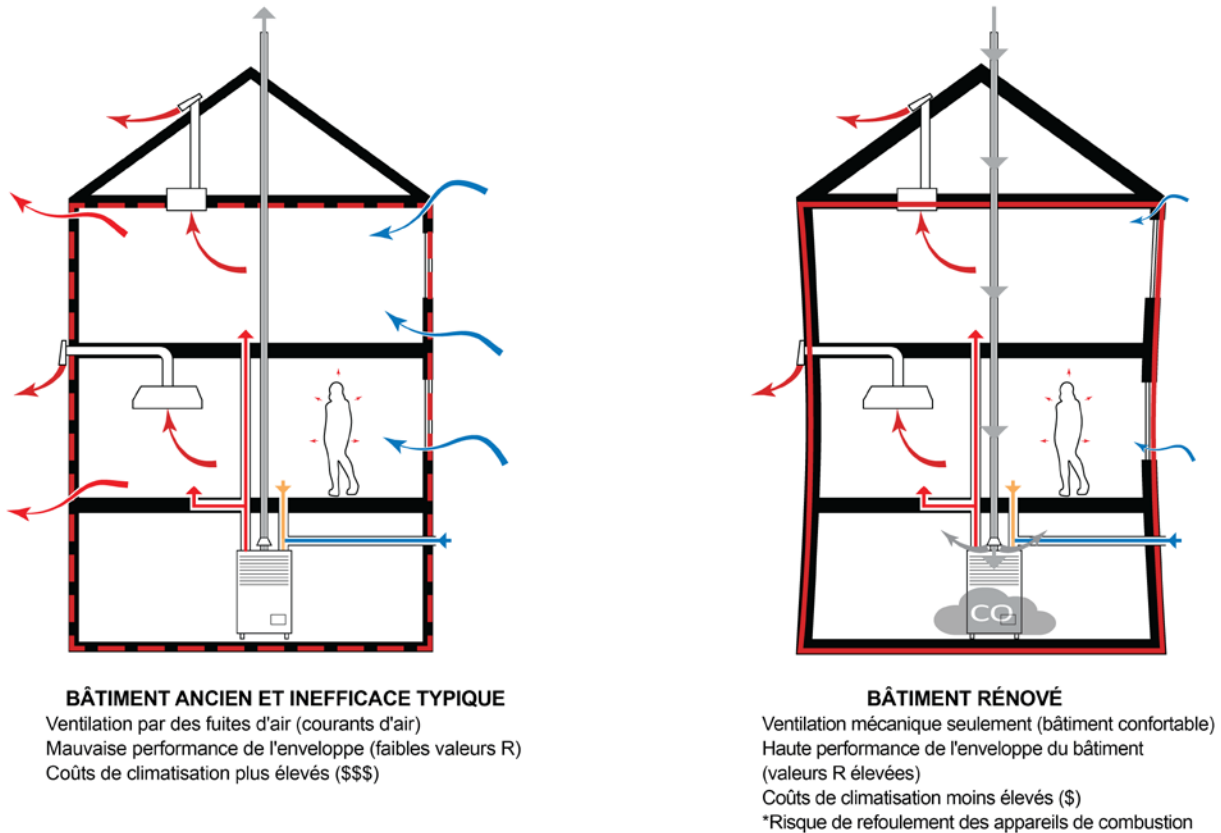
- Âge et état du bâtiment,
- Coût de possession en l'état (sans aucune modification),
- Déficit de maintenance. Quels travaux sont nécessaires, quand et à quel prix ?
- Évaluation structurelle (le bâtiment peut-il supporter une rénovation) ?
- Définissez la durée de vie utile du bâtiment.
- Indice d'état des installations : L'indice d'état des installations est le rapport entre le coût de renouvellement et la valeur de remplacement actuelle.
- Pour chaque élément majeur du bâtiment :
  - Coût de remplacement.
  - La durée de vie restante.
  - Commentaires sur l'état.
  - Photographies de chaque composant.

Vous trouverez de plus amples informations sur la réalisation d'une évaluation de l'état d'un bâtiment dans la norme ASTM E2018-15 Standard-Property Condition Assessments [18].

## 3.11 Évaluer les améliorations mécaniques potentielles avant la conception des panneaux

### 3.11.1 Chauffage, ventilation et climatisation (CVC)

Les bâtiments sont des systèmes qui impliquent des interactions complexes entre les éléments de construction, les occupants et l'environnement. Les modifications apportées à l'un des éléments d'un bâtiment doivent être envisagées de manière globale et les ramifications pour les autres éléments du bâtiment doivent être comprises et planifiées. Dans le cadre des projets de rénovation de panneaux, il est important de prendre en compte les interactions entre l'enveloppe du bâtiment et les systèmes mécaniques de Chauffage, ventilation et climatisation (CVC). Par exemple, la modernisation de l'enveloppe devrait améliorer l'étanchéité à l'air du bâtiment ; par conséquent, les exigences en matière de ventilation mécanique devront être évaluées, et un système de ventilation devra éventuellement être ajouté ou modernisé. Les codes du bâtiment en vigueur doivent être respectés à cet égard. Idéalement, le système de ventilation pourrait être relié aux systèmes CVC à air pulsé existants ou modernisés. Envisagez un système de ventilation équilibré avec récupération de chaleur ou d'énergie (VRC/VRE) pour obtenir les meilleures performances énergétiques. Le concepteur devra travailler comme systémique avec un entrepreneur en mécanique ou un ingénieur.



**Figure 3-9** : Lors de l'amélioration de l'étanchéité à l'air, il est recommandé d'utiliser un système de ventilation mécanique équilibré et d'éliminer les équipements à aspiration naturelle afin de réduire la dépressurisation et le risque de retour d'air des équipements de combustion.

Il est généralement recommandé de procéder à une mise à niveau complète de toutes les installations mécaniques dans le cadre d'une rénovation en profondeur (avec l'aide de vos conseillers en énergie et en mécanique), et ce pour plusieurs raisons :

- Des niveaux d'isolation plus élevés réduiront les charges CVC. Les systèmes doivent être correctement dimensionnés pour une performance optimale, une déshumidification et pour éviter les cycles courts et les pannes prématurées.
- Les appareils à combustion naturelle doivent être remplacés car ils sont moins efficaces que les appareils à condensation ou électriques et peuvent être dangereux. Un refoulement d'air des appareils non scellés et une éventuelle émission de monoxyde de carbone peuvent résulter d'une rénovation sans apport adéquat d'air frais en raison de la dépressurisation du bâtiment provenant de diverses sources.
- Les cheminées (à bois, à gaz, etc.) doivent également être réévaluées, car elles peuvent être surdimensionnées par rapport à l'espace et, si elles sont à aspiration naturelle, elles peuvent également nécessiter un apport d'air d'appoint après des mesures d'étanchéité à l'air.
- L'ajout de nouveaux matériaux d'isolation et d'étanchéité pour rendre une maison étanche à l'air peut réduire la qualité de l'air intérieur si les produits spécifiés contiennent des produits chimiques nocifs tels que des composés organiques volatils (COV). Ces produits chimiques doivent être gérés de manière appropriée en spécifiant des matériaux à faible teneur en COV et/ou par l'encapsulation et une ventilation adéquate.
- Il faut envisager de remplacer les équipements mécaniques en même temps que les travaux de rénovation. L'installation de VRC (ou de VRE) plus tard, dans le cadre d'un projet distinct, sera considérablement plus compliquée et plus coûteuse. Il y aura deux traversées de mur à réaliser et à sceller. Au fur et à mesure que les anciens services seront enlevés, il sera nécessaire de sceller et de rapiécer les nouvelles finitions.

Lorsque vous envisagez des améliorations mécaniques, réfléchissez d'abord à l'endroit où les systèmes existants sont actuellement installés ou montés. Tout équipement installé près de l'extérieur de la maison ou monté sur l'extérieur devra être déplacé :

- Si vous installez un nouvel équipement CVC avec une unité extérieure (comme une pompe à chaleur), vous devez tenir compte de l'ordre d'installation du panneau et de l'équipement pour faciliter l'installation du panneau. Si l'unité extérieure est destinée à être surélevée par rapport au sol pour éviter la neige, il ne sera peut-être pas possible de la suspendre au panneau mural.
- Les conduits muraux existants dédiés aux ventilateurs d'extraction doivent tous être prolongés, de nouvelles hottes doivent être ajoutées et positionnées correctement à l'écart des fenêtres et des prises d'air. Il est souvent plus facile d'effectuer ce type de travaux sur le terrain que d'essayer de localiser les trous pour les services de ce type dans le panneau construit en usine. L'équipe sur le terrain devra sceller ces pénétrations à l'air.
- Un système de ventilation équilibré (VRC ou VRE) est fortement recommandé. Là encore, il peut être préférable de réaliser les pénétrations d'alimentation et d'évacuation sur place plutôt qu'en usine, afin de faciliter l'installation des panneaux et du réseau de gaines.
- Lorsque la distribution de la ventilation doit être ajoutée, les services tels que les conduits, l'électricité et la plomberie peuvent éventuellement être acheminés à travers une cavité de service entre le mur existant et la rénovation. Toutefois, il faut se demander si ces services seront accessibles à l'avenir ou comment ils le seront. Il faut envisager de placer ces services dans des endroits relativement accessibles, tels que les joints de panneaux, où ils peuvent être accessibles de l'extérieur.
- Les services peuvent également être intégrés aux panneaux en usine par l'intermédiaire d'un conduit étanche à l'air. Certains fabricants de panneaux innovants utilisent à cet effet des coffrages ronds en carton.

### 3.11.2 Services

Une rénovation par panneaux entraînera des modifications des dimensions extérieures d'un bâtiment ; par conséquent, l'équipe de conception devra déterminer quels services existants seront conservés et s'ils devront être prolongés ou déplacés pour permettre l'installation des panneaux extérieurs. Voici quelques exemples de considérations courantes :

- Les compteurs électriques devront peut-être être déplacés.
- Si le service de gaz est maintenu, il peut être nécessaire de déplacer les compteurs et les conduites.

Pour le projet pilote du REEEP de LCO, les raccordements au gaz ont été mis hors service car le bâtiment rénové était entièrement électrifié. De nouveaux compteurs électriques, des sectionneurs et des onduleurs solaires ont été installés à l'avance et placés sur des piliers suffisamment éloignés du bâtiment pour accueillir les panneaux. Les services électriques sont entrés dans les sous-sols sous le niveau du sol.



**Figure 3-10** : L'infrastructure électrique du Logement communautaire d'Ottawa est montée sur des racks ancrés à des piliers suffisamment éloignés du bâtiment pour permettre l'installation de panneaux à l'arrière.

### 3.12 Préparation du bâtiment

L'un des principes directeurs de l'approche REEEP est d'éliminer les travaux de chantier inutiles par rapport à une rénovation conventionnelle. Traditionnellement, le bardage et les garnitures extérieures sont enlevés avant la rénovation extérieure. Cela permet d'inspecter et de réparer tout revêtement endommagé. Cela permet également de savoir s'il y a eu des défauts de contrôle de l'eau et si d'autres mesures correctives sont nécessaires.

Cependant, la démolition est une activité à forte intensité de main-d'œuvre qui nécessite l'élimination de déchets lourds. Bien qu'il soit possible de les détourner, de les récupérer ou de les recycler, la plupart des déchets de démolition canadiens (environ 88 %) finissent actuellement dans des décharges [19]. Une partie de ces déchets est incinérée pour être transformée en énergie. Les matériaux de construction dégradables tels que le bois, s'ils sont laissés sur place, se décomposent et peuvent émettre des émissions de méthane, un puissant gaz à effet de serre. Dans une économie circulaire idéale, ces matériaux seraient récupérés, mais à l'heure actuelle, pour réduire les émissions et les coûts, il est impératif de les laisser sur place.

Laisser les finitions existantes intactes ajoutera du poids à l'ensemble de la structure. Une évaluation de la capacité portante de la structure (sol, fondations et murs) sera nécessaire si une charge importante doit être ajoutée. La performance sismique doit également être évaluée.

Les coûts typiques de démolition et d'élimination des bardages et des briques ont été estimés à 9,15 \$ et 48 \$/m<sup>2</sup>, respectivement en 2017 (0,85 \$/pi<sup>2</sup> et 4,48 \$/pi<sup>2</sup>) [20].

Dans le projet pilote LCO 2020, le parement en brique ainsi que les bardeaux d'asphalte ont été laissés intacts. Plusieurs unités de briques ont été découpées pour assurer des connexions structurelles adéquates entre les supports et les panneaux et le système de plancher existant. Les appuis de fenêtre et de porte en béton préfabriqué ont été coupés au ras de la brique. Les avant-toits ont également été coupés jusqu'à la sablière sur toute la périphérie du bâtiment. Le tablier du toit a également été coupé au niveau des murs de démolition afin de faciliter l'installation de nouveaux murs de démolition encadrés pour soutenir la toiture. Les auvents et les perrons ont également été enlevés.



**Figure 3-11** : Préparation d'un bâtiment pour une rénovation REEEP. Auvents, perrons, avant-toits enlevés, appuis de fenêtre coupés à ras, unités de briques enlevées pour réaliser les connexions structurelles.

Les porches, auvents, perrons, antennes paraboliques, boîtes aux lettres, luminaires muraux et autres appendices de ce type devront être enlevés. Une coordination avec le locataire peut être nécessaire si l'équipement est détenu ou loué par un locataire.

Une coordination avec la société de services publics concernée est nécessaire pour l'enlèvement des compteurs de gaz (et de la tuyauterie associée) ainsi que de l'installation électrique, des câbles et des conduits.

Les escaliers extérieurs et les balustrades devront peut-être être retirés du bâtiment. L'accès au sous-sol de chaque unité peut être nécessaire pour couper ou enlever les raccords qui pénètrent dans la fondation en maçonnerie et fixent les marches en béton au bâtiment.

## 4. LES OCCUPANTS DU BÂTIMENT

Ce qui rend les rénovations par panneaux attrayantes pour les fournisseurs de logements sociaux et les propriétaires d'immeubles locatifs, c'est en partie la promesse qu'elles peuvent être achevées avec les locataires en place. La majeure partie des travaux étant réalisée hors site, les perturbations sont considérablement réduites. Cela dit, un tel projet aura inévitablement un impact sur les locataires. Des efforts pour réduire cet impact et pour maintenir une communication claire tout au long du projet minimiseront les conflits et le stress pour les occupants du bâtiment et éviteront les malentendus qui font perdre du temps.

### 4.1 Bâtiments vacants ou occupés

Les projets nécessitant des travaux intérieurs importants (par exemple, élimination de l'amiante ou des moisissures, travaux structurels importants, etc. Les travaux de rénovation (réparation ou rénovation) sont probablement beaucoup plus simples et plus sûrs à réaliser dans un logement inoccupé. Cependant, pour rénover le parc au rythme requis pour atteindre les objectifs climatiques fédéraux, de nombreuses rénovations devront être réalisées avec les occupants en place.

Les mesures supplémentaires suivantes doivent être envisagées pour les bâtiments occupés :

- Définissez clairement les heures de début et de fin des travaux de construction.
- Maintenir l'accessibilité tout au long de la construction (plus facile à réaliser si les unités ont un accès à l'avant et à l'arrière).
- Protection aérienne contre la chute de débris pour les occupants accédant à leur domicile.

Des informations supplémentaires concernant les rénovations avec les occupants en place peuvent être trouvées dans *Building Envelope Rehabilitation: Consultant's Guide* [21].

### 4.2 Quels sont les avantages pour les occupants ?

Dans les logements subventionnés, les charges peuvent être incluses ou non dans le loyer. Dans certains cas, les programmes de subvention peuvent également compléter les coûts énergétiques des locataires. Les impacts financiers sont importants pour tout le monde, mais plus particulièrement pour ceux qui vivent dans des logements abordables et qui peuvent déjà être confrontés à une charge énergétique élevée. Les économies réalisées par les occupants peuvent être une incitation importante pour obtenir l'adhésion et la coopération au projet.

Les occupants peuvent également bénéficier d'autres avantages :

- Amélioration du confort (élimination des courants d'air, contrôle de l'humidité, réduction des bruits extérieurs).
- Amélioration de la qualité de l'air intérieur (lorsque la ventilation est assurée) et réduction de la poussière.
- Réduction du risque de moisissures.
- Amélioration de la résistance aux baisses de température ou aux hausses brutales pendant les coupures de courant.
- La rénovation de l'extérieur de leur logement contribue à leur fierté.

### 4.3 L'importance d'une communication claire et cohérente

Il est essentiel de communiquer sur la durée prévue de la construction et les principales étapes, ainsi que d'expliquer les objectifs et les avantages globaux du projet. Si les occupants comprennent que les mesures réduiront leurs coûts énergétiques, amélioreront leur confort et leur santé et embelliront leur logement, ils seront beaucoup plus enclins à accepter les inconvénients à court terme.

Quelques opérations du processus REEEP utiliseront des équipements peu familiers à la plupart des occupants et devront être expliquées :

- Tests d'infiltrométrie, tests de fumée et thermographie infrarouge.
- Processus de capture des bâtiments incluant les enquêtes par balayage laser ou photogrammétrie, notamment celles utilisant des drones.
- Toute opération de surveillance doit comporter une description détaillée des données qui seront collectées et de la manière dont elles seront utilisées et partagées.

Un exemple de document expliquant le processus REEEP aux occupants est disponible à l'Annexe D.

### 4.4 Accès au logement avant, pendant et après la construction

Il peut être nécessaire d'accéder à l'intérieur des habitations :

- Évaluation de l'état des bâtiments.
- Évaluation énergétique de base et test d'infiltrométrie.
- Démolition pour confirmer l'emplacement des services, ou pour traiter les connexions structurelles au bâtiment (c'est-à-dire les marches en béton préfabriqué ou les mâts de service électrique).
- Améliorations électriques et mécaniques.
- Installation de tout équipement de surveillance.
- Portes suspendues si elles ne sont pas préinstallées dans les panneaux.
- Démontage des fenêtres et des portes existantes, installation de couvre-fenêtres temporaires.
- Ajustement des nouvelles fenêtres et portes à l'aide de rallonges de montants et de chambranles.



## 5. CONCEPTION DU PROJET

### 5.1 Conception de systèmes de rénovation en panneaux

L'organigramme suivant décrit une approche pour sélectionner le type et l'épaisseur du panneau.

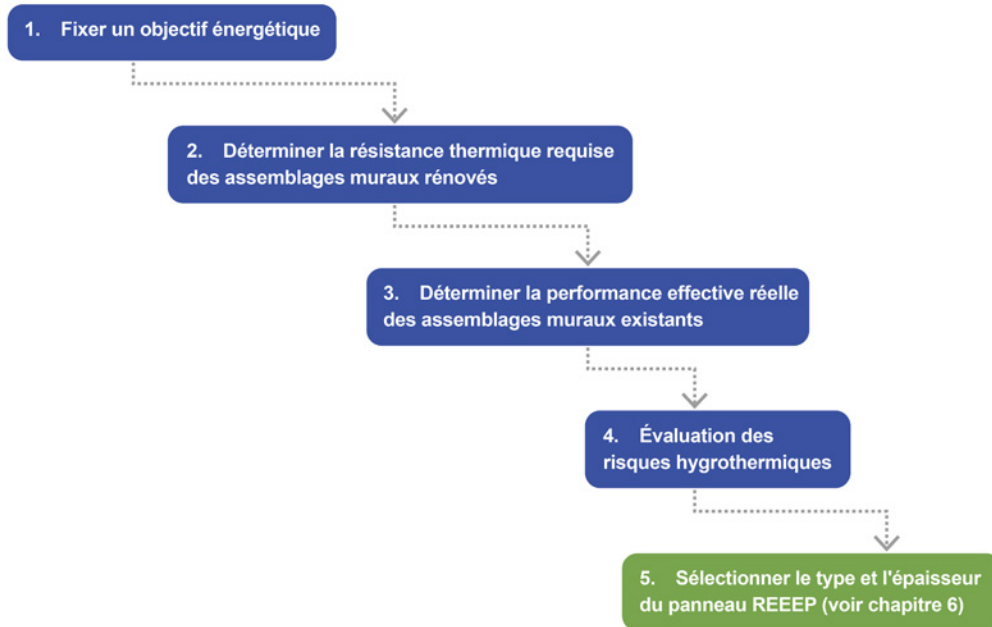


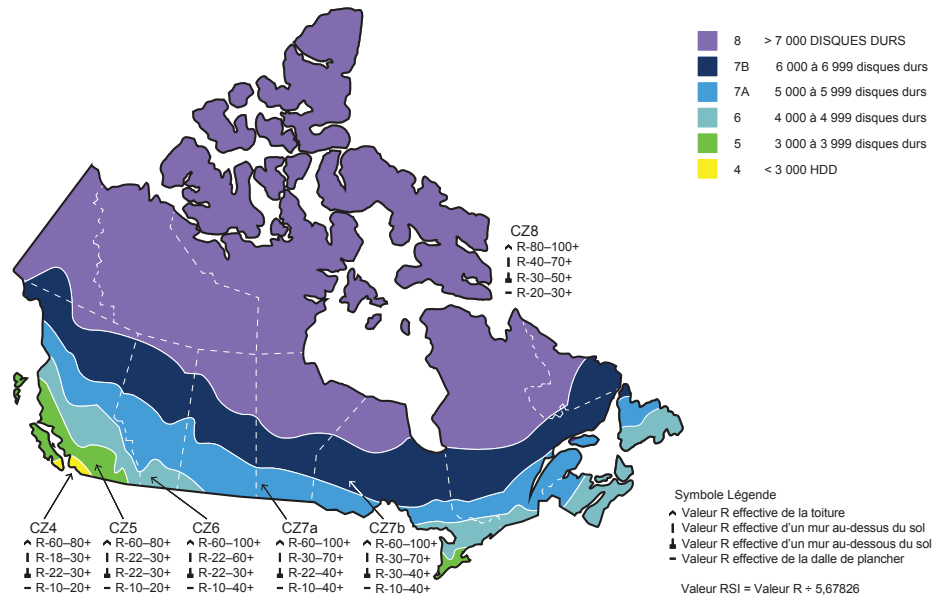
Figure 5-1 : Conception du projet et processus de sélection des panneaux REEEP

### 5.2 Objectif énergétique

Les objectifs énergétiques seront fournis par le consultant en énergie du projet. La modélisation énergétique doit être réalisée suffisamment tôt pour fixer cet objectif avant la sélection des panneaux. Il est recommandé de viser au moins une consommation nette zéro, compte tenu du niveau d'intrusion et du coût associé à ces travaux. L'ajout d'une isolation extérieure de 200 mm (8") contre 100 mm (4"), par exemple, peut représenter un coût marginal qui en vaut la peine.

La figure ci-dessous, tirée du Guide to Near Net Zero Residential Buildings de NAIMA Canada [22], indique les valeurs R effectives recommandées pour atteindre la consommation nette zéro au Canada et peut servir de point de départ pour le développement de la conception, mais doit être confirmée par une modélisation de l'énergie. Ces recommandations de valeur R concernent les nouveaux bâtiments, et l'on s'attend à ce que tous les assemblages soient conformes. Dans les projets de rénovation où il n'est pas possible d'augmenter l'isolation de certains ensembles (par exemple, sous la dalle), il peut être nécessaire d'augmenter les autres valeurs R en conséquence. En règle générale, pour les applications de rénovation, les murs Net-Zero auront une valeur RSI comprise entre 5,3 et 8,8 (R-30 à R-50), avec une valeur médiane typique d'environ RSI 7,0 (R-40) pour les constructions de la partie 9 dans la plupart des zones climatiques.

Valeurs R effectives recommandées pour atteindre un niveau proche de zéro net - CB et autres



**Figure 5-2 :** Guide to Near Net Zero Residential Buildings de NAIMA Canada, indique les valeurs R effectives recommandées pour atteindre la consommation nette zéro au Canada.

**Note :** L'isolation et l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment peuvent permettre de retenir une plus grande partie des gains thermiques (provenant des appareils, des occupants et du rayonnement solaire) qui peuvent entraîner une surchauffe. Le coefficient de gain de chaleur solaire (CGCS) des fenêtres doit être soigneusement étudié afin d'équilibrer les gains solaires utiles et le risque de surchauffe inacceptable. L'augmentation des gains de chaleur et la diminution des pertes de chaleur peuvent également être un catalyseur pour climatiser de manière centralisée les logements anciens ; une mesure qui contribuera à assurer le confort des occupants, s'avérera moins coûteuse à exploiter que les climatiseurs de fenêtre et renforcera l'attrait de la rénovation pour les occupants. L'évaluation du risque de surchauffe dépasse le cadre de ce guide mais doit être prise en compte. La *norme ASHRAE 55* spécifie les conditions thermiques acceptables [23]. Le *Thermal Resilience Design Guide* est une autre ressource qui fournit des conseils de conception pour maintenir des conditions intérieures confortables [24].

### 5.3 Performance thermique

Une fois l'objectif énergétique établi, la modélisation énergétique peut être utilisée pour évaluer la performance thermique requise après rénovation de chaque assemblage nécessaire pour atteindre l'objectif.

En ce qui concerne la performance thermique des murs, l'assemblage des murs d'un projet spécifique peut être divisé en deux parties : l'assemblage des murs existants, qui a une valeur R fixe, et l'assemblage des panneaux, dont la valeur R sera spécifiée pour atteindre ou dépasser la valeur R cible de l'ensemble de l'assemblage.

Les murs des bâtiments anciens existants ont généralement une performance thermique effective comprise entre 0,9 et 2,6 (R-5 et R-15). Voir l'Annexe C pour les caractéristiques thermiques typiques du parc immobilier.

L'installation de panneaux REEEP peut facilement ajouter R-20 à R-40+ à la performance thermique d'un bâtiment. L'Annexe B indique clairement les résistances thermiques sur le terrain pour différentes conceptions et permutations de panneaux.

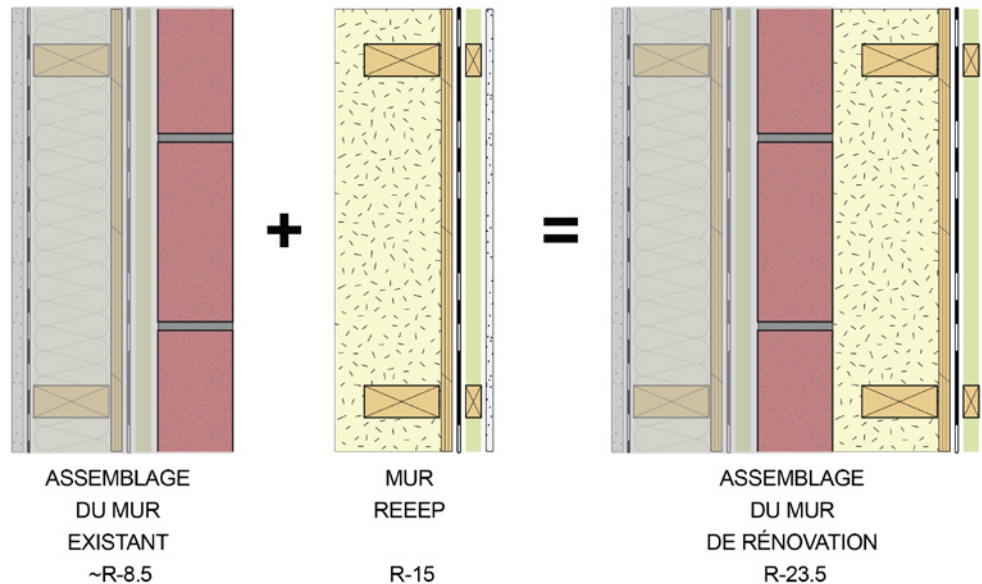


Figure 5-3 : Calcul de base de la valeur R après rénovation.

### 5.3.1 Pont thermique

Lors de la détermination de la performance thermique des assemblages existants et des panneaux, il faut tenir compte de la réduction de la performance thermique causée par les ponts thermiques. Les zones où l'isolation est réduite et où un matériau plus conducteur pénètre dans l'isolation sont appelées ponts thermiques. Les ponts thermiques peuvent entraîner des pertes de chaleur excessives et des problèmes de condensation localisés, et il est donc important de les minimiser.

Les rénovations de panneaux peuvent introduire des ponts thermiques uniques par le biais de supports, de poutres et d'autres connexions structurelles. Le concepteur devra prêter une attention particulière à certains détails ou scénarios :

- i) Sous-sols non isolés ou isolés par l'intérieur.
- ii) Terrasses/balcons.
- iii) Structures attenantes non isolées (garages, porches, etc.).
- iv) Haut de l'interface mur/voile.
- v) Poutres, consoles et connexions structurelles pour les panneaux muraux.

Une fois que tous les ponts thermiques ont été évalués, la performance thermique effective des assemblages de rénovation peut être calculée.

### 5.3.1.1 Prise en compte des ponts thermiques à l'aide de transmissions linéaires et ponctuelles

La résistance thermique du champ libre du panneau est la valeur R du panneau REEEP avec ses ponts thermiques répétitifs uniformément répartis (tels que les éléments de charpente en bois installés dans l'atelier). Ces valeurs ont été calculées à l'aide de la méthode des plans isothermes [25] pour différentes conceptions de panneaux REEEP, les résultats étant présentés à l'Annexe B.

Les transmissions thermiques linéaires et ponctuelles peuvent être déterminées par modélisation. Ceux-ci prennent en compte les flux de chaleur supplémentaires à travers les ponts thermiques spécifiques qui peuvent être installés sur le site (c'est-à-dire les supports en acier et les poutres de soutien en bois). Certains détails typiques (joints de panneaux, consoles et poutres) et leurs coefficients de transmission sont présentés dans l'encadré suivant pour le projet de Logement communautaire d'Ottawa (LCO). Les coefficients pour d'autres détails et assemblages courants pour les murs à ossature en bois fortement isolés qui sont construits sur le site et qui peuvent représenter de près les approches REEEP peuvent également être trouvés dans le Guide du pont thermique de l'enveloppe du bâtiment [26] et les outils interactifs de calcul du pont thermique de l'enveloppe du bâtiment qui l'accompagnent [27].

Les coefficients de transmission thermique linéaire (valeurs Psi ( $\psi$ )) représentent le flux de chaleur supplémentaire qui se produit à travers les ponts thermiques linéaires qui ne sont pas inclus dans la valeur R du champ libre (tels que l'ossature en bois supplémentaire aux joints des panneaux, les interfaces fenêtre/mur, les interfaces entre le toit et le mur et entre le mur et le sol, et les poutres de soutien continues) et sont exprimés en W/m·K.

Les coefficients de transmission thermique ponctuels (valeur Chi- ( $\chi$ )) représentent le flux de chaleur supplémentaire se produisant à travers les ponts thermiques ponctuels qui ne sont pas inclus dans la valeur R du champ libre (tels que les supports en acier discrets ou les fixations individuelles qui relient le panneau au mur d'appui) et ont les unités W/K.

La performance thermique globale (valeur U) de l'ensemble des murs rénovés peut alors être calculée comme suit :

$$U_T = \frac{\Sigma(\Psi \cdot L) + \Sigma(\chi)}{A_{Total}} + U_o$$

Où :

$U_T$ =	transmittance thermique totale effective de l'assemblage (Btu/hr·ft <sup>2</sup> ·°F ou W/m <sup>2</sup> K)
$U_o$ =	transmittance thermique du champ clair (Btu/hr·ft <sup>2</sup> ·°F ou W/m <sup>2</sup> K)
$A_{total}$ =	la surface murale opaque totale (ft <sup>2</sup> ou m <sup>2</sup> )
$\Psi$ =	flux de chaleur du pont thermique linéaire (Btu/hr·ft·°F ou W/mK)
$L$ =	longueur du pont thermique linéaire, c'est-à-dire largeur de la dalle (ft ou m)
$\chi$ =	flux de chaleur du pont thermique ponctuel (Btu/hr·°F ou W/K)

La résistance thermique effective de la valeur R de la rénovation ( $R_{eff}$ ) est simplement l'inverse de  $U_T$  et peut être utilisée pour la modélisation énergétique du bâtiment.

## Calcul de la résistance thermique effective pour le projet pilote REEEP de LCO

L'analyse thermique de la conception pilote du REEEP de LCO a consisté à calculer la valeur R de l'assemblage du mur rénové et à modéliser les ponts thermiques linéaires et ponctuels, afin de calculer la résistance thermique effective globale de l'assemblage du mur rénové au-dessus du niveau du sol.

### Résistance thermique en champ libre

La valeur R du champ libre de l'ensemble des murs au-dessus du niveau du sol a été calculée en faisant la somme :

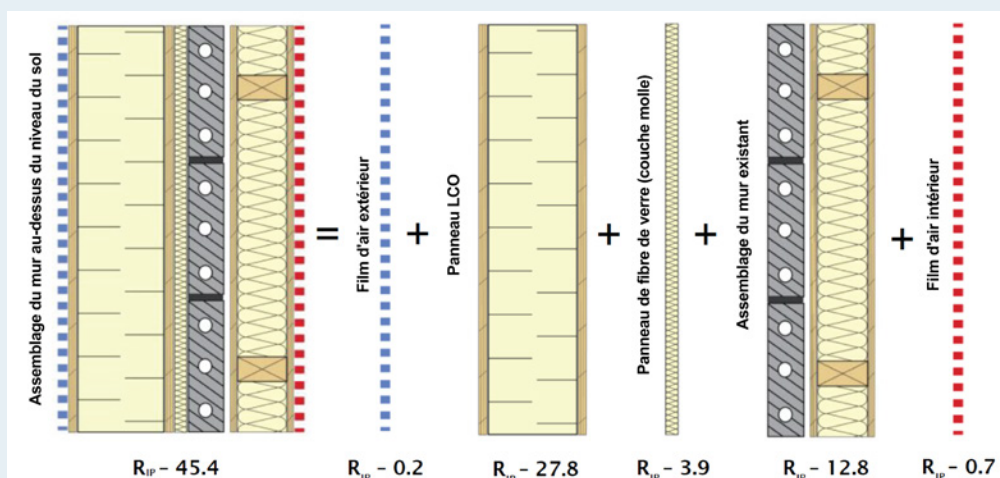
- + Le film d'air extérieur.
- + Valeur R du champ libre du panneau PIS REEEP.
- + La valeur R estimée de la couche de fibre de verre comprimée à 25 mm (1").
- + La valeur R du champ libre de l'ensemble des murs existants.
- + Le film d'air intérieur.

$$R_{ip} = 45,4$$

### Transmissions thermiques ponctuelles et linéaires

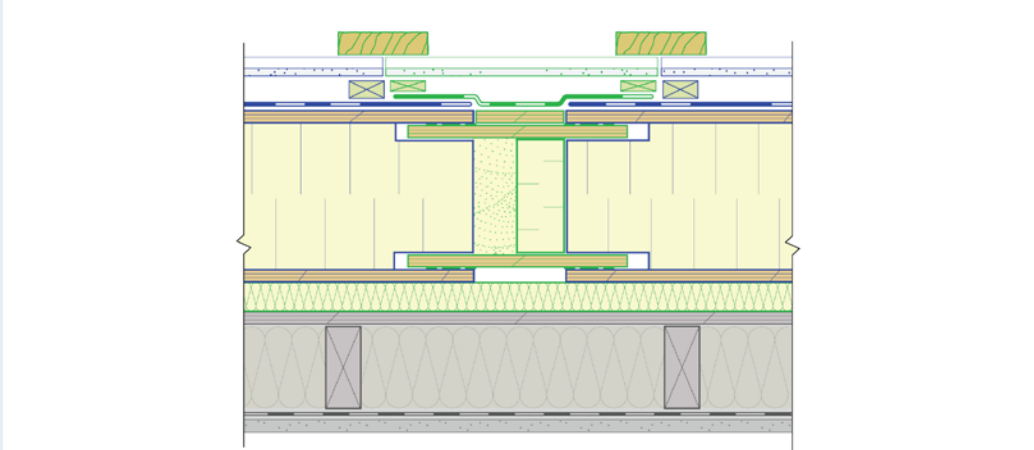
Les ponts thermiques ont été évalués à l'aide d'un modèle de transfert de chaleur en régime permanent [28] et de tableaux de ponts thermiques. Les panneaux reposent sur une poutre en caisson reliée au bâtiment existant par des supports en acier. Chacun des 32 supports est considéré comme un pont thermique ponctuel, exprimé en valeur Chi ( $\chi$ ). Les joints des panneaux (horizontaux et verticaux) et la poutre sont des ponts thermiques linéaires, exprimés en valeurs Psi ( $\psi$ ). L'analyse a été effectuée pour déterminer l'impact des flux de chaleur supplémentaires à travers les ponts thermiques ponctuels (parenthèses) et linéaires (joints de panneaux et poutre).

La modélisation thermique a révélé que la valeur  $\chi$  pour chaque console était de 0,046 W/K (0,087 BTU/hr.°F), soit une transmission ponctuelle relativement faible. L'impact global du pont thermique à travers les équerres, résumé dans le tableau 5-1, s'est avéré minime en raison de leur faible nombre, des détails/matériaux de connexion et de l'espacement entre les équerres.



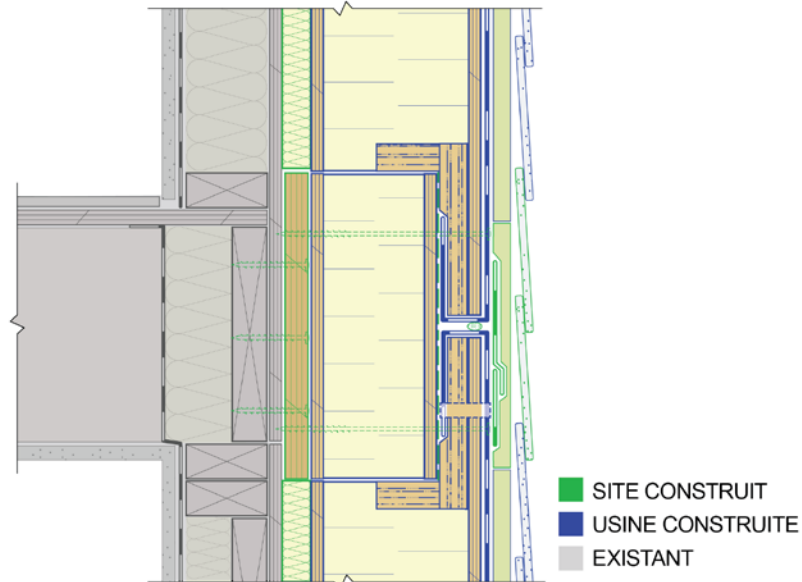
**Figure 5-4** : La résistance thermique globale de l'ensemble sera la somme de la valeur R du champ libre du panneau, des films R, des couches ajoutées et de l'ensemble du mur existant.

Les joints des panneaux verticaux comprennent des feuillures découpées dans le PSE pour recevoir des cannelures de panneaux de particules orientées (OSB) sur les faces intérieure et extérieure de chaque panneau afin de combler le joint, comme le montre la vue en plan de la figure 5-8. Un scellant en mousse expansive est installé pour occuper l'espace vide entre les panneaux et les cannelures.



#### LÉGENDE

1. Système mural SIP 2.0.
2. Isolation de remplissage des espaces en fibre minérale compressible.
3. Bloc de remplissage en PSE.
4. Mousse auto-expansive d'étanchéité des joints.
5. Cannelures avant et arrière collées en place.
6. Membrane VP autocollante installée sur place sur les cannelures. **(AB/WRB)**
7. Garniture installée sur place sur les joints de revêtement verticaux.



#### LÉGENDE

1. Système mural SIP 2.0.
2. Isolation de remplissage des espaces en fibre minérale compressible.
3. Revêtement appliqué sur place et cerclage à travers le joint.
4. Membrane de transition VP autocollante scellée sur la membrane de la première porte du panneau de rive. Recouvrement inversé au bord d'attaque scellé avec un ruban à haute performance. **(AB/WRB)**
5. Panneau de rive fixé et collé à la cale d'aplomb en contreplaqué avec de l'adhésif de construction.
6. Trou de levage renforcé en haut des cannelures du SIP.
7. Cale d'aplomb en contreplaqué fixée à la structure existante au niveau de la ligne de plancher.

**Figure 5-5** : Joint de panneau vertical (en haut), joint de panneau horizontal (en bas).

Les joints verticaux ont une valeur  $\Psi$  de  $0,0016 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  ( $0,0009 \text{ BTU/hr}\cdot\text{ft}\cdot^\circ\text{F}$ ), ce qui est considéré comme un pont thermique ( $<0,01 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ ). Par conséquent, les joints verticaux n'entraînent pas de réduction significative de la performance thermique effective du panneau.

Un panneau de rive permet d'aligner les panneaux du premier et du deuxième étage, qui sont fixés à travers les éléments structurels en forme de L et le panneau de rive dans l'ossature du plancher existant à l'aide de vis structurelles à  $1220 \text{ mm}$  ( $4'$ ) de centre à centre. Ce joint horizontal entre les panneaux constitue un autre pont thermique linéaire, bien que l'isolation extérieure ne soit pas interrompue à ces endroits. D'après les ressources disponibles dans l'industrie [26] [29], la valeur  $\Psi$  de ce raccord est estimée entre  $0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  (sans pont thermique) et  $0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$  ( $0,03 \text{ BTU/hr}\cdot\text{ft}\cdot^\circ\text{F}$ ). Pour l'analyse, on a supposé une valeur de  $0,04 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ . Même avec cette hypothèse prudente, le flux de chaleur à travers ce pont linéaire est insignifiant.

**Tableau 5-1** : Performance thermique de l'enceinte par assemblage.

Assemblage du champ libre	Résistance thermique		Zone		% de la surface	Débit de chaleur (%)
	(m <sup>2</sup> K/W)	(hr ft <sup>2</sup> ·°F/ BTU)	(m <sup>2</sup> )	(ft <sup>2</sup> )		
Mur au-dessus du niveau du sol	8,0	45,3	291	3 136	41 %	12 %
Mur au-dessous du niveau du sol	5,7	32,5	136	1 465	19 %	8 %
Ponts thermiques linéaires	Valeur de $\Psi$		Zone		% de la surface	Débit de chaleur (%)
	(W/m·K)	(BTU/hr·ft·°F)	(m)	(ft)		
Transition entre les murs au-dessus et au-dessous du niveau du sol	0,05	0,03	68	222	-	1 %
Interface fenêtre-mur	0,03	0,02	69	225	-	1 %
Raccordement au milieu du mur	0,05	0,03	68	222	-	1 %
Transition entre le mur et le toit	0,00	0,00	68	222	-	0 %
Joint de panneau vertical	0,00	0,00	43	140	-	0 %
Ponts thermiques ponctuels	Valeur X		Quantité	% de la surface	Débit de chaleur (%)	
	(W/K)	(BTU/hr °F)				
Support de fondation	0,05	0,09	32	-	0 %	

### 5.3.2 Épaisseur du panneau

Une fois que les valeurs de performance thermique effective sont connues, l'épaisseur d'isolation requise pour le panneau peut être déterminée. Les épaisseurs dépendent du type de panneau utilisé, mais en moyenne, un panneau de rénovation fournit environ 0,2 RSI par centimètre (R-3 par pouce).

## 5.4 Considérations hygrothermiques

Augmenter l'étanchéité à l'air d'un bâtiment ancien et ajouter des couches fermées à la vapeur dans un panneau isolant extérieur réduira le potentiel de séchage et augmentera le risque d'emprisonner l'humidité dans l'assemblage mural. L'ajout de niveaux d'isolation plus élevés dans les panneaux peut contribuer à réduire le risque de condensation. Toutefois, une bonne gestion de l'eau et une perméabilité à la vapeur adéquate sont essentielles pour éviter les problèmes d'infiltration d'eau et pour permettre un séchage vers l'extérieur en cas d'infiltration d'eau dans l'assemblage.



### 5.4.1 Gestion des eaux liquides en vrac

Les joints de panneaux, les interfaces, les pénétrations et la fenestration sont les endroits les plus propices aux infiltrations d'eau dans les panneaux et la structure de soutien. Les concepteurs doivent s'assurer que tous les détails des joints de panneaux et des pénétrations sont réalistes et peuvent être correctement scellés compte tenu de la séquence de construction et des conditions existantes du mur et de ses interfaces avec le sol, le toit, etc. Une attention particulière à la barrière d'étanchéité et aux voies d'évacuation de l'eau doit être portée dès le début de la conception. Si des modifications doivent être apportées aux détails pour tenir compte des conditions existantes, veillez à ce qu'elles soient prévues et non pas laissées à l'appréciation du chantier lors de l'installation. Le chapitre suivant fournit plus de détails sur la gestion de l'eau en fonction des différents types de panneaux.

### 5.4.2 Perméabilité à la vapeur

La perméabilité à la vapeur est particulièrement importante pour les projets dont les revêtements poreux/hydrophiles seront conservés. Par exemple, un bâtiment en briques à la capacité de retenir l'humidité. La perméabilité à la vapeur des panneaux de rénovation doit donc être suffisante pour permettre le séchage extérieur des briques après l'installation des panneaux. Vous trouverez ci-dessous quelques considérations relatives aux risques :

## LE NIVEAU RELATIF DE RISQUE HYGROTHERMIQUE

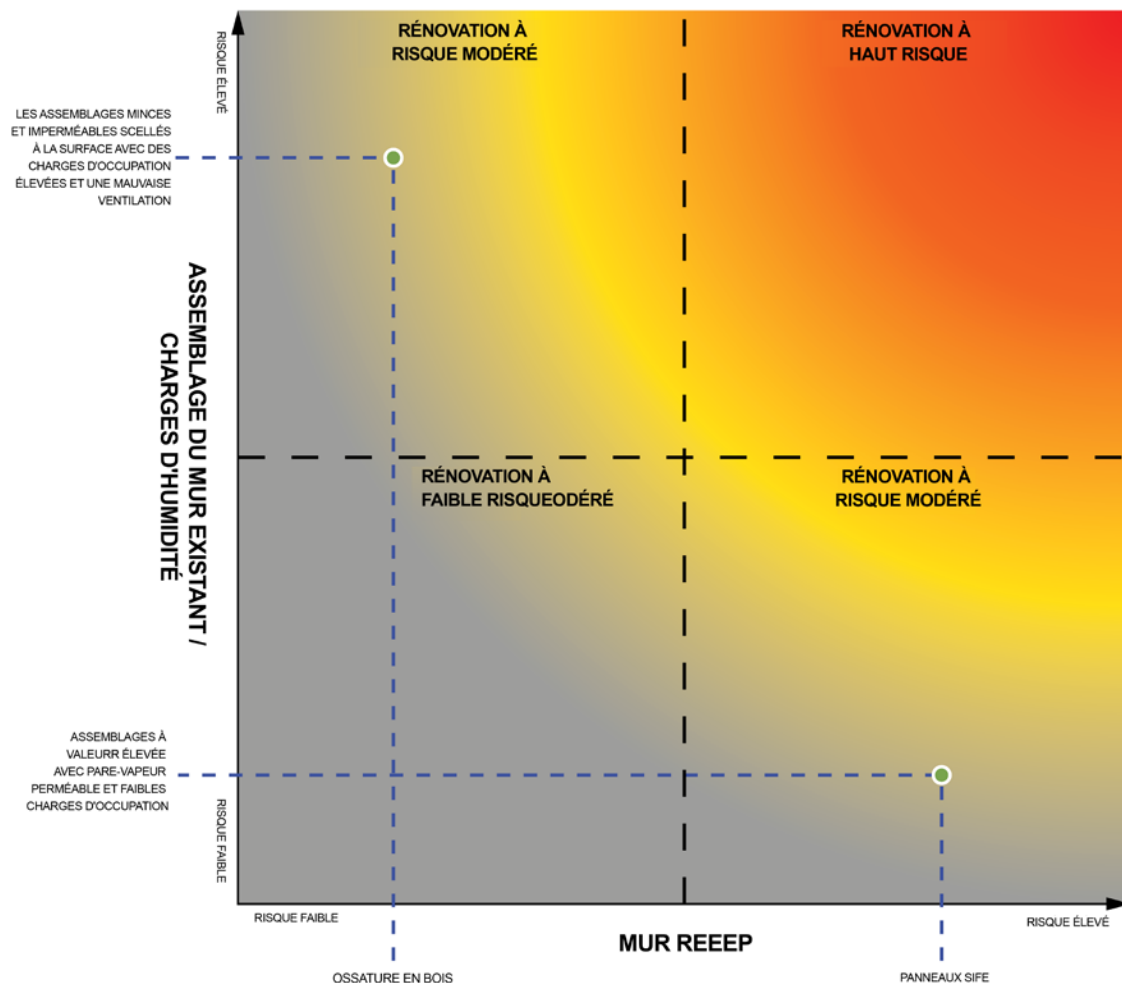


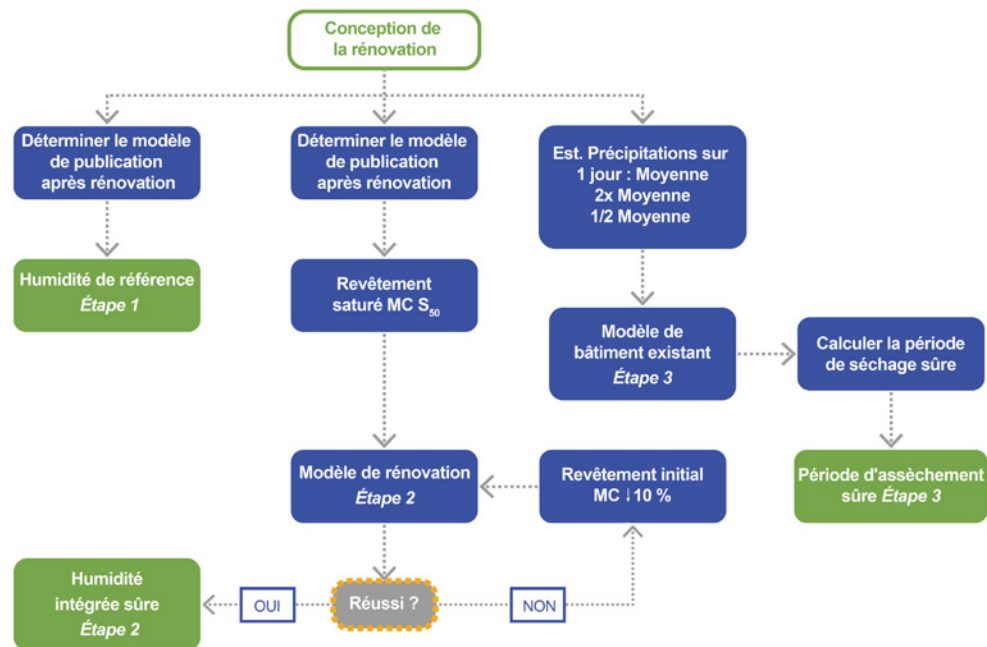
Figure 5-6 : Considérations relatives aux risques pour les panneaux d'assemblage et de rénovation existants.

### 5.4.3 Évaluation du risque hygrothermique des revêtements de réservoirs

Avant de choisir et d'installer des panneaux sur un revêtement de réservoir (par exemple, des briques de maçonnerie), il est important de répondre aux trois questions suivantes :

1. Quelle est l'humidité initiale attendue dans l'enveloppe du bâtiment existant, principalement le revêtement, lorsque les panneaux seront installés ?
2. Quel est le niveau d'humidité initial qui ne risque pas d'endommager les nouveaux panneaux ou d'être piégé dans le mur existant ?
3. Combien de temps après une pluie l'enveloppe du bâtiment doit-elle sécher pour atteindre un taux d'humidité initial sûr, ou y a-t-il une période de l'année où il serait difficile d'ajouter des panneaux de rénovation ?

RNCan et RDH Building Science développent un protocole de modélisation hygrothermique pour aider à répondre à ces questions.



**Figure 5-7** : Schéma d'évaluation du risque hygrothermique lié à l'installation de panneaux sur des revêtements de réservoirs.

Les critères de durabilité sont les suivants :

1. Teneur en eau totale de l'assemblage : L'humidité ne s'accumule pas d'année en année.
2. Période de séchage : L'humidité initiale de l'assemblage s'assèche pour atteindre un niveau relativement stable en l'espace d'un an.
3. Simulation de la biodétérioration (critères de moisissure) : Pendant la période de séchage, un indice de moisissure maximal de 3,0 sur chaque couche sensible de l'assemblage, avec un indice souhaité de 1 ou moins.
4. Teneur en eau du bois (critères de décomposition du bois) : Après la période initiale de séchage, la teneur en eau des couches à base de bois reste inférieure à 20 % afin de prévenir la pourriture.

## Évaluation du risque d'humidité dans le cadre du projet LCO

Pour le projet LCO, le processus suivant a été utilisé pour évaluer le risque d'humidité :

### Étape 1 : Élaboration d'un modèle hygrothermique à l'aide des caractéristiques des briques.

Trois briques individuelles ont été retirées et envoyées au laboratoire pour déterminer les propriétés hygrothermiques de la brique utilisée. Un modèle WUFI de l'assemblage mural existant a ensuite été développé en utilisant les propriétés réelles de la brique comme variable critique de stockage de l'humidité. L'humidité initiale dans le revêtement en briques deux mois avant l'installation des panneaux a été simulée à l'aide du modèle.

### Étape 2 : Déterminez le taux d'humidité initial sûr de la brique.

Cette étape a consisté à modifier itérativement l'humidité initiale de la brique, en commençant par 50 % de la teneur en humidité saturée (S50). Si l'assemblage simulé ne satisfaisait pas aux critères de durabilité, la teneur en humidité de la brique était réduite de 10 % et la simulation était répétée jusqu'à ce que les critères soient remplis. Cela a permis d'établir la « teneur en eau initiale sûre ».

### Étape 3 : Déterminez combien de temps la brique doit sécher pour atteindre un taux d'humidité initial sûr.

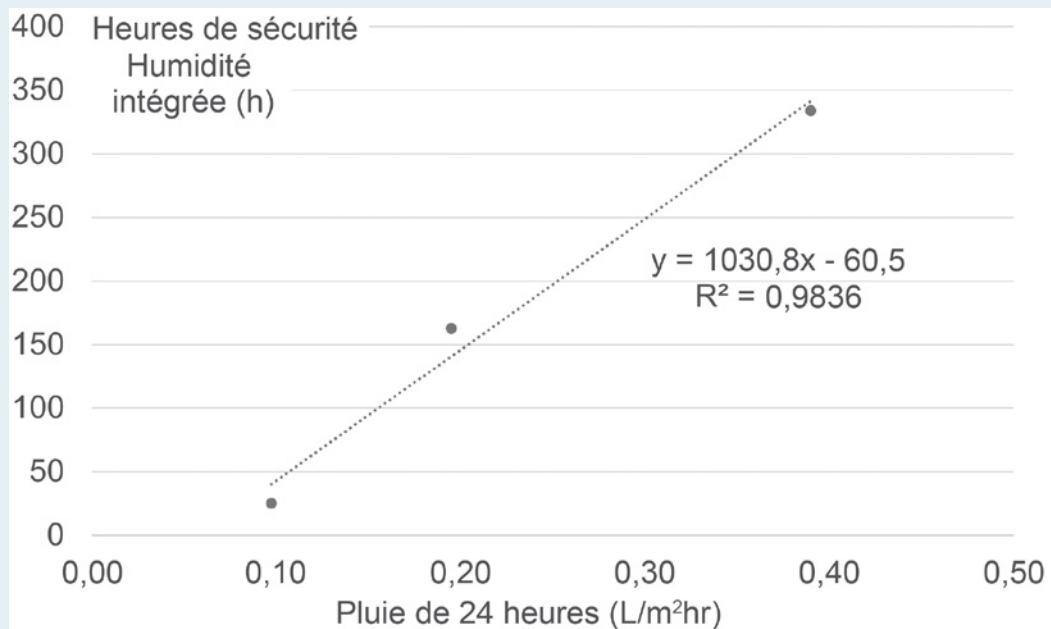


Figure 5-8 : Relation entre le temps de séchage d'une brique pour une pluie de 24 heures donnée

A partir de là, nous pouvons estimer le nombre d'heures de séchage du revêtement pour une intensité de pluie donnée et une charge d'humidité dans la brique.

## 6. SÉLECTION D'UN TYPE DE PANNEAU REEEP

Une fois que l'objectif de performance thermique est fixé et que les propriétés thermiques du bâtiment existant ont été prises en compte, un système de panneaux peut être sélectionné. Cette section vous aidera à définir le type de panneau le mieux adapté à un projet donné en fonction des facteurs qui le différencient. En général, tous les systèmes de panneaux présentés ci-dessous ont les points suivants en commun :

- **Installation générale** : Tous les systèmes en panneaux sont conçus pour être préfabriqués hors site et réduire la quantité de travail nécessaire sur le chantier. Presque tous les panneaux, à l'exception des panneaux du Systèmes d'isolation et finition extérieure (SIFE), sont également conçus pour être livrés avec les fenêtres pré-conceptionnées. Cependant, les fenêtres ne peuvent pas être préinstallées dans les panneaux SIFE en raison du poids des fenêtres et du manque de rigidité structurelle des panneaux.
- **Fixation** : Tous les systèmes en panneaux sont des panneaux muraux au-dessus du niveau du sol qui sont fixés aux murs extérieurs des bâtiments existants. À l'exception des panneaux SIFE, tous les panneaux sont fixés à la base du mur à l'aide d'une série de supports de fondation intermittents, ou de poutres-caissons isolées/panneaux de rive, ou les deux. Des sangles de levage servent de points de fixation au sommet des panneaux pour les relier à des cales en contreplaqué préinstallées à l'aide de longues vis (voir les détails de construction à l'Annexe A). Les panneaux SIFE légers actuels sont fixés en les suspendant au mur existant à l'aide d'un système de taquets métalliques.
- **Emplacement du pare-air** : Tous les systèmes de barrière d'air des panneaux, à l'exception des panneaux à solives et des panneaux SIFE, sont situés sur le côté extérieur du panneau. Cela permet un accès facile pour sceller les joints du pare-air après l'installation des panneaux. Les panneaux sont scellés les uns aux autres au niveau des joints à l'aide de membranes et de rubans autocollants ou de calfeutrage.
- **Plages de valeurs R** : En règle générale, les panneaux de rénovation ont une profondeur d'environ 150-300 mm (6-12"). Les valeurs R sont comprises entre RSI 3,6 et 8,5 (R-21 à R-49). Ces valeurs R seront ensuite dégradées par les fixations structurelles et autres ponts thermiques.

Les sous-sections suivantes donnent un aperçu de chaque système de panneaux et de leurs facteurs de différenciation. Ces facteurs sont les suivants:

- **Potentiel de séchage vers l'extérieur** : Il se caractérise par la facilité avec laquelle la vapeur d'eau peut se diffuser à travers et hors d'un système. Cet aspect est particulièrement important pour les bâtiments anciens qui présentent des fuites et dans lesquels de grandes quantités d'humidité se déplacent de l'intérieur vers l'extérieur à travers les murs extérieurs, ainsi que pour les bâtiments dont le revêtement absorbe l'humidité et qui seront recouverts d'un panneau de rénovation (par exemple, un placage de briques).
- **Résistivité thermique** : L'épaisseur d'un panneau est directement proportionnelle à sa résistance thermique. L'efficacité thermique d'un panneau se traduit par l'épaisseur nécessaire pour répondre aux exigences de performance thermique. De manière d'être, un panneau avec une résistivité thermique plus élevée (valeur R par unité d'épaisseur) se traduira par un profil de panneau plus mince, une considération importante dans les environnements à haute densité où l'espace est limité.
- **Carbone incorporé** : il représente les émissions de GES « de la fabrication à la porte de l'usine » associées à la fabrication des matériaux de construction requis dans le cadre d'un système de panneaux.
- **Disponibilité locale** : Il s'agit de la facilité et de l'économie avec lesquelles tous les matériaux du système de panneaux peuvent être obtenus.

- **Constructibilité de la préfabrication** : Il s'agit de savoir si la préfabrication de ce système de panneaux nécessite des outils/équipements et du personnel spécialisés.
- **Réalisation sur place** : Il s'agit de noter les considérations particulières, les outils, l'équipement ou les limitations pour la préparation du terrain, l'installation et le contrôle de la qualité.
- **Coût** : Les coûts des matériaux et de la main-d'œuvre associés à tous les matériaux et à la préfabrication des panneaux, ainsi qu'à leur conception et à leur installation.

## 6.1 Panneaux structuraux isolés

### 6.1.1 Aperçu

Les panneaux structuraux isolés (PIS) sont constitués d'une âme en mousse isolante rigide et de couches structurales collées des deux côtés. Vous trouverez ci-dessous une brève description du panneau, et plus de détails à l'Annexe A.

### 6.1.2 Assemblages couche par couche

- Extérieur
  - Revêtement.
  - Cerclage en bois traité + cavité d'air.
  - Membrane autocollante perméable à la vapeur (pare-air et pare-eau).
  - PIS : revêtement extérieur en OSB, isolation en PSE, revêtement intérieur en OSB, couches collées ensemble pour former un panneau de base composite.
  - Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.
  - Assemblage existant.
- Intérieur

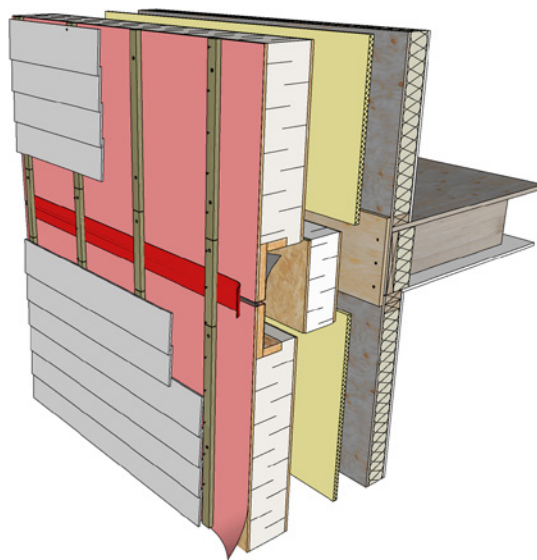


Figure 6-1 : Panneau structural isolé (PIS) REEEP

### 6.1.3 Facteurs de différenciation

**Potentiel de séchage :** Les PIS ont un potentiel de séchage extérieur relativement faible en raison des épaisseurs d'isolant PSE généralement utilisées, des deux couches structurales et de la faible perméabilité à la vapeur qui en résulte.

**Efficacité thermique :** Très peu de ponts thermiques à travers le panneau PIS et la résistivité thermique relativement élevée de l'isolant PSE permettent à ce panneau de répondre aux exigences de résistance thermique avec un profil plus fin que les autres options. Notez que le PSE infusé au graphite (souvent appelé GPS) est disponible auprès de la plupart des fabricants de PIS. Le GPS a une valeur R supérieure d'environ 20 % par unité d'épaisseur et coûte environ 20 % de plus. Le profil plus fin peut justifier l'augmentation du coût.

**Carbone incorporé :** L'utilisation d'une isolation en PSE entraîne des niveaux modérés de carbone incorporé (le PSE est moins intensif en carbone que d'autres matériaux en mousse). Cela ne tient pas compte du matériau de revêtement utilisé, qui peut varier considérablement en termes de carbone incorporé.

**Disponibilité locale :** Les panneaux PIS ne sont fabriqués que par quelques entreprises au Canada et doivent souvent être transportés sur de longues distances.

**Construction préfabriquée :** Les panneaux PIS sont des produits manufacturés et nécessitent des outils spéciaux, une formation et des corps de métier expérimentés. Un fabricant est plus susceptible de produire un « panneau de base » qui peut être facilement modifié (membranes, cerclage et bardage, installation de fenêtres) par un constructeur. Comme le cerclage n'est fixé qu'à la couche et non aux éléments de l'ossature, les possibilités de revêtement peuvent être limitées.

**Taille des panneaux :** Les PIS sont généralement fabriqués en grandes billettes de 8' x 24' (2,4m x 7,3m), puis découpés en dimensions plus petites. L'épaisseur totale du panneau est généralement limitée à un maximum de 305 mm (12"), mais tout incrément inférieur est normalement possible. L'épaisseur standard de la couche est de 11 mm (7/16"), mais des couches plus épaisses (par exemple, 19/32"-15 mm), qui offrent une meilleure résistance à l'arrachement des fixations du bardage, peuvent être disponibles auprès de certains fabricants.

**Achèvement sur place :** Les cannelures peuvent être insérées sur le chantier pour renforcer les connexions entre les panneaux et fournir une base de clouage pour le bardage/la garniture appliqué(e) sur le chantier.

**Coût :** Les coûts de préfabrication et d'expédition peuvent varier en fonction du lieu. Les panneaux PIS comprennent deux couches de revêtement structural, ce qui augmente le coût des matériaux.

**Agréments :** Tous les fabricants de PIS n'ont pas la certification de produit de construction exigée par certains services municipaux du bâtiment. Il peut être utile de souligner que les PIS utilisés dans le cadre d'une rénovation, contrairement à une construction conventionnelle de PIS, ne transfèrent pas de charge de gravité autre que leur propre poids. Les panneaux seront toutefois soumis à des charges latérales (vent et éventuellement séisme), de sorte qu'une analyse technique et une approbation peuvent être nécessaires. Il est prudent de vérifier auprès de l'AC local, dès le début de la phase de conception, s'il est disposé à approuver une demande de permis basée sur le PIS avant de s'engager dans une solution PIS.



## 6.2 Base de clouage (demi-PIS)

### 6.2.1 Aperçu

La base de clouage (demi-PIS) est similaire au panneau PIS complet mais sans la couche intérieure de revêtement OSB. Vous trouverez ci-dessous une brève description du panneau. Pour plus de détails, veuillez consulter l'Annexe A.

### 6.2.2 Assemblages couche par couche

- Extérieur
  - Revêtement.
  - Cerclage en bois traité + cavité d'air.
  - Membrane autocollante perméable à la vapeur (pare-air et pare-eau).
  - Panneaux à base de clouage : Revêtement extérieur en OSB, isolation en PSE, couches collées ensemble. Un « L » structural continu pour rigidifier le panneau.
  - Isolation en fibre minérale compressible.
  - Assemblage existant.
- Intérieur

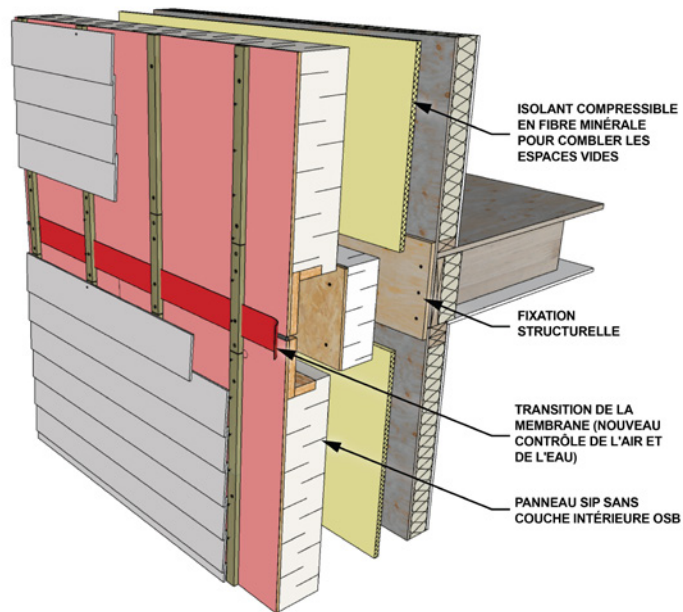


Figure 6-2 : Panneaux à base de clouage (Demi-PIS)

### 6.2.3 Considérations relatives à la conception

**Potentiel de séchage :** Comme un PIS classique, ce panneau isolant a un potentiel de séchage relativement faible en raison de l'épaisseur de l'isolation en PSE. Toutefois, le risque de développement de moisissures peut être moindre en raison de l'absence de la couche intérieure d'OSB que l'on trouve dans le modèle PIS complet.

**Efficacité thermique :** Le très faible pont thermique à travers le panneau base de clouage et la résistivité thermique relativement élevée de l'isolant PSE permettent à ce panneau de répondre aux exigences de résistance thermique avec un panneau plus mince que les autres options. Notez que le PSE infusé de graphite (souvent appelé GPS) est disponible auprès de la plupart des fabricants de panneaux PIS et de bases clouage. Le GPS a une valeur R supérieure d'environ 20 % par unité d'épaisseur et coûte environ 20 % de plus, mais le profil plus fin peut justifier l'augmentation du coût.

**Carbone incorporé :** L'utilisation d'une isolation en PSE entraîne des niveaux modérés de carbone incorporé. Cela ne tient pas compte du matériau de revêtement utilisé, qui peut varier considérablement en termes de carbone incorporé.

**Disponibilité locale :** Les panneaux PIS/Base de clouage ne sont fabriqués que par quelques entreprises au Canada et doivent souvent être transportés sur de longues distances.

**Construction préfabriquée :** Les panneaux à base de clouage sont des produits manufacturés qui nécessitent des outils spéciaux, une formation et des ouvriers expérimentés. Un fabricant est plus à même de produire un « panneau de base » qui peut être facilement modifié (ajout de membranes, de cerclages et de bardages, installation de fenêtres, etc. par un fabricant. Comme le cerclage n'est fixé qu'à la couche et non aux éléments de l'ossature, les possibilités de revêtement peuvent être limitées. Notez que les panneaux à base de clouage sont plus susceptibles de se déformer que les panneaux PIS parce que la couche structurelle est d'un seul côté et que les panneaux OSB et PSE se dilatent et se contractent à des rythmes différents. L'introduction de « raidisseurs » d'ossature en bois aux joints verticaux et horizontaux des panneaux peut contribuer à atténuer le gauchissement.

**Achèvement sur place :** Les cannelures peuvent être insérées sur le chantier pour renforcer les connexions entre les panneaux et pour fournir une base de clouage pour le bardage/la garniture appliqué(e) sur le chantier.

**Taille du panneau :** Les panneaux à base de clouage, comme les PIS, sont généralement fabriqués en grandes billettes de 2,4 m x 7,3 m (8 pi x 24 pi), puis coupés en plus petites dimensions. Notez que les panneaux à base clouage sont plus « minces » que les PIS en raison de l'absence de la deuxième couche d'OSB. Cela limite la taille des panneaux qu'il est possible de manipuler en usine et sur le chantier ; la plupart des fabricants ne produisent pas de panneaux base à clouage plus grands que 2,4 m x 3,6 m (8 pi x 12 pi). L'épaisseur totale du panneau est généralement limitée à 305 mm (12"), mais tout incrément inférieur est normalement possible. L'épaisseur standard de la couche est de 11 mm (7/16"), bien qu'une couche plus épaisse (par exemple, 19/32"-15 mm), qui offre une meilleure résistance à l'arrachement des fixations du bardage, puisse être disponible auprès de certains fabricants.

**Coût :** Les coûts de préfabrication et d'expédition peuvent varier en fonction du lieu.

**Homologations :** Tous les fabricants de PIS et de base de clouage n'ont pas la certification de produit de construction exigée par certains services municipaux du bâtiment. Contrairement à un PIS classique, un panneau à base de clouage peut rencontrer moins de résistance à l'approbation parce qu'il est moins susceptible d'être considéré comme un composant « structurel ». Les panneaux seront toutefois soumis à des charges latérales (éoliennes et éventuellement sismiques), de sorte qu'une analyse technique et une approbation peuvent être nécessaires. Il est prudent de vérifier auprès de l'Autorité compétente locale, dès le début de la phase de conception, si elle est disposée à approuver une demande de permis de conception de base de clouage avant de s'engager dans une solution de base de clouage.



## 6.3 Panneau à ossature bois

### 6.3.1 Aperçu

Le panneau à ossature bois est un panneau mural à ossature 2x4 avec un revêtement OSB fixé à l'extérieur de l'ossature et un isolant cellulosique insufflé sur le site. Vous trouverez ci-dessous une brève description du panneau. Pour plus de détails, veuillez consulter l'Annexe A.

### 6.3.2 Assemblages couche par couche

- Extérieur
  - Revêtement.
  - Cerclage en bois traité + cavité d'air.
  - Membrane perméable à la vapeur d'eau fixée mécaniquement ou autocollante (barrière d'étanchéité à l'air et à l'eau).
  - Revêtement mural.
  - Ossature en 2x4 avec isolation soufflée sur place.
  - Assemblage existant (non illustré).
- Intérieur

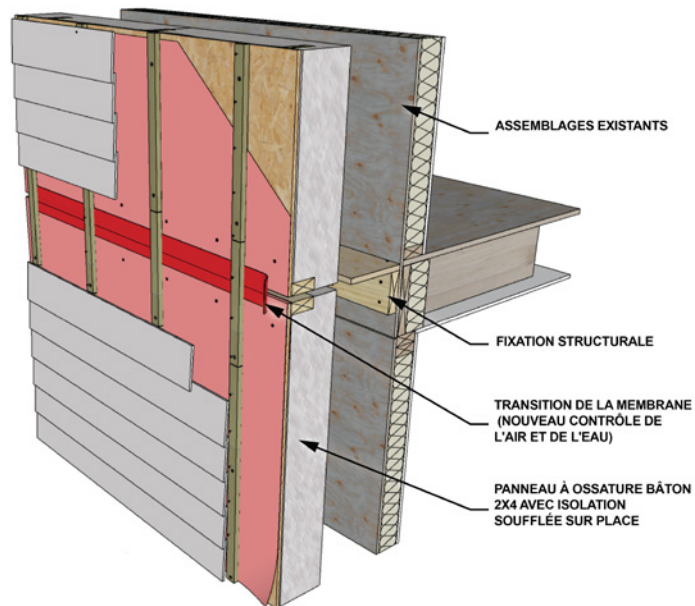


Figure 6-3 : Panneau d'ossature en bois détaché

### 6.3.3 Facteurs de différenciation

**Potentiel de séchage :** Un mur à ossature en 2x4 avec une isolation par insufflation offrira un meilleur potentiel de séchage vers l'extérieur que les autres panneaux avec une isolation en mousse rigide.

**Résistivité thermique :** Un léger pont thermique à travers les murs à ossature en 2x4 ainsi que la résistivité thermique relativement plus faible de l'isolation soufflée peuvent nécessiter des panneaux légèrement plus épais pour répondre aux exigences thermiques.

**Carbone incorporé :** Les principaux matériaux utilisés pour ces panneaux sont le bois et l'isolation en cellulose soufflée, ce qui fait de ce panneau une bonne option pour réduire le carbone incorporé. Cela ne tient pas compte du matériau de revêtement utilisé, qui peut varier considérablement en termes de carbone incorporé.

**Disponibilité locale :** Ces panneaux sont fabriqués à partir de matériaux disponibles dans tout le pays. Un fabricant est plus susceptible de produire un « panneau de base » qui peut être facilement modifié (ajout de membranes, de cerclages et de bardages, installation de fenêtres, etc).

**Constructibilité préfabriquée :** Les méthodes utilisées pour construire les panneaux sont une simple variation des pratiques de construction résidentielle standard, nécessitant un minimum d'outils spéciaux, de formation et de métiers. Comme les panneaux peuvent être fixés à des éléments de charpente massifs et sciés, il n'y a pas de limite aux options de revêtement. Les trous d'accès à l'isolation peuvent être prédécoupés dans le revêtement, mais il peut être impossible de préinstaller certaines garnitures ou certains revêtements (par exemple, sous les fenêtres).

**Réalisation sur place :** Les cavités de l'ossature et la cavité de séparation sont isolées sur place avec de l'isolant soufflé (c.-à-d. de la cellulose). Pour éviter le tassement, il est nécessaire d'installer cet isolant à une densité minimale. Pour la cellulose, il s'agit généralement d'un minimum de 50 kg/m<sup>3</sup> (3,5 lb/pi<sup>3</sup>). Cette opération demande plus de travail que les autres types de panneaux pré-isolés et nécessite un équipement spécialisé et l'expérience de l'installateur. Il faut également prendre soin d'étanchéfier les orifices d'isolation sur le terrain. Il sera probablement nécessaire d'installer un revêtement ou une garniture sur le chantier pour couvrir les trous d'accès nécessaires à l'insufflation de l'isolant sur le chantier.

**Taille des panneaux :** La taille des panneaux à ossature bois est limitée par ce qu'il est possible de manipuler dans l'atelier, ou par les contraintes de taille imposées par les équipements d'ossature automatisés et par la longueur des plaques et des montants. Il est souvent difficile de se procurer du bois de sciage de plus de 4,9 m de long, ce qui peut constituer un facteur limitant. Notez que le bois en stratifié (LSL) ou le bois en placage stratifié (LVL) peuvent remplacer le bois scié pour une plus grande stabilité dimensionnelle et pour des longueurs plus importantes (pour des panneaux de deux étages par exemple), mais à un prix premium. Il est possible d'utiliser des revêtements structuraux en contreplaqué ou en OSB de l'épaisseur souhaitée.

**Coût :** Les panneaux à ossature bois utilisent une ossature et un revêtement de base. Traditionnellement, ces matériaux sont très rentables, mais ils ont été soumis à une forte volatilité des prix au cours de la pandémie de COVID-19. Le coût de ces panneaux varie en fonction du matériau de revêtement utilisé.

**Agréments :** L'ossature légère en bois est la technologie de construction standard pour les bâtiments résidentiels de la partie 9 au Canada, bien que la manière dont elle est employée dans une rénovation de type REEEP ne sera probablement pas familière à la plupart des autorités d'approbation. Il est également très probable qu'une évaluation et une approbation de l'ingénierie structurelle soient nécessaires, ce qui n'est généralement pas le cas pour l'ossature de plateforme en bois léger. Comme pour les autres types de panneaux, il est judicieux d'entamer les discussions avec le service local de la construction dès le début du processus de conception afin d'éviter de longs délais d'approbation à des stades ultérieurs.

Potentiel de séchage	Efficacité thermique	Carbone incorporé	Disponibilité locale	Constructibilité	Coût relative
					

## 6.4 Panneau à solives

### 6.4.1 Aperçu

Le panneau à solives en I est un panneau mural à ossature utilisant des solives en I comme ossature, un revêtement OSB fixé à l'extérieur de l'ossature et un isolant fibreux dans les cavités (en matelas ou soufflé). Vous trouverez ci-dessous une brève description du panneau. Pour plus de détails, veuillez consulter l'Annexe A.

### 6.4.2 Assemblages couche par couche

- Extérieur
  - Revêtement.
  - Cerclage en bois traité + cavité d'air.
  - Membrane autocollante perméable à la vapeur (pare-air et pare-eau).
  - Revêtement mural.
  - Ossature de poutrelles en I avec isolation fibreuse de la cavité (en matelas ou soufflée).
  - Maille de maintien de l'isolation.
  - Isolation fibreuse comprimée ou soufflée.
  - Assemblage existant.
- Intérieur

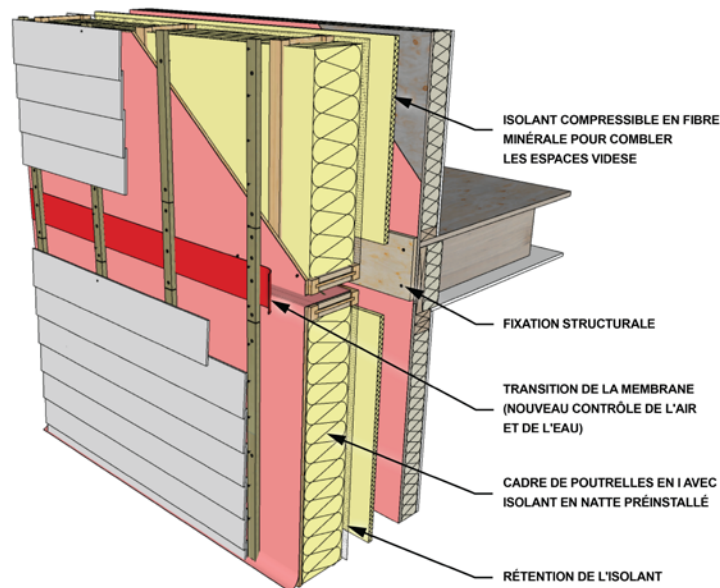


Figure 6-4 : Panneau à solives

### 6.4.3 Facteurs de différenciation

**Potentiel de séchage :** Un mur à ossature avec une isolation fibreuse à cavité offrira un meilleur potentiel de séchage par rapport à d'autres types de panneaux avec des isolants en mousse rigide.

**Résistivité thermique :** Un pont thermique mineur à travers les panneaux à solives en I qui couvrent la profondeur des panneaux, et la résistivité thermique relativement plus faible de l'isolation fibreuse nécessiteront des panneaux légèrement plus épais pour répondre aux exigences thermiques.

**Carbone incorporé :** Les principaux matériaux utilisés pour les panneaux à solives sont le bois et l'isolant fibreux. Sur la base des options d'isolation fibreuse les plus courantes, ces panneaux peuvent avoir une empreinte carbone modérée. Des matériaux isolants fibreux à faible teneur en carbone, tels que le chanvre ou la cellulose, peuvent être utilisés. Cela ne tient pas compte du matériau de revêtement utilisé, qui peut varier considérablement en termes de carbone incorporé.

**Disponibilité locale :** Le panneau à solives en I est principalement constitué de matériaux largement disponibles, mais il peut y avoir des problèmes de délais de livraison en fonction de la situation géographique. Contrairement aux panneaux à ossature bois conventionnels pour lesquels des équipements d'encadrement automatisés sont conçus, les panneaux à solives en I seront probablement construits à la main sur de grandes tables d'encadrement. Dans ce cas, il est peu probable que l'on achète un « panneau de base » auprès d'un fabricant et que l'on demande à un ouvrier d'installer des couches et des composants supplémentaires. Il est plus probable que le fabricant construise l'ensemble du panneau. En éliminant le fabricant de l'équation, le panneau à solives en I peut être facilement fabriqué localement, n'importe où au Canada.

**Construction préfabriquée :** La méthode utilisée pour construire les panneaux est une variation de la pratique standard de la construction à ossature bois et, en tant que telle, elle ne nécessite qu'un minimum d'outils spéciaux, de formation et de métiers. Comme les panneaux peuvent être fixés à des éléments d'ossature massifs sciés, il n'y a pas de limite aux options de revêtement. L'utilisation de panneaux solives en I préfabriqués accélère la fabrication par rapport à un panneau à solives Larsen fabriqué sur mesure, par exemple. L'emballage dense des panneaux hors du site ajoutera de la complexité, tout comme le fait de garder l'isolation sèche pendant le stockage extérieur, le transport vers le site et l'installation, qu'il s'agisse d'un emballage dense ou de matelas.

**L'achèvement sur place :** Les panneaux pré-isolés simplifient l'installation sur le terrain ; cependant, l'isolation doit être maintenue au sec pendant le transport et l'installation.

**Taille des panneaux :** La taille des panneaux à solives en I est limitée par ce qui est pratique à manipuler en atelier et à transporter sur le chantier. L'un des grands avantages de l'utilisation de panneaux à solives en I pour la construction de panneaux est qu'ils peuvent être achetés en grandes longueurs, facilement assez longues, par exemple, pour construire un panneau qui peut couvrir deux ou même trois étages en hauteur. Il est possible d'utiliser des revêtements structurels en contreplaqué ou en OSB de l'épaisseur souhaitée.

**Coût :** Les panneaux à solives en I sont une option peu coûteuse, en particulier lorsque des valeurs R très élevées sont nécessaires. Le coût de ces panneaux varie en fonction du matériau de revêtement utilisé.

**Homologations :** Les solives en I sont conçues pour être utilisées dans des systèmes de plancher, pas dans des applications verticales. En particulier, si la poutrelle n'est pas entièrement soutenue sur toute sa profondeur, le poids du revêtement impose une charge verticale pour laquelle le joint de colle entre l'âme de l'OSB et l'aile extérieure n'a pas été conçu. Pour cette raison, l'Autorité compétente exigera probablement une approbation technique que le fabricant de la solive en I n'est pas en mesure de fournir. Le fait de soutenir entièrement le bas du panneau peut suffire à résoudre ce problème, mais il s'agit d'une question qui doit être abordée dès le début de la phase de conception avec le service de la construction et l'ingénieur en structures.

Potentiel de séchage	Efficacité thermique	Carbone incorporé	Disponibilité locale	Constructibilité	Coût relative
					

## 6.5 Panneaux SIFE

### 6.5.1 Aperçu

Le Système d'isolation et de finition extérieure (SIFE) est un système propriétaire fabriqué par un petit nombre d'entreprises. Le panneau est composé d'un panneau isolant PSE avec une couche de base renforcée et une couche de finition texturée, avec de nombreuses couleurs et textures disponibles. L'arrière des panneaux comporte des canaux de réception continus en aluminium insérés dans des rainures du PSE réalisées en usine à l'aide d'un fil chaud à commande numérique. Vous trouverez ci-dessous une brève description du panneau. Pour plus de détails, veuillez consulter l'Annexe A.

### 6.5.2 Assemblages couche par couche

- Extérieur
  - Couche de finition.
  - Couche de base avec treillis de renforcement.
  - Isolation en panneaux PSE.
  - Membrane d'étanchéité à l'air + barrière d'étanchéité à l'eau.
  - Assemblage existant.
- Intérieur

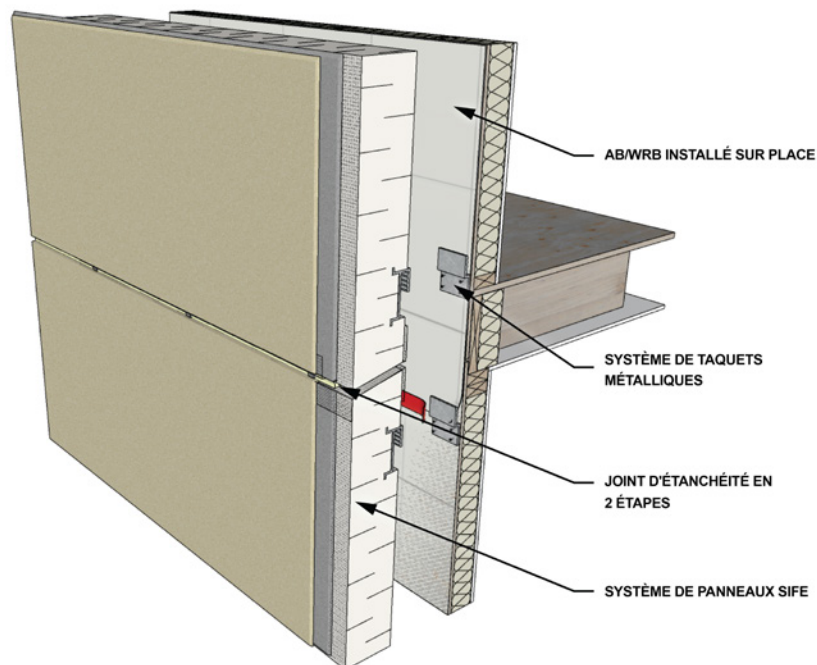


Figure 6-5 : Panneau SIFE

### 6.5.3 Facteurs de différenciation

**Potentiel de séchage :** Le potentiel de séchage du panneau SIFE est relativement faible en raison des épaisseurs d'isolant PSE généralement utilisées et de la faible perméabilité à la vapeur qui en résulte. Cependant, le risque est légèrement inférieur à celui des panneaux PIS complets en raison de l'absence du revêtement en bois que l'on trouve généralement sur un panneau PIS.

**Exigences en matière de résistance thermique :** Très peu de ponts thermiques à travers le panneau SIFE et la résistivité thermique relativement élevée de l'isolation PSE permettent à ce panneau de répondre aux exigences de résistance thermique avec un panneau plus mince par rapport à certaines des autres options.

**Carbone incorporé :** L'utilisation d'une isolation en PSE se traduit par un carbone incorporé modéré. Cependant, ce système comprend un enduit acrylique comme revêtement, qui a une teneur en carbone intrinsèque relativement faible.

**Disponibilité locale :** Les panneaux SIFE devront le plus souvent être transportés sur une certaine distance, car leur fabrication est limitée au Canada.

**La constructibilité :** Les panneaux SIFE sont des produits manufacturés et nécessitent des outils/équipements, une formation et des métiers spécifiques. Les fenêtres et les portes ne peuvent pas être soutenues par le panneau.

**Taille du panneau :** Dépend du système spécifique du fabricant.

**Coût :** Les coûts de préfabrication et d'expédition peuvent varier en fonction du lieu.

**Agréments :** Contrairement aux autres options de panneaux, les panneaux SIFE sont un système breveté conçu spécifiquement pour être utilisé comme revêtement mural isolé. En tant que tel, le fabricant doit être en mesure de fournir les certifications des produits de construction et les approbations techniques requises par les responsables de la construction.

Potentiel de séchage	Efficacité thermique	Carbone incorporé	Disponibilité locale	Constructibilité	Coût relative

## 6.6 Tableau récapitulatif

Type de panneau REEEP	Potentiel de séchage	Efficacité thermique	Carbone incorporé	Disponibilité locale	Constructibilité	Coût relatif
1. SIP						
2. Base de clouage						
3. Cadre en bois						
4. Panneau à solives						
5. Panneau SIFE						

## 7. CAPTURE DES BÂTIMENTS

Pour préfabriquer des panneaux de rénovation hors site, il est nécessaire de disposer d'informations détaillées sur le bâtiment et de mesures précises du bâtiment existant. Les mesures manuelles peuvent prendre beaucoup de temps et être difficiles à réaliser.

Il est difficile de prendre des mesures en hauteur et, dans certaines conditions, cela peut entraîner des erreurs coûteuses. De nouveaux outils et technologies, tels que le balayage laser 3D et la photogrammétrie, sont disponibles et permettent de collecter rapidement des données de mesure fiables. Dans ce guide, l'utilisation de ces outils pour collecter des mesures est appelée « capture des bâtiments ». Ce chapitre décrit les technologies et les méthodologies permettant d'acquérir des mesures fiables et de générer des résultats avec une résolution et une précision suffisantes pour les applications de rénovation de panneaux. Le chapitre 8 couvre le processus ou le flux de travail pour convertir les données de mesure sous forme de nuages de points en dessins d'atelier.

Les chapitres 7 et 8 couvrent les étapes suivantes :

- Planification ;
- Acquisition de données (travail sur le terrain) ;
- Traitement des données (travail de bureau) ;
- Production d'une documentation « telle que trouvée » (facultatif) ;
- Conception de panneaux et production de dessins d'atelier ;
- Partager et diffuser l'information.

### 7.1 Avantages d'une approche de capture numérique de bâtiment

Le avantages d'une approche de capture numérique de bâtiment sont :

- Peut capturer des mesures clés à distance avec un impact minimal sur les occupants ;
- Peut capturer les mesures des ouvertures des étages supérieurs sans avoir recours à des échafaudages ou des ascenseurs ;
- Peut capturer des dimensions et des pentes de toit précises ;
- Peut capturer simultanément d'autres informations pertinentes sur le bâtiment et le site ;
- Peut aider à identifier les incohérences et les irrégularités du bâtiment (c'est-à-dire hors d'aplomb, hors de niveau) ;
- Réduit le risque d'erreur de saisie des données ;
- Les données peuvent être facilement distribuées et partagées avec les différentes parties prenantes du projet ;
- Les dessins des panneaux peuvent être facilement vérifiés par rapport aux nuages de points et autres mesures numériques au bureau, en tant qu'étape d'assurance qualité avant la mise en production.

## 7.2 Inconvénients possibles d'une approche de capture numérique de bâtiment

Les aspects négatifs potentiels d'une approche de capture numérique de bâtiment :

- Les données peuvent être inaccessibles sans logiciels et compétences spécialisés ;
- Difficulté à trouver des prestataires de services ;
- Le coût peut dépasser celui des méthodes traditionnelles ;
- Coût élevé des outils et des logiciels.

## 7.3 Définitions

Les termes suivants relatifs à la capture des bâtiments sont définis ci-dessous :

- **Précision** – degré de conformité de la mesure obtenue avec la valeur réelle ;
- **Capture des bâtiments** – processus global d'obtention des mesures, de traitement des données de mesure et de représentation dans un format adapté à la conception et à la fabrication des panneaux ;
- **Étalonnage** – réduction systématique des écarts de mesure en corrélant les relevés des instruments avec des valeurs de référence précises ; en numérisation laser 3D, il s'agit de l'étalonnage de l'équipement et des instruments ; en photogrammétrie, il s'agit de la mesure et de la compensation logicielle de la distorsion de l'objectif de l'appareil photo afin d'améliorer la précision ;
- **Système de coordonnées** – cadre 3D commun pour une mesure unique ou un groupe de mesures – exprimé en valeurs X, Y, Z (notation cartésienne) ;
- **Plan clé** – plans d'étage montrant les principaux éléments architecturaux de chaque bâtiment par niveau. Ils représentent graphiquement les murs, les portes, les fenêtres, les numéros de pièces et d'autres fonctionnalités ;
- **Grille locale** – mesure les positions sur un site par rapport à un point placé sur le site. Toutes les mesures sont donc relatives à ce point de référence ;
- **Précision de la mesure** – degré d'écart relatif aux données de mesure ; dans le cas du balayage laser 3D, cette précision est principalement influencée par l'écart-type du capteur de l'équipement, la manière dont les mesures sont regroupées dans un système de coordonnées unique, l'angle d'incidence, la réflectivité, la couleur ou la rugosité de la surface, la mise à niveau de l'instrument et les mouvements ou déplacements subtils de l'instrument au cours du balayage ;
- **Dessins mesurés** – dessins préparés à partir de mesures prises sur place d'un bâtiment existant à rénover (à ne pas confondre avec les dessins conformes à l'exécution, qui sont préparés par un entrepreneur lors de la construction d'un bâtiment, ou avec les dessins d'enregistrement, qui sont un recueil des dessins de construction originaux, des modifications apportées au site et des informations tirées des dessins conformes à l'exécution de l'entrepreneur) ;
- **Origine** – point central d'un système de coordonnées défini comme 0,0,0 ;
- **Plan clé des panneaux** – indique l'emplacement de chaque panneau par son numéro ;
- **Nuages de points** – ensemble de données numériques en 3D générées par un scanner laser ou un logiciel de photogrammétrie ;
- **Précision** – degré auquel des mesures similaires ou répétées donnent les mêmes résultats. Un bon système de mesure possède à la fois une bonne précision et une bonne exactitude ;



- **Précision représentée** – précision d'une représentation ou d'un dessin telle qu'elle est interprétée à partir des données de mesure, indépendamment de la précision mesurée ;
- **Résolution** – dans le cadre d'un balayage laser 3D, la distance entre deux points mesurés indépendamment à la surface de l'objet ; elle est généralement exprimée à une distance donnée (par exemple, 6,1 mm à 10 m). Il est important de comprendre que la résolution varie au sein d'un nuage de points en fonction des éléments suivants :
  - la distance entre le scanner et l'objet mesuré, et
  - le degré de chevauchement entre les différentes stations de balayage.
- **Tolérance** – la quantité de variation autorisée entre une dimension physique et une valeur spécifiée (par exemple, +/- 5 mm).

## 7.4 Mesures critiques, informations sur le site, documentation

Les sous-sections suivantes décrivent certaines des principales informations et dimensions requises pour un projet typique de rénovation de panneaux, ainsi que la meilleure façon d'enregistrer et de communiquer ces informations.

### 7.4.1 Photographies du site

Les photographies du bâtiment et du site sont précieuses, quel que soit le choix de la méthode de capture des bâtiments. Toutes les conditions susceptibles d'affecter la conception, la fabrication et l'installation des panneaux doivent être photographiées. En voici quelques exemples :

- Cibles d'enregistrement ou de contrôle utilisées dans la capture du bâtiment ;
- Élévations du bâtiment à partir de différents endroits et sous différents angles ;
- Matériaux d'enveloppe des bâtiments existants et leur état ;
- Fonctionnalités uniques du bâtiment ;
- Photographies de détail en gros plan des ouvertures de toit, de fenêtre et de porte ;
- Entrées de service et compteurs (gaz, eau, électricité, climatisation) ;
- Équipements et accessoires montés sur les murs et les toits (antennes paraboliques, antennes, climatiseurs, boîtes aux lettres, appareils électriques, robinets d'arrosage, etc ;) ;
- Conditions générales du site (arbres, plantations, lignes électriques, clôtures, terrasses en bois, escaliers, mains courantes, bâtiments annexes, obstacles, équipements mécaniques, etc ;) ;
- L'état des toits, des soffites, des gouttières et des tuyaux de descente.

Le nom des fichiers des photographies doit inclure une brève description et l'emplacement de chaque photographie et doit être référencé à un plan du site ou à un plan clé du bâtiment. Le temps consacré à la prise et à l'organisation des photos sera probablement économisé lors de l'élaboration des détails des panneaux.

## 7.4.2 Plan du site et plan clé

Le **plan du site** est une représentation en 2D (dans certains cas en 3D) du site du bâtiment. Il indique l'empreinte du bâtiment, les obstacles éventuels (grands arbres, câbles aériens, bâtiments voisins) et l'emplacement des stations de balayage et des photographies. Les **plans clés** sont des plans d'étage individuels montrant les principaux éléments architecturaux de chaque étage qui seront conservés et nécessaires à la conception des panneaux. Les fonctionnalités pertinentes d'un plan clé comprennent le périmètre de l'extérieur du bâtiment et l'emplacement des fenêtres et des portes.



Figure 7-1 : Plan du site indiquant l'emplacement des analyses et des photos

## 7.4.3 Mesures critiques et précision requise

La figure 7-2 ci-dessous illustre les dimensions critiques qui doivent être saisies et représentées avec précision afin de concevoir des panneaux de rénovation pour une maison en rangée typique.

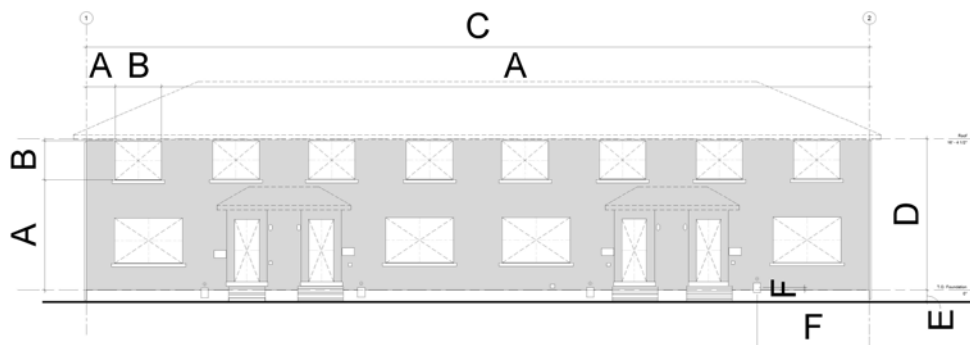


Figure 7-2 : Mesures critiques

La figure 7-2 suggère un degré de précision ou d'incertitude maximale acceptable. Ce degré varie en fonction du type de panneau, de sa capacité à prendre en compte les anomalies et de la stratégie d'ajustement du panneau. Il est important de tenir compte des sources d'erreur et d'incertitude et du degré de tolérance qu'un panneau peut accepter tout en restant adapté au terrain.

**Tableau 7-1 : Mesures critiques et exemples de tolérances de mesure**

Mesure / Dimension		Tolérance	
		(en)	(mm)
A	Position de l'ouverture de la fenêtre dans la façade (X, Y)	¼"	6
B	Ouverture brute des fenêtres et des portes (hauteur et largeur)	½"	12
C	Largeur totale du bâtiment	¼"	6
D	Hauteur totale du bâtiment, du sommet des fondations à la sous-face du soffite	1"	25
E	Niveau moyen du sol jusqu'au sommet de la fondation	1"	25
F	Ligne médiane des pénétrations de bâtiments, des compteurs de services publics et des entrées de service	1"	25

Pour calculer les dimensions approximatives des ouvertures à partir des mesures obtenues par capture numérique (l'intérieur du cadre de la fenêtre, l'extérieur du moule à briques ou d'autres bords proéminents), il est nécessaire de mesurer soigneusement à la main le profil du cadre de la fenêtre pour établir la relation entre les dimensions capturées et les ouvertures approximatives. Pour ce faire, il est généralement nécessaire d'enlever l'habillage intérieur. Cette opération doit être effectuée à la fois pour les fenêtres et les portes. S'il y a plus d'un type de fenêtre, il peut être nécessaire de le faire pour chacun d'entre eux.

## 7.5 Sources d'erreur

Plusieurs sources d'erreur peuvent compromettre la précision des mesures. Il est important de comprendre ces sources afin de les minimiser dans la mesure du possible, et d'intégrer des tolérances et des stratégies pour garantir l'ajustement des panneaux sur le site. Les stratégies d'ajustement des panneaux sont abordées à la section 8.1.

Incertitude de l'instrument  
 Erreur d'interprétation  
 Tolérances de fabrication + stabilité dimensionnelle  
 Tolérances d'installation  


---

**Erreur potentielle totale**

## 7.6 Technologie et méthodologie de la capture du bâtiment

### 7.6.1 Mesures de la main

Pour mettre à l'échelle avec précision un modèle photogrammétrique 3D, des mesures de référence doivent être établies sur le terrain. Pour ce faire, il convient d'installer au moins deux points de référence fixes (cibles) sur chaque façade de bâtiment et de mesurer précisément la distance qui les sépare. L'ajout d'une troisième cible peut aider à établir l'axe vertical. Les cibles noires et blanches sont les mieux adaptées car elles sont très visibles sur les photographies et ont un point d'intersection précis à partir duquel il est possible de prendre des mesures. Idéalement, ces cibles devraient être placées aussi loin que possible l'une de l'autre horizontalement (sans introduire d'erreur d'affaissement du ruban) afin d'augmenter le niveau global de précision. Si possible, elles doivent être placées près des extrémités de chaque façade. Les mesures peuvent être prises à l'aide d'un mètre ruban traditionnel ou d'un télémètre électronique. Un identifiant unique doit être attribué à chaque cible et les distances entre les cibles doivent être soigneusement enregistrées (par exemple, T001:T002 = 32,450 m).

Pour niveler avec précision un modèle photographique 3D, il faut établir un axe z (vertical) correct. Pour ce faire, il convient d'installer deux cibles alignées verticalement à l'aide d'un fil à plomb ou d'un autre instrument fiable permettant d'établir une ligne d'aplomb. Une mesure précise entre les cibles alignées verticalement doit également être enregistrée pour faciliter la mise à niveau du modèle photogrammétrique.

Pour les rénovations par panneaux, il est important de garder à l'esprit que de nombreux bâtiments existants ne sont ni de niveau ni d'aplomb. Il peut être préférable d'établir un point de référence et une ligne de base à partir de la fondation ou du système de plancher et de l'axe vertical aussi perpendiculaire que possible à cette ligne et aussi coplanaire que possible par rapport à la façade du bâtiment.

### 7.6.2 Réseau de contrôle des enquêtes : Enquête par station totale

Une alternative beaucoup plus efficace et précise aux mesures manuelles consiste à utiliser une station totale pour saisir les coordonnées 3D de chacune des cibles noires et blanches installées sur le terrain. Une station totale est un instrument d'enquête qui combine les fonctionnalités d'un théodolite électronique (ou transit) avec des capacités de mesure électronique de la distance et un logiciel avancé. Ils mesurent la rotation angulaire et la distance pour déterminer la position d'un point dans l'espace. Ces services d'arpentage sont facilement disponibles dans la plupart des régions et ce travail peut être effectué par un enquêteur local ou un technicien de terrain interne. Le coût des stations totales est relativement faible et les opérations de base sont simples.

Ces instruments sont extrêmement précis lorsqu'ils sont utilisés correctement. Par exemple, un instrument d'une seconde d'arc permet d'obtenir une précision de positionnement d'environ 1 mm à partir d'une distance de 200 m, avec une erreur de distance de  $1 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$ . L'utilisation d'une station totale dans le cadre d'une enquête présente un autre avantage : elle permet de s'assurer que les autres données collectées sur le terrain sont exactes, tant sur le plan dimensionnel que spatial.

Lorsqu'un géomètre est engagé pour effectuer le travail, l'approche générale suivante peut être utilisée :

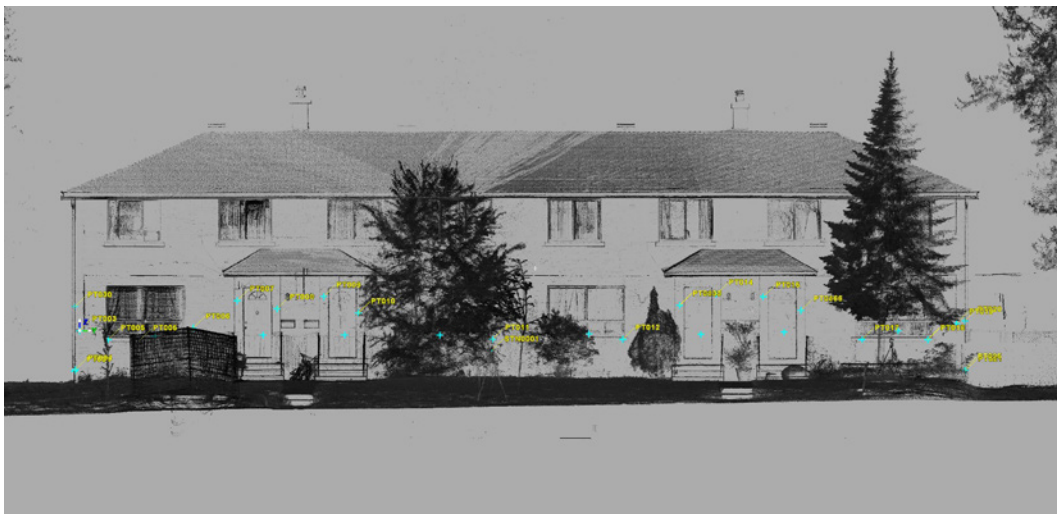
- Installez au moins deux cibles noires et blanches étiquetées sur chaque façade de bâtiment avant l'arrivée de l'enquêteur sur le site. Étiquetez clairement les cibles (par exemple, T001, T002, T003, etc.).
- Fournissez au géomètre ou au technicien de terrain l'adresse de la municipalité, des photographies générales du site et un nombre approximatif de cibles à observer. Cela les aidera à estimer le niveau d'effort et le coût du travail.

- Installez une cible « d'origine » clairement marquée sur le site, étiquetez-la T000 (ou similaire) et demandez au géomètre de l'assigner comme point d'origine pour le système de coordonnées. Idéalement, la cible d'origine devrait être située près de l'angle sud-ouest du bâtiment.
- Indiquez la face du bâtiment sur laquelle le système de coordonnées doit être aligné, sachant que cela déterminera l'orientation de vos modèles 3D.
- Demandez que les coordonnées de la grille locale soient fournies pour chaque cible dans un format .TXT délimité par des tabulations, comme suit :

Point#	Orientation est	Orientation nord	Élévation	Commentaire
T001,	61.256319,	46.178799,	14.632597,	façade sud-est, extrémité
T002,	60.664522,	89.936689,	43.659942,	façade sud-ouest, extrémité



**Figure 7-3** : Une station totale peut être utilisée pour obtenir les coordonnées 3D de points discrets (angles de bâtiments, ouvertures de fenêtres, etc.) ou de cibles.



**Figure 7-4** : Un réseau de contrôle topographique est projeté sur un nuage de points afin d'observer sa position relative en 3D.

### 7.6.3 Photogrammétrie

La photogrammétrie est un processus qui permet de générer des modèles 3D extrêmement détaillés et précis à partir d'une série d'images photographiques. Le principal inconvénient de l'utilisation d'images photographiques en photogrammétrie architecturale est que les modèles 3D qui en résultent sont sans échelle et sans référence précise au niveau. Combinés à des données de mesure précises, les résultats peuvent être extrêmement fiables.

Les principaux avantages de la photogrammétrie sont l'accessibilité de la technologie, le coût relativement faible de l'équipement et les compétences minimales requises pour la saisie des données.

Bien que n'importe quel appareil photo numérique puisse être utilisé, les meilleurs résultats seront obtenus avec un appareil photo reflex numérique haut de gamme équipé d'un objectif fixe. Pour les applications architecturales, un objectif grand angle est généralement préférable (20 mm, 28 mm). Un appareil photo plein cadre donnera de meilleurs résultats, mais nécessitera également une plus grande puissance de traitement informatique. Un objectif rapide (f1.8 ou plus) permet d'obtenir des images nettes dans des conditions de faible luminosité. Il est préférable d'utiliser la priorité à l'ouverture (f/5,6-f/8,0), ce qui permet de s'assurer que toutes les fonctionnalités du bâtiment sont bien mises au point et qu'il n'y a pas de profondeur de champ prononcée dans les images. D'une manière générale, la plupart des fonctionnalités automatiques et des manipulations d'image doivent être désactivées sur l'appareil photo (par exemple, le contrôle de la vignette, le D-Lighting actif, la balance des blancs automatique). La balance des blancs manuelle doit être utilisée pour garantir des couleurs homogènes. Dans la mesure du possible, utilisez un trépied, car la netteté des images est essentielle pour obtenir des résultats de qualité.

Le processus de capture des données consiste à prendre une série de photos qui se chevauchent autour du périmètre du building. En général, chaque photo doit se chevaucher au minimum à 60 % avec la photo précédente, avec une rotation maximale de 10 à 15°. Pour obtenir les meilleurs résultats, une boucle fermée complète du bâtiment doit être réalisée en un balayage continu, avec une photo prise tous les deux ou trois pieds. Privilégiez la prise d'un plus grand nombre de photos, car cela permettra d'assurer un chevauchement suffisant et un certain niveau de redondance au cas où une photo de mauvaise qualité serait prise. La transition autour des angles du bâtiment doit être graduelle, sans changement brusque de l'angle sous lequel les photos sont prises.

Une fois capturée, la série de photographies obtenue peut être introduite dans un logiciel de photogrammétrie afin de générer un modèle 3D complet du building. Si les photographies ont été prises avec beaucoup de soin, certains logiciels peuvent être en mesure de produire un modèle 3D détaillé avec peu ou pas d'opérations supplémentaires. Dans d'autres logiciels, des points discrets peuvent être sélectionnés à partir de plusieurs photographies pour construire un modèle filaire.

Une fois le traitement terminé, les coordonnées cibles fournies par le géomètre peuvent être introduites dans le logiciel de photogrammétrie afin d'établir l'échelle et l'orientation du modèle.

Les systèmes d'aéronefs pilotés à distance (SATP, également communément appelés drones) dotés d'appareils photo intégrés peuvent également être utilisés pour capturer des données photographiques dans des zones difficiles à saisir depuis le sol, telles que les rebords de fenêtres des étages supérieurs et les lignes de toit, ainsi que les façades des bâtiments de moyenne et grande hauteur. Ce type d'équipement est relativement peu coûteux et de nombreux modèles intègrent des caméras de haute qualité qui conviennent parfaitement aux applications photogrammétriques. Au Canada, tous les opérateurs de SATP doivent être en possession d'un certificat valide de pilote de drone délivré par Transport Canada.



**Figure 7-5** : Données photographiques capturées par reflex numérique et par drone pour le modèle de photogrammétrie.

### 7.6.4 Numérisation 3D LiDAR

Le balayage laser 3D ou LiDAR est une technologie utilisée pour collecter rapidement des informations dimensionnelles sur des objets se trouvant dans l'environnement immédiat du scanner. Il existe sur le marché toute une gamme de scanners destinés à des applications différentes. Le balayage laser 3D est couramment utilisé dans l'exploitation minière, la fabrication, la rétro-ingénierie, la criminalistique, l'ingénierie et l'architecture.

Pour les applications architecturales, les scanners terrestres (ou stationnaires) sont les plus courants. Ces scanners se caractérisent par un miroir motorisé tournant sur l'axe vertical. Le miroir réfléchit le laser vers l'extérieur, en direction de l'environnement, et l'ensemble de la tête de balayage tourne sur l'axe horizontal. Lorsque le laser rencontre des objets, il se réfléchit sur la tête du scanner qui calcule la distance en se basant sur la technologie du temps de vol ou du déphasage (en fonction du scanner). Une rotation complète dans les deux axes permet d'obtenir un scan du dôme, qui comprend généralement des dizaines de milliers à des millions de points xyz dans l'espace. L'ensemble de données xyz qui en résulte est appelé nuage de points. Certains scanners sont équipés de caméras couleur qui peuvent compléter les données spatiales xyz par des valeurs de couleur rgb. Contrairement aux stations totales, les scanners laser ne sont pas discriminatoires et capturent tous les objets se trouvant à une distance tolérable.

La numérisation est généralement effectuée à plusieurs endroits ou stations autour du bâtiment souhaité. La combinaison et l'alignement des numérisations individuelles dans un système de coordonnées unique s'appellent l'enregistrement des numérisations. L'enregistrement des scans est effectué sur site ou hors site à l'aide d'un logiciel. Certaines applications logicielles exigent que des cibles soient introduites dans la scène pour faciliter l'enregistrement, tandis que d'autres applications logicielles permettent un enregistrement sans cible ; les fonctionnalités qui se chevauchent dans deux ou plusieurs scans sont identifiées, en utilisant essentiellement des fonctionnalités de la scène elle-même comme cibles. L'enregistrement sans cible permet de gagner un temps considérable sur place, car l'étape préparatoire de la mise en place de cibles physiques est éliminée. Cependant, on peut s'attendre à ce que les cibles produisent des résultats meilleurs et plus cohérents. Ces mêmes cibles peuvent être utilisées pour établir un réseau de contrôle de l'enquête.

La numérisation laser présente de nombreux avantages, notamment une grande précision, un niveau de détail inégalé, des flux de travail rapides et la possibilité de modéliser ou de dessiner à partir des nuages de points obtenus directement dans les logiciels CAO, BIM et autres applications courantes. Les principaux inconvénients de la numérisation laser sont le coût élevé du matériel et des logiciels, les flux de travail spécialisés, la taille importante des fichiers, les problèmes de balayage linéaire (lorsque des parties de l'architecture ne peuvent pas être vues ou mesurées par le scanner) et les surfaces très réfléchissantes que les lasers ne peuvent pas capturer.

Il convient de noter que le balayage laser et d'autres technologies de capture de la réalité font actuellement l'objet d'un grand intérêt public et commercial et que des efforts considérables sont déployés pour réduire les coûts, augmenter la qualité et améliorer les processus. Au moment de la rénovation, le balayage laser 3D représente probablement la technologie de capture numérique la plus précise et la plus mature pour cette application. CanmetÉNERGIE reconnaît également que les technologies de capture des bâtiments font l'objet d'innovations rapides. La photogrammétrie 3D ou d'autres technologies pourraient remplacer le balayage laser en tant qu'alternatives plus rentables à l'avenir.



**Figure 7-6** : Techniciens de terrain utilisant un scanner laser 3D (LiDAR) pour mesurer un bâtiment existant.

Ce guide propose trois méthodologies hybrides différentes qui peuvent être utilisées au mieux pour la capture des bâtiments numériques en vue d'une rénovation par panneaux. Chaque méthodologie utilise une combinaison unique de mesures manuelles (ou à l'aide d'un distancemètre), de relevés par station totale, de photographies (photogrammétrie) et de numérisation LiDAR 3D. Le choix de la méthode la mieux adaptée à votre projet dépendra de votre situation et de vos besoins spécifiques. Chaque méthodologie nécessitera probablement quelques mesures manuelles pour localiser la position des ouvertures brutes par rapport à la géométrie visible dans le nuage de points, par exemple.

Le tableau 7-2 ci-dessous présente chacune des trois méthodologies (de la moins sophistiquée à la plus sophistiquée) ainsi que l'équipement, les processus et les résultats correspondants.



**Tableau 7-2** : Comparaison des différentes méthodes de capture des données (de la moins sophistiquée à la plus sophistiquée)

Method	Niveau de précision	Temps / Effort / Coût	Disponibilité des services	Accessibilité des données produites	Complexité	Capture des données	Équipement	Résultats	Formats
<b>A</b>	MOYEN	TRÈS FAIBLE	HAUT	HAUT	TRÈS FAIBLE	<b>CONTRÔLE DE L'ENQUÊTE RÉSEAU</b>	Station totale et/ou compteur de distance	<ul style="list-style-type: none"> <li>Échelonné, mesurable, Haute résolution 2D Ortho-élevations; peuvent être importés dans logiciel de CAO</li> </ul>	.JPG/.PNG
						<b>PHOTOGRAMMÉTRIE</b>	Appareil photo reflex numérique, objectif fixe et/ou système d'avion téléguidé	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nuages de points 3D colorisés générés à partir de photos ; peuvent être importés dans des logiciels de CAO et de BIM</li> </ul>	.E57/.PTS/.RCS/.RCP
<b>B</b>	HAUT	MOYEN	MOYEN	HAUT	MOYEN	<b>RÉSEAU DE CONTRÔLE DES ENQUÊTES</b>	Station totale	<ul style="list-style-type: none"> <li>Échelle, mesurable, faible résolution Élévations de nuages de points en 2D ; peuvent être importées dans la CAO et les logiciels BIM</li> </ul>	.JPG/.PNG
						<b>NUMÉRISATION 3D TERRESTRE</b>	Note de l'enquête Scanner laser 3D	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nuages de points 3D colorisés ; peuvent être importés dans des logiciels de CAO et de BIM</li> </ul>	.E57/.PTS/.RCS/.RCP
<b>C</b>	HAUT	HAUT	FAIBLE	HAUT	HAUT	<b>RÉSEAU DE CONTRÔLE DES ENQUÊTES</b>	Station totale	<ul style="list-style-type: none"> <li>2D à l'échelle, mesurable et à haute résolution Ortho-élevations; peuvent être importés dans logiciel de CAO</li> </ul>	.JPG/.PNG
						<b>NUMÉRISATION 3D TERRESTRE</b>	Note de l'enquête Scanner laser 3D	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nuages de points 3D colorisés; peut être importé dans la CAO et les logiciels BIM</li> </ul>	.E57/.PTS/.RCS/.RCP
						<b>PHOTOGRAMMÉTRIE</b>	Appareil photo reflex numérique, objectif fixe ou système d'aéronef piloté à distance		

## 7.7 Formats de données

Les formats de données sont dictés à la fois par le processus de capture du bâtiment et par le flux de travail de la conception des panneaux.

### 7.7.1 Nuages de points

Un nuage de points est composé de dizaines de milliers à des millions de points xyz dans l'espace qui représentent la surface d'une forme 3D – pour REEEP, il s'agit d'un bâtiment et de ses environs. Les nuages de points peuvent être générés par des scanners laser et par des logiciels de photogrammétrie. Certains scanners laser sont équipés de caméras couleur qui peuvent augmenter les données spatiales xyz avec des valeurs de couleur rgb.

Il existe des centaines de formats de fichiers pour la modélisation 3D. Le nombre de formats de fichiers de nuages de points pouvant être utilisés dans la CAO et le BIM augmente également. Les groupes de formats les plus courants sont les suivants :

**PTS, PTX, XYZ** – il s'agit de formats courants qui sont pris en charge par la plupart des logiciels BIM et qui sont faciles à convertir et à manipuler ;

**PCG, RCS, RCP** – sont des formats propriétaires d'Autodesk et sont compatibles avec Revit et Autodesk Recap, mais pas avec les applications extérieures à Autodesk ;

**E57** – est un format de fichier neutre pour les nuages de points qui permet de stocker des images et des métadonnées. Il est compact et largement utilisé.

La diversité des formats de fichiers peut poser des problèmes de compatibilité pour les flux de travail de modélisation. Les concepteurs de panneaux doivent veiller, lorsqu'ils effectuent ou commandent des services de capture des bâtiments, à s'assurer qu'ils reçoivent ou créent des fichiers qui seront compatibles avec les logiciels et les flux de travail qu'ils prévoient d'utiliser.

**Tableau 7-3** : Formats des nuages de points

Logiciel de conception de panneaux	Autodesk Revit	Autodesk Recap	Cadwork
Format de fichier			
E57		X	X
PTS		X	X
LAS		X	X
RCS	X	X	
RCP	X	X	

## 7.7.2 Mesures de la station totale

La plupart des stations totales sont capables de convertir les coordonnées sphériques de l'enquête en mesures spatiales cartésiennes et de les enregistrer sous forme de données xyz. Dans le jargon des géomètres, l'axe x correspond à l'orientation est, l'axe y à l'orientation nord et l'axe z à l'altitude.

Les stations totales peuvent exporter des coordonnées de grille locale au format .TXT délimité par des tabulations, qui peuvent être importées dans l'environnement de modélisation.

Les coordonnées de la grille locale peuvent être fournies pour chaque cible au format .TXT délimité par des tabulations, comme suit :

Point#	Orientation est	Orientation nord	Élévation	Commentaire
T001,	61.256319,	46.178799,	14.632597,	façade sud-est, extrémité
T002,	60.664522,	89.936689,	43.659942,	façade sud-ouest, extrémité

## 7.8 Résultats de la capture des bâtiments et documentation de base

Certains processus de conception de panneaux et certains logiciels peuvent être limités au travail en 2D. Toutes les méthodes de capture des bâtiments décrites dans le tableau 7-3 sont capables de produire des ortho-élevations 2D mesurables et à l'échelle. Celles-ci peuvent être importées dans un logiciel de CAO pour modéliser chaque élévation du bâtiment ou pour élaborer directement les dessins d'atelier des panneaux.



**Figure 7-7** : Les ortho-élevations 2D mesurables et à l'échelle peuvent être importées dans un logiciel de CAO.



**Figure7-8** : Les nuages de points 3D peuvent être importés dans les logiciels BIM et CAO.

Dans la plupart des cas, cependant, le résultat préféré du processus de captures des bâtiments sera un nuage de points 3D colorisés. Les nuages de points peuvent être importés en mode natif dans la plupart des logiciels BIM et la modélisation peut se faire directement sur le nuage de points.

Les processus de conception des panneaux peuvent impliquer une modélisation préalable du bâtiment existant pour représenter les géométries telles qu'elles existent. Cela peut être utile pour générer des modèles énergétiques ou des documents de permis. La modélisation informatique du bâtiment fait traditionnellement partie du flux de travail pour de nombreuses applications de capture des bâtiments ; cependant, la modélisation est longue, coûteuse et sacrifie généralement la précision du projet d'une manière ou d'une autre. En modélisant manuellement, un technicien doit interpréter les points de données du nuage de points et les convertir en lignes dans un environnement CAO (conception assistée par ordinateur) ou BIM (modélisation des informations du bâtiment). Cette interprétation peut être source d'erreurs. Les entreprises progressistes et les fournisseurs de logiciels cherchent de plus en plus à capitaliser sur l'utilisation directe du nuage de points, éliminant ainsi la modélisation du flux de travail. Un fabricant de panneaux pourrait utiliser des logiciels tels qu'AutoCAD ou Revit, par exemple, pour concevoir des panneaux directement à partir d'un nuage de points 3D scanné au laser afin de produire des dessins d'atelier. Une certaine modélisation sera probablement nécessaire pour représenter la démolition requise qui doit avoir lieu après la capture des données et avant l'installation des panneaux, mais la nécessité même de générer un jumeau numérique du building devrait être examinée.

Un processus de capture des bâtiments efficace permet de collecter toutes les informations nécessaires sur le site et de ne pas perdre de temps et d'argent avec une modélisation superflue d'informations non pertinentes et de détails supplémentaires.

## 8. CONCEPTION ET DESSIN DES PANNEAUX

Une fois que les concepteurs disposent d'une élévation ortho 2D précise, d'un nuage de points 3D ou d'un modèle 3D, une application telle qu'Autodesk Revit peut être utilisée pour extraire rapidement et efficacement des informations clés sur lesquelles fonder la disposition et la conception de leurs panneaux. Vous trouverez des vidéos supplémentaires de ce flux de travail utilisant Revit [ici](#). Les fabricants de panneaux canadiens utilisent souvent des logiciels spécialisés tels que Cadwork ou StrucSoft pour produire des documents de fabrication. Cadwork comprend un module appelé Nuages de points, qui permet de modéliser directement sur le nuage de points. StrucSoft MWF Pro Wood est un plug-in Revit qui permet à ses utilisateurs d'automatiser la conception des éléments de charpente et d'autres couches et de produire des documents de construction en 2D. CanmetÉNERGIE et ReCover ont développé un prototype de flux de travail en utilisant Cadwork et LexoCad.

### 01-Créer un nouveau projet

- Ouvrez l'application et créez un nouveau projet avec l'unité de mesure de votre choix.

### 02-Importer un nuage de points

- Cliquez sur **Insérer > Nuages** de points et naviguez jusqu'au fichier de nuages de points .RCP.
- Une fois importé, épinglez le nuage de points en place afin d'éviter toute erreur de placement accidentelle.

### 03-Configurer les vues d'élévation

- Utilisez Revit pour déterminer l'emplacement et la direction des vues en élévation pour chaque face du bâtiment. Localisez le plan de coupe préféré et déterminez la profondeur de coupe.

### 04-Déplacer les points de référence d'élévation

- Dans la vue en élévation, déplacez la ligne de référence de niveau 1 pour l'aligner sur le sommet de la fondation et la ligne de référence de niveau 2 pour l'aligner sur la face inférieure du soffite (ou tout autre endroit pertinent).

### 05-Renommer les référentiels d'élévation

- Renommez les références d'élévation en conséquence.

### 06-Créer un nouveau type d'assemblage mural

- Utilisez Revit pour construire un nouvel assemblage de murs avec les propriétés, les matériaux et les épaisseurs souhaités.

### 07-Dessiner de nouveaux murs autour du périmètre du bâtiment

- Dessinez de nouveaux murs autour du périmètre du bâtiment en vous assurant que le paramètre de la ligne de localisation est défini sur « Finish Face: Interior ».
- Les points de référence « sommet de la fondation » et « sous-face du soffite » peuvent être utilisés pour définir les contraintes de base et de sommet des murs.

### 08-Vérifier l'emplacement des nouveaux murs

- Utilisez les coupes de section pour contrôler l'emplacement vertical des murs.
- Utilisez les vues en plan pour contrôler l'emplacement horizontal des murs.

### 09-Créer des ouvertures dans les murs

- Créez de nouvelles ouvertures de mur en utilisant le nuage de points sous-jacent comme guide.
- Des ouvertures similaires peuvent être créées en les copiant ou en les reproduisant.

### 10-Add Panel Révélations et divisions

- Les révélations peuvent être utilisées dans Revit pour établir des lignes de rupture entre les panneaux, des tolérances, etc.

### 11-Panneaux dimensionnels

- Les dimensions peuvent être utilisées dans Revit à la fois pour modifier et manipuler la géométrie des murs et pour communiquer des données dimensionnelles clés.

### 12-Feuilles de dessin pour l'installation

- Une fois que les dimensions critiques et toutes les annotations nécessaires ont été ajoutées à chacune des vues d'élévation, les vues à l'échelle peuvent être ajoutées aux feuilles de dessin en vue d'une sortie au format CAO ou PDF.

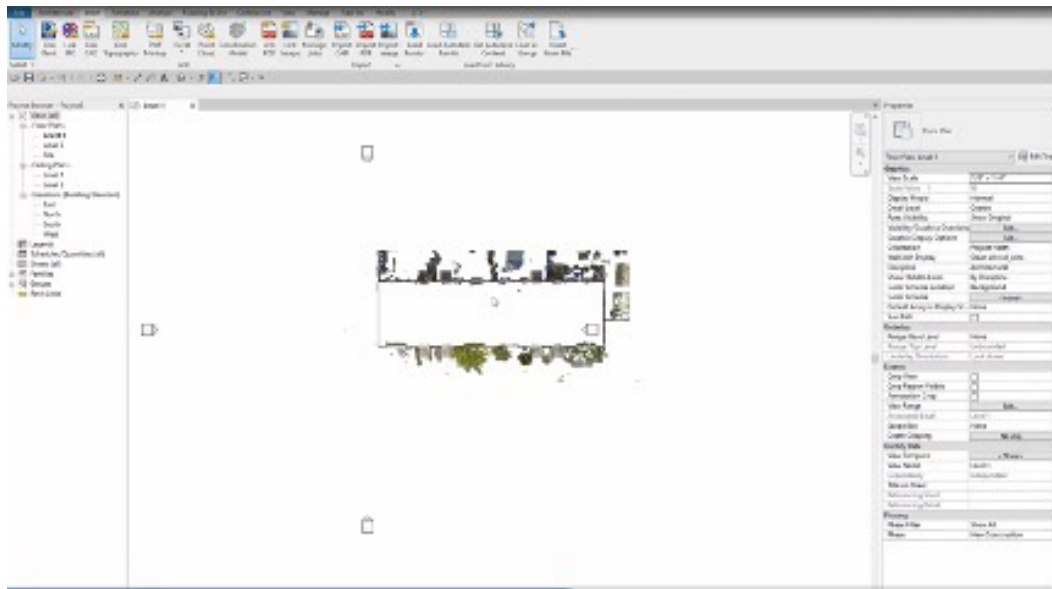


Figure 8-1 : Étape 2 – Importer le nuage de points dans l'environnement Revit :

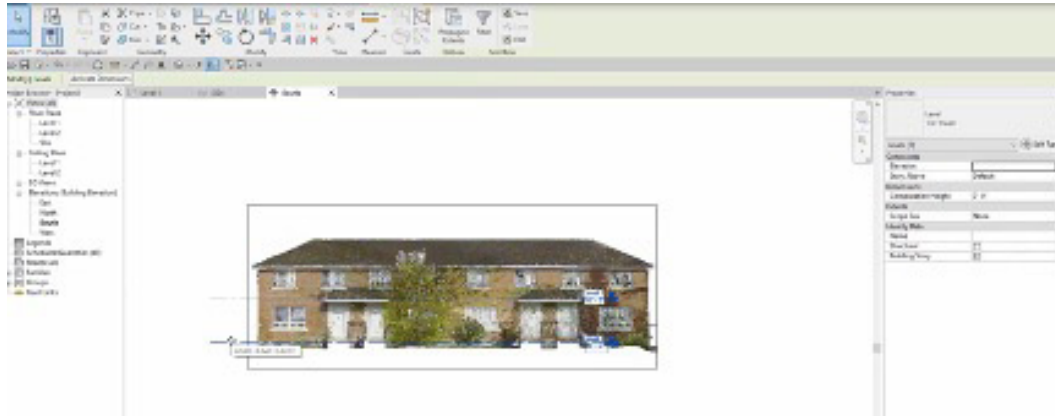


Figure 8-2 : Étape 3 – Mise en place des vues en élévation

## 8.1 Stratégie d'ajustement des panneaux

Une certaine tolérance d'erreur peut être prévue dans les panneaux afin de réduire le risque que les panneaux ne s'adaptent pas au bâtiment existant et qu'il faille les modifier sur place. Cela permet de tenir compte des défauts d'alignement.

Par exemple, les nouvelles fenêtres peuvent être plus petites que les ouvertures d'origine pour s'adapter facilement. Notez que cela n'est généralement pas possible pour les portes extérieures, car elles ne sont disponibles que dans certaines dimensions. C'est pourquoi les portes d'entrée (et les passages de service réalisés en usine plutôt que sur le chantier) peuvent être les dimensions les plus critiques et dicter le positionnement des panneaux.

### 8.1.1 Fenêtres

Comme indiqué ci-dessus, les ouvertures de fenêtre peuvent être légèrement plus petites que les ouvertures brutes existantes, à condition que les exigences du code du bâtiment en matière d'évacuation ne soient pas affectées. Cela laisse une certaine marge d'erreur pour les panneaux et permet de s'assurer que les ouvertures des fenêtres des panneaux se situent dans les ouvertures existantes.

Pour le projet LCO, les ouvertures des fenêtres ont été réduites de 50 mm (2") sur les quatre côtés. L'ouverture brute a été calée si nécessaire pour supporter une extension de montant en contreplaqué. L'intérieur a été fini avec un cadre de finition.

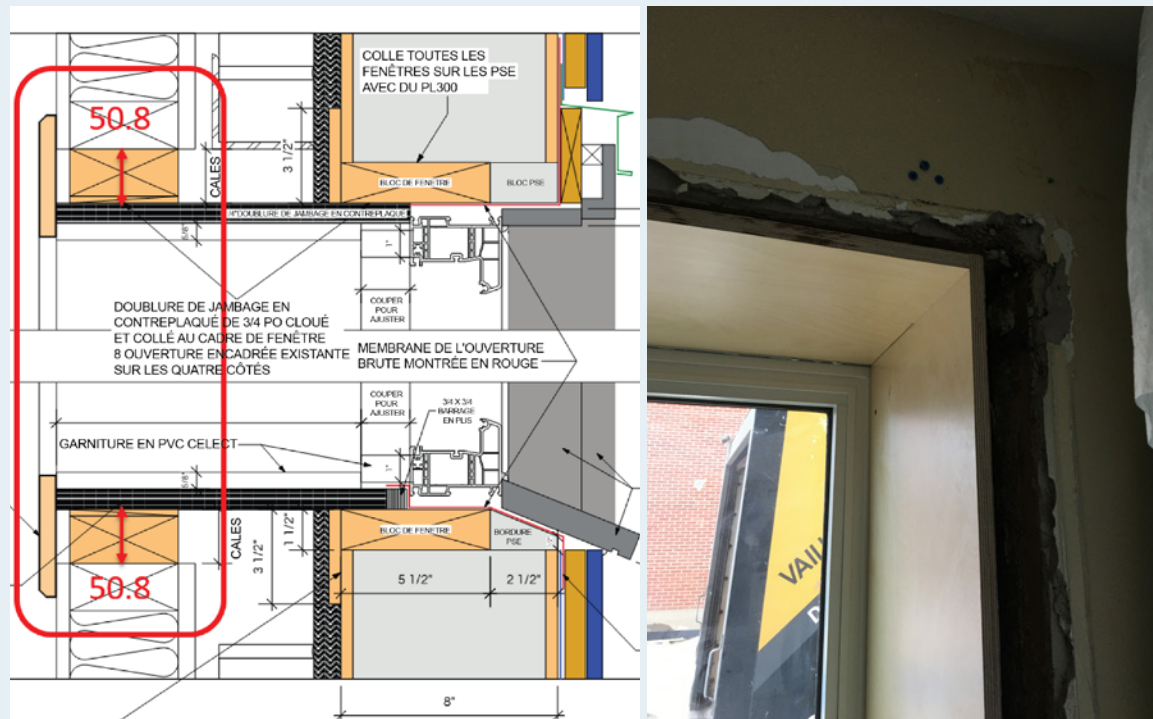
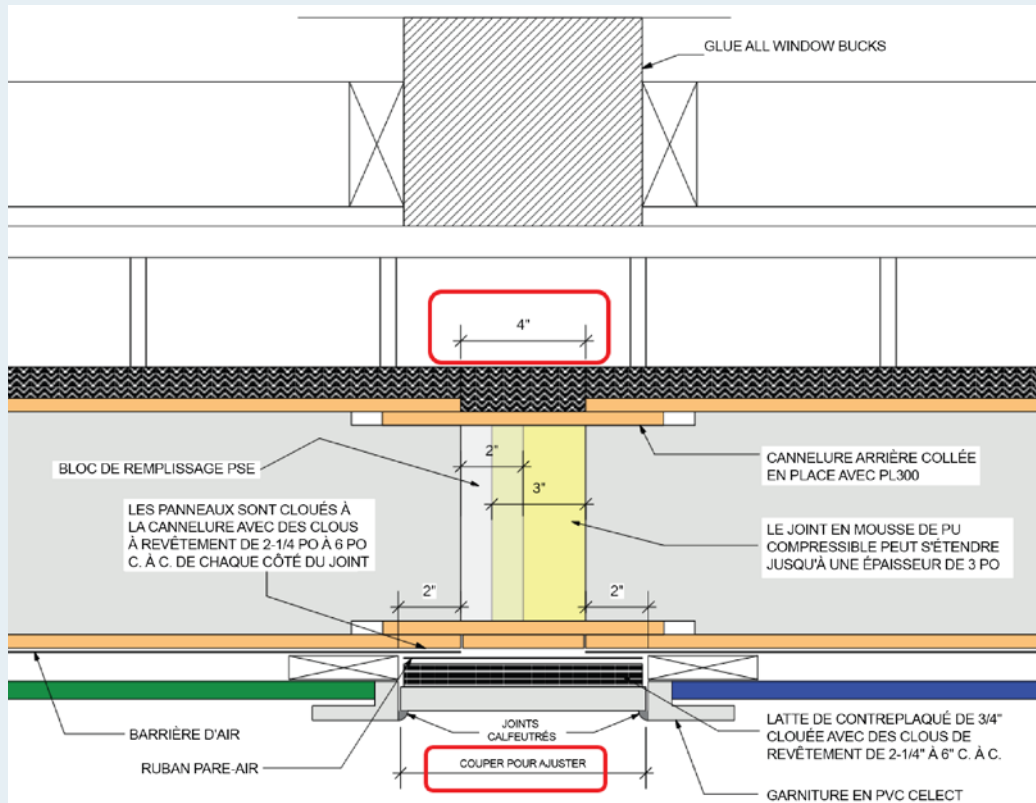


Figure 8-3 : (à gauche) coupe verticale illustrant la stratégie de pose de la fenêtre. (à droite) doublure du montant (extension) vue de l'intérieur

### 8.1.2 Joints verticaux des panneaux

Selon la façon dont ils sont détaillés, les joints verticaux peuvent s'élargir ou se rétrécir pour permettre un ajustement latéral lors de la mise en place des panneaux. L'espace entre les panneaux peut être rempli de mousse de polyuréthane expansible, d'un joint compressible ou d'une bande de remplissage et d'un produit d'étanchéité sur mesure. La cavité du joint de panneau doit être remplie pour minimiser les boucles de convection. Une attention particulière à l'étanchéité à l'air des joints de panneaux est abordée à la section 10.6 ci-dessous. Notez que la longueur des panneaux peut avoir une forte incidence sur l'esthétique du bâtiment. Par exemple, si un bardage horizontal est utilisé et que les joints de panneaux nécessitent une bande de recouvrement verticale, le choix de la longueur des panneaux sera essentiel pour obtenir un design agréable.





**Figure 8-4** : Joint de panneau vertical

Les joints verticaux des panneaux LCO comprenaient un espace nominal de 100 mm entre les panneaux. Les panneaux ont été raccordés à l'aide de cannelures insérées dans une feuille de la mousse. Un matériau d'étanchéité de faible densité a été spécifié pour remplir la cavité. Le joint pouvait facilement se comprimer ou se dilater pour permettre un ajustement latéral de  $\pm 25$  mm (1") pour chaque panneau. Un élément de garniture a été découpé sur place à la largeur finale nécessaire pour terminer le joint.

---

## 9. FABRICATION DE PANNEAUX

En Europe, les fabricants commencent à utiliser la personnalisation de masse pour automatiser la production de panneaux. Une fois que le marché sera établi, cela pourrait bien être possible au Canada. Toutefois, ce guide se concentre sur les processus manuels pour les fabricants de panneaux de petite et moyenne taille pour la première génération de projets.

### 9.1 Exigences de l'atelier et degré de sophistication

Peu d'investissements sont nécessaires pour commencer les opérations et exploiter les avantages de la construction hors site. Un atelier de fabrication de panneaux de base peut comprendre les éléments suivants :

- Un espace clos avec un minimum d'obstructions, avec un sol plat et de niveau, pour fournir un abri contre les éléments ;
- Un bon éclairage zénithal, une alimentation électrique et une alimentation en air comprimé ;
- Des tables d'encadrement surélevées pour travailler à une hauteur confortable ;
- Un palan à chaîne ou un autre moyen de déplacer et de manipuler des panneaux lourds dans l'atelier ;
- Une alimentation électrique fiable suffisante pour faire fonctionner simultanément les compresseurs, les scies, etc ;
- Un espace couvert pour le stockage des matériaux de construction et des panneaux achevés.

Le Logement communautaire d'Ottawa a construit son propre atelier pour fabriquer ses panneaux. Les dimensions de l'atelier de LCO étaient de 32 pi x 32 pi x 12 pi de hauteur. Deux conteneurs d'expédition sont alignés de chaque côté et offrent un endroit sûr pour ranger les outils. Une table roulante de 10 x 18 pieds pouvait être déplacée à l'intérieur de l'atelier. La table comprenait un centre amovible pour faciliter la découpe des ouvertures de fenêtres et de portes



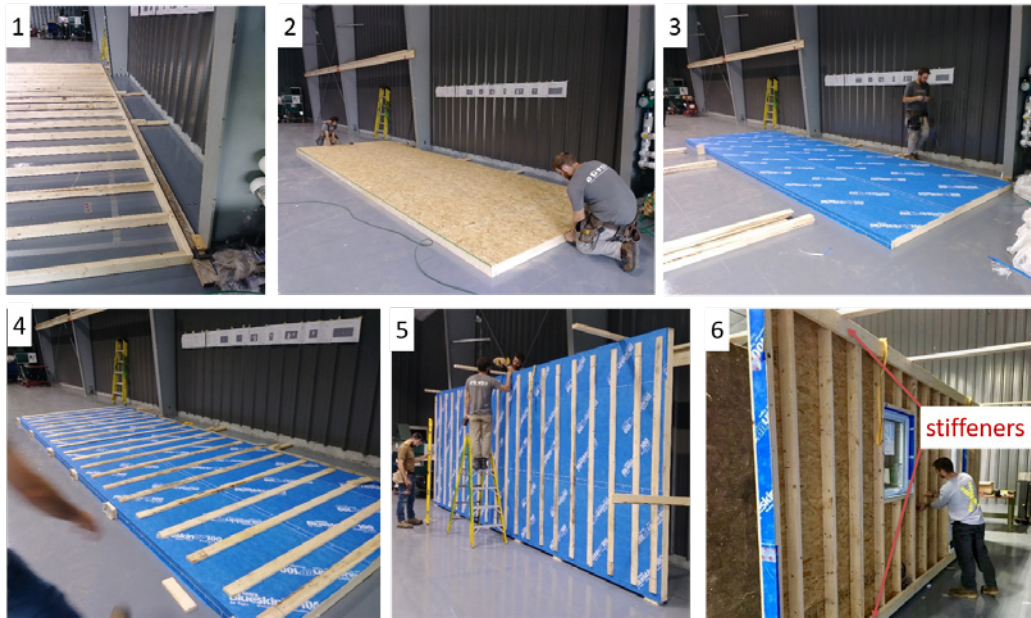
**Figure 9-1** : Atelier de fabrication du LCO

Les projets plus importants peuvent nécessiter plus de sophistication et de mécanisation. Cela n'entre pas dans le cadre de ce guide.

## 9.2 Méthodes de fabrication

Les méthodes de fabrication spécifiques et la séquence varieront en fonction du type de panneau et des détails, des outils disponibles, de la configuration de l'atelier et de l'expertise de l'équipe. Le processus générique utilisé pour trois types de panneaux est décrit ci-dessous.

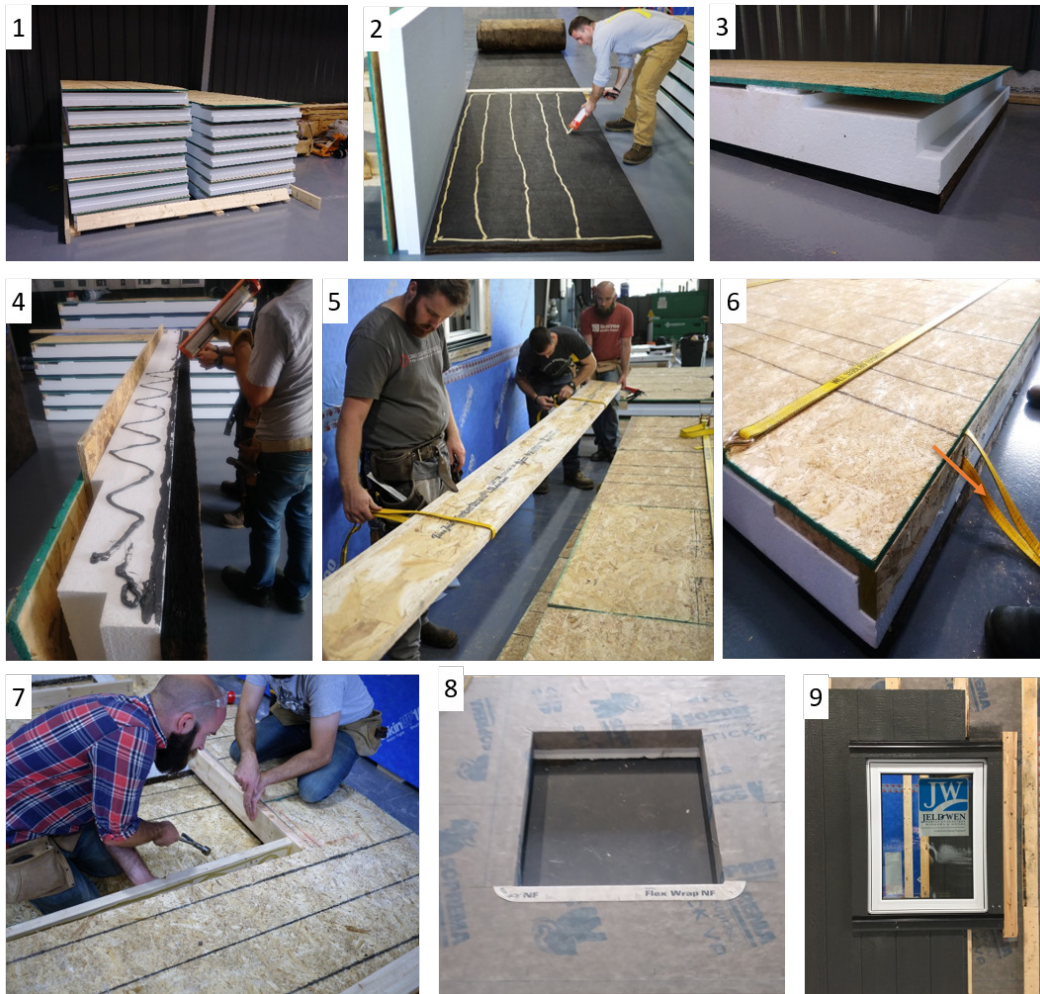
### 9.2.1 Panneau d'écartement à ossature bois



**Figure 9-2** : Séquence de fabrication du panneau de séparation à ossature bois

1. Les plaques et les goujons sont assemblés sur une table ou un sol plat à l'aide d'un gabarit droit/équerré.
2. Le revêtement est cloué.
3. Le WRB-AB autocollant est installé, roulé, enveloppé et posé en bardeaux dans les ouvertures et sur les bords des panneaux.
4. Des fourrures sont installées pour assurer une rupture de capillarité et un pare-pluie. Les fourrures sont maintenues en retrait du bord pour fournir une surface de tapissage.
5. Les panneaux se sont dressés pour l'installation des fenêtres et des portes.
6. Si vous utilisez des panneaux de grande taille (celui illustré mesure 25 pieds de long), vous pouvez utiliser du bois de charpente supplémentaire installé sur les bords pour rigidifier le panneau. Les sangles de levage sont installées.

## 9.2.2 Panneaux à base de clouage en mousse rigide (PIS simple face)



**Figure 9-3 :** Séquence de fabrication des panneaux à base de clouage

1. Les panneaux de base sont reçus du fabricant avec le revêtement pré-laminé et la mousse CNC coupée au fil chaud pour recevoir les cannelures et les éléments de structure.
2. La « couche compressible » est collée à l'aide d'un adhésif compatible avec la mousse.
3. Panneaux de base prêts à être assemblés en « super panneaux ».
4. Insertion des cannelures OSB et application d'un scellant compatible avec la mousse sur les joints d'about.
5. Les sangles de levage sont enroulées autour ou à travers les trous pré-perçés dans les éléments structurels avant d'être insérées dans les panneaux.
6. Sangles à cliquet utilisées pour serrer les panneaux.
7. Ouvertures de fenêtres découpées à la scie à poutre, et boucliers installés.
8. Membrane WRB-AB et membrane de solin de seuil installées et roulées.
9. Les fourrures sont installées, les panneaux sont inclinés vers le haut, les fenêtres sont posées, les solins, les garnitures et le bardage sont installés.

### 9.2.3 Panneau structurel isolé (PIS)

Les panneaux LCO PIS finis ont été fabriqués à partir de modules PIS de base de 4x9'. Comme pour les panneaux à base de clouage, la conception des panneaux PIS de la LCO a fait appel à des éléments de bois supplémentaires (bois d'œuvre stratifié (LSL)) pour assurer la rigidité structurelle afin de minimiser la flexion, la torsion et le serrage (étape 3 de la figure 9-4). En outre, les éléments structuraux LSL permettent de soulever le panneau mural fini par les passages, à travers lesquels les sangles de levage peuvent passer.



**Figure 9-4:** Séquence de fabrication du PIS

1. Les panneaux de base sont reçus du fabricant avec le revêtement pré-laminé, la mousse CNC coupée au fil chaud pour recevoir les cannelures et les éléments structuraux. Insertion des cannelures en OSB et application d'un produit d'étanchéité compatible avec la mousse sur les joints d'about.
2. Éléments structuraux en forme de L pré-assemblés.
3. Les éléments structuraux sont insérés et fixés.
4. Scie à poutre utilisée pour découper les ouvertures des fenêtres et des portes.
5. Découpe des ouvertures des panneaux.
6. Des fenêtres et des portes de 2"x6" ont été installées et sur-isolées.

7. Les membranes d'étanchéité, d'air et WRB sont installées et correctement recouvertes.
8. Membranes et rubans sensibles aux pressions roulés pour une bonne adhérence.
9. Le cerclage est installé.
10. Bardage posé sur cerclage.

### 9.3 Tâches en ligne ou hors ligne

L'ossature, le revêtement, la pose des membranes, le cerclage et les solins peuvent être réalisés avec des panneaux posés à plat dans une chaîne de montage. Les panneaux devront être inclinés pour installer les fenêtres et les portes. Ces tâches (combinées à l'isolation dans le cas des panneaux à ossature bois) devront probablement être effectuées hors ligne. Certains systèmes de bardage peuvent être installés avant les fenêtres. Les garnitures sont souvent installées en dernier. Certains éléments de garniture peuvent être installés sur place. Il est souvent préférable de faire les trous pour les pénétrations de service (hottes mécaniques, robinets d'arrosage, etc.) sur le terrain, une fois que l'emplacement précis des panneaux a été déterminé.

### 9.4 Manipulation des panneaux

Un processus de fabrication efficace n'implique pas plus de manipulation de panneaux que nécessaire. Cependant, il sera sans doute nécessaire de déplacer les panneaux dans l'atelier à différents stades d'achèvement. Cette opération peut être réalisée à l'aide de stabilisateurs sur roues, de systèmes de poulies, de grues à portique ou d'équipements tels que les chariots élévateurs à fourche.



**Figure 9-5 :** (à gauche) Des stabilisateurs en bois sur roulettes se sont révélés être une manière abordable et efficace de déplacer les panneaux pour le projet pilote REEEP 2017. (à droite) LCO a utilisé des palans à chaîne manuels montés sur des glissières sur un rail en C en acier qui ont permis de basculer facilement les panneaux et de les déplacer à l'intérieur de l'atelier.

## 9.5 AQ/CQ et inspections

La norme CAN/CSA A277-16 spécifie une procédure approuvée de certification en usine qui s'appliquerait aux panneaux préfabriqués de modernisation. La norme prévoit des exigences pour :

- a. La certification du programme de qualité de l'usine ;
- b. La certification du produit préfabriqué ;
- c. L'audit du programme de qualité de l'usine ; et
- d. L'inspection en usine du produit préfabriqué.

La norme comprend des exigences en matière d'inspection en usine, de documentation, de non-conformité et de marquage. L'obtention de cette certification peut convaincre l'AC que les panneaux rénovés sont conformes aux exigences du code du bâtiment et qu'il n'est pas nécessaire de les inspecter en atelier.

### 9.5.1 Test d'étanchéité à l'air dans le magasin

Il est possible de tester l'étanchéité à l'air des fenêtres et autres ouvertures en usine avant la pose des garnitures, ce qui permettrait de gagner du temps et d'éviter des problèmes sur le terrain. Cet essai pourrait être effectué soit quantitativement selon la norme ASTM E783, soit qualitativement selon la norme ASTM E1186.

L'essai quantitatif est réalisé en scellant une chambre sur la face intérieure ou extérieure du panneau autour de l'ouverture, en alimentant ou en évacuant l'air de la chambre à un taux nécessaire pour maintenir la pression d'essai spécifiée, et en mesurant le flux d'air perdu ou gagné à travers la chambre d'essai. Ce test permet de s'assurer que les fenêtres et les portes installées sont étanches à l'air conformément aux spécifications.

L'essai qualitatif consiste à soumettre l'assemblage à une pression différentielle et à utiliser un crayon à fumée, etc. pour détecter les trous dans la continuité de la barrière d'air. L'une ou l'autre méthode permet de contrôler la qualité et de s'assurer que les défauts sont détectés alors qu'il est facile d'y remédier. Des appareils étalonnés peuvent être utilisés pour les essais quantitatifs, ou un simple aspirateur sec/humide connecté à un cadre étanche à l'air aligné avec l'ouverture pour les essais qualitatifs.



## 9.6 Opportunités et perspectives d'automatisation

Ce guide se concentre sur la fabrication manuelle des panneaux de rénovation. L'automatisation de la fabrication des panneaux est toutefois considérée comme un élément clé de la mise à l'échelle. Comme décrit dans la section 2.5, les tâches standardisées et répétitives se prêtent le mieux à l'automatisation. Les couches personnalisées perturbent les fabricants d'éléments de construction qui disposent de lignes de production automatisées. Le parc de logements et de bâtiments existants est hétérogène, composé de bâtiments uniques constitués de divers matériaux, avec des améliorations et des ajouts variés au cours de leur vie. Cela représente un défi pour l'industrialisation de la rénovation, car le point de départ est presque toujours différent d'un projet à l'autre.

Cependant, en examinant attentivement le processus de rénovation, certaines opérations peuvent être normalisées et automatisées. Les processus peuvent être divisés en trois catégories :

**Tableau 9-1** : Aptitude du processus à l'automatisation

<b>Structuré</b>	Un processus défini qui peut être automatisé à l'aide de pratiques d'automatisation standard.
<b>Semi-structuré</b>	Un processus moins bien défini et plus manuel
<b>Non structuré</b>	Pas de véritable processus, beaucoup plus dépendant de l'intervention manuelle et de l'interprétation

Actuellement, les panneaux manufacturés (panneaux préfabriqués produits à l'aide de machines automatisées) n'incluent généralement pas les membranes, les fenêtres et le bardage. Ces processus sont moins structurés et il est difficile de les réaliser « en ligne ». Il est peu probable que les fabricants investissent dans de nouveaux processus d'automatisation, à moins que le marché ne soit important et que le modèle d'entreprise ne soit certain. Pour ces raisons, les fabricants de panneaux sont actuellement considérés comme peu aptes à produire des panneaux finis de rénovation. Toutefois, ces entreprises peuvent fournir un panneau de base manufacturé qui pourrait être fini manuellement par d'autres.

Les nouvelles technologies qui se profilent à l'horizon pourraient permettre une « personnalisation de masse » des panneaux de modernisation. Deux possibilités principales ont été identifiées :

1. Flux de travail automatisés pour convertir les nuages de points en documentation pour la fabrication (dessins d'atelier et listes de coupe) ;
2. Génération de fichiers machine pour les processus de fabrication automatisés (à commande numérique par ordinateur (CNC) ou robotisés)..

Il s'agit d'un domaine de R&D actif, et de nombreuses entreprises et universités canadiennes et internationales travaillent à l'élaboration de solutions permettant d'exploiter ces possibilités. Ce domaine en pleine évolution jouera un rôle important dans la mise au point de méthodes de rénovation rentables, industrialisées et pouvant être mises à l'échelle. Les auteurs de ce guide recommandent de poursuivre les investissements en R&D afin d'adapter ces progrès aux applications de rénovation.

# 10. INSTALLATION DES PANNEAUX ET TRAVAIL SUR LE TERRAIN

L'approche la plus simple, la moins perturbatrice et la plus durable de la rénovation en profondeur est entièrement extérieure. Les travaux sous le niveau du sol et au-dessus de la ligne de toit dépassent le cadre de ce guide. Cependant, dans la plupart des cas, on suppose que la rénovation des murs REEEP s'accompagne d'une rénovation des fondations et de la toiture.

Il est également possible d'aménager l'intérieur des sous-sols afin d'éviter des travaux d'excavation coûteux. Toutefois, pour la plupart des projets, ce guide part du principe que les fondations et la structure du toit seront rénovées de l'extérieur.

Dans certains cas, il est possible de conserver les éléments existants de l'avant-toit et du rampant. Cette solution est particulièrement intéressante dans les bâtiments dont le talon est surélevé, ce qui peut permettre une isolation suffisante au niveau de l'avant-toit, et dont les porte-à-faux profonds assurent encore une protection suffisante de l'ensemble mural plus épais qui a été rénové. Dans ce cas, le plafond existant peut servir de pare-air. Le pare-air du panneau mural doit être raccordé à la plaque supérieure.

## 10.1 Préparation du site et démolition

La préparation du site comprend l'enlèvement des aménagements paysagers et des structures gênantes.

Une approche par panneaux peut réduire la quantité de démolition nécessaire. Par exemple, pour le projet pilote de LCO, le placage de briques et les bardeaux d'asphalte existants ont été conservés. Cela a permis de minimiser le travail de démolition et de ne pas envoyer ces matériaux à la décharge. Cependant, certaines démolitions peuvent être inévitables :

- Les aménagements extérieurs tels que les porches, les terrasses, les clôtures, les auvents, les antennes paraboliques, les luminaires ;
- Revêtement (en partie ou en totalité) pour faciliter les connexions structurelles ;
- Seuils de fenêtres et de portes ;
- Fenêtres et portes existantes ;
- Débords de toit et de râtelier.

## 10.2 Transport des panneaux sur le site

Les panneaux finis comportant des fenêtres, des portes, des bardages et des solins doivent être stockés et expédiés verticalement afin d'éviter d'endommager les fenêtres et les finitions, et doivent être couverts et protégés pendant le transport. Les panneaux non finis peuvent être transportés horizontalement.

## 10.3 Minimiser le besoin d'échafaudage

Les échafaudages sont longs à monter et encombrants pour l'installation des panneaux. Sa nécessité même doit être examinée avec soin. La finition complète des panneaux en usine permet de minimiser les travaux extérieurs en hauteur sur le chantier. Si les conditions du site le permettent, les travaux restants (c'est-à-dire le scellement des joints des panneaux ou l'installation des garnitures) peuvent être effectués à l'aide d'un élévateur mobile.

## 10.4 Hissage des panneaux

Il est recommandé d'utiliser une grue, un chariot télescopique rotatif ou un camion à flèche avec une barre d'écartement pour hisser les panneaux. Bien que LCO ait utilisé un chariot télescopique conventionnel, celui-ci n'offrirait pas un contrôle suffisant pour ajuster les panneaux latéralement. Il était également instable sur un site verglacé.



**Figure 10-1 :** Une grue s'est avérée plus souple et plus rapide qu'un chariot télescopique pour hisser les panneaux du Logement communautaire d'Ottawa (LCO).

## 10.5 Coordination avec d'autres métiers et services

La réalisation d'une enveloppe étanche à l'air est essentielle pour atteindre les objectifs énergétiques, mais aussi pour assurer la durabilité à long terme. Les autres corps de métier (électricité, CVC, plomberie, etc.) doivent comprendre l'importance du pare-air. Il est impératif de fournir des instructions claires (à la fois sur le plan et sur le chantier) sur la manière et l'endroit où les pénétrations peuvent être effectuées. Il est recommandé qu'un « chef du pare-air » soit présent sur le chantier pendant la construction pour coordonner les travaux avec les corps de métier et résoudre les détails délicats au fur et à mesure qu'ils se présentent.

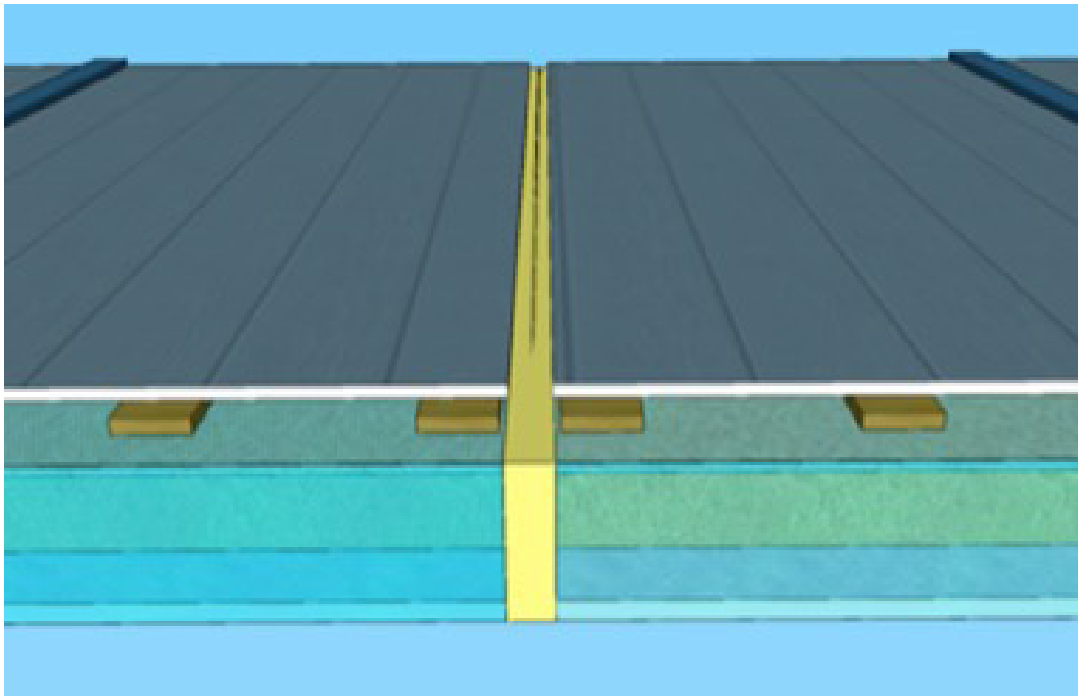
## 10.6 Compléter l'étanchéité à l'air

Les joints des panneaux doivent être étanchéifiés sur le terrain. Cette opération peut être réalisée à l'aide de ruban adhésif, de joints ou de baguettes d'appui et de scellant d'étanchéité. Une fois les raccords du pare-air réalisés, un test d'étanchéité à l'air peut être effectué et tout défaut peut être corrigé avant la pose des garnitures.

### 10.6.1 Raccords collés

Si le WRB sert de pare-air au panneau, les joints verticaux et horizontaux du panneau peuvent être collés sur place. Il est essentiel de rouler ou de presser les rubans acryliques sensibles à la pression pour garantir l'adhérence. Le bardage doit être suffisamment écarté pour que le ruban puisse se superposer à la WRB et pour permettre l'utilisation d'un rouleau. L'espace peut être couvert par un élément de garniture, appliqué sur le chantier. L'avantage du joint collé est qu'il peut être inspecté et qu'il est possible d'y accéder en cas de défaut. L'inconvénient est l'élément de garniture évident à chaque joint et les implications esthétiques. Les membranes et les bandes doivent être compatibles, approuvées par le Centre canadien matériaux de construction (CCMC) et installées conformément aux recommandations du fabricant.

Si un pare-air extérieur est utilisé, il est conseillé d'arrêter le mouvement libre de l'air (bouclage convectif) à l'intérieur d'un joint creux vide en le remplissant d'isolant. Dans le cas contraire, il est possible que l'air intérieur chaud et humide se fraye un chemin à travers le mur existant et que la vapeur d'eau se condense à l'arrière du ruban. L'utilisation d'un ruban adhésif perméable à la vapeur d'eau peut contribuer à réduire ce risque



**Figure 10-2** : Joint de panneau vertical collé, vu du dessus. Notez l'espace dans le bardage pour accueillir un rouleau étroit. Cet espace est recouvert d'une latte de finition sur le chantier.



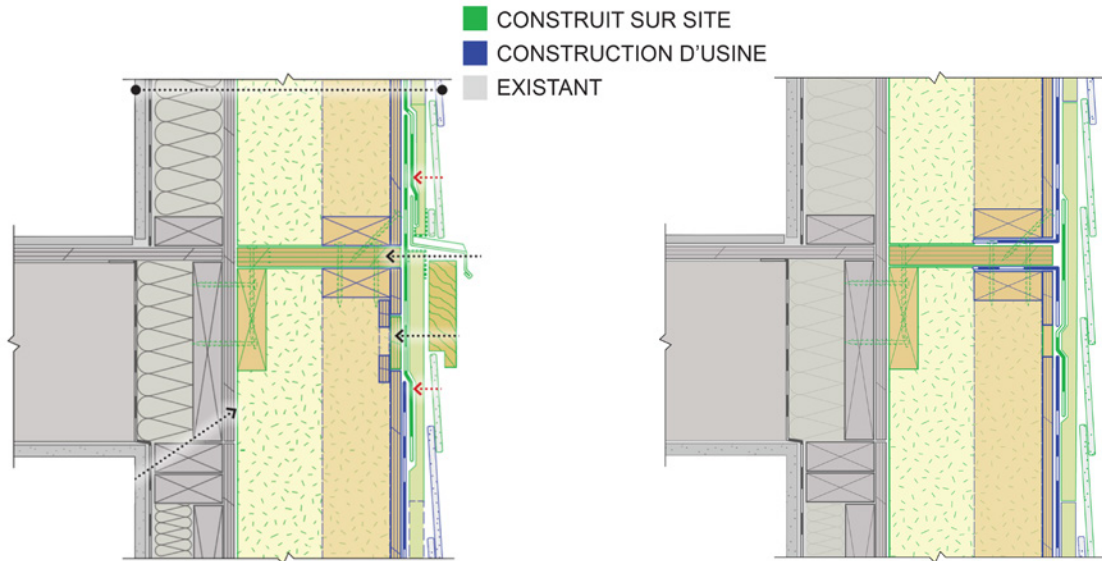
**Figure 10-3** : Ruban acrylique sensible à la pression utilisée pour sceller le joint d'un panneau horizontal sur le terrain.

### 10.6.2 Joints d'étanchéité

Les auteurs n'ont pas eu d'expérience avec les joints d'étanchéité à l'air pour les joints de panneaux rénovés. Cependant, ces joints sont couramment utilisés pour l'étanchéité des joints dans les nouvelles constructions en panneaux. Avec un joint préinstallé, il n'est pas nécessaire d'accéder à la couche d'étanchéité à l'air pour réaliser l'étanchéité sur le terrain. Cela permet de concevoir des panneaux avec une isolation continue à l'extérieur de la couche d'étanchéité à l'air. Cela signifie également que le bardage peut être affleurant au bord du panneau, ce qui permet d'obtenir un joint de panneau moins évident et plus expressif sur le plan architectural. Les joints de différentes tailles peuvent permettre un certain degré d'ajustement latéral du panneau, mais offrent moins de tolérance qu'un joint collé. Notez que les joints en caoutchouc souple peuvent être facilement endommagés et doivent être protégés lors de la manipulation et du transport du panneau sur le site ou installés sur le site avant l'installation du panneau.

## 10.7 Finition des joints de panneaux

Les joints de panneaux revêtus en usine peuvent être finis sur place à l'aide d'une bande de recouvrement. Si vous utilisez un bardage à recouvrement, il est possible d'installer sur place la rangée supérieure et la rangée inférieure du bardage au niveau d'un joint de panneau horizontal et de les tisser ensemble. Cela permet d'éliminer l'élément de garniture horizontal et d'obtenir un aspect plus uniforme. L'utilisation d'un joint d'étanchéité peut permettre d'éliminer les baguettes de recouvrement verticales comme décrit ci-dessus.



**Figure 10-4 :** (à gauche) Une bande de finition et un solin appliqués sur place peuvent être utilisés pour finir les joints de panneaux horizontaux sur le chantier ou (à droite) le bardage à clin peut être tissé ensemble pour finir le joint sur le chantier.



**Figure 10-5 :** Butterwick Projects a terminé les joints horizontaux des panneaux sur le chantier en tissant le bardage à clin à partir des panneaux supérieurs et inférieurs.

## 10.8 Finition des ouvertures des fenêtres et des portes à l'intérieur

La finition des ouvertures de fenêtres est l'une des rares tâches à effectuer à l'intérieur des habitations. Toutefois, pour minimiser ce travail, des doublures de montants d'extension peuvent être préfabriquées dans un matériau approprié (contreplaqué de finition ou MDF) et installées de l'intérieur une fois que les panneaux sont posés. Ces doublures peuvent même être coffrées à l'avance, mais il est probable qu'un ajustement sera nécessaire sur le terrain.

---

# 11. MISE EN SERVICE, MESURE ET VÉRIFICATION

## 11.1 Contrôle de l'impact de la QAI, des performances hygrothermiques et de la consommation d'énergie

Le suivi du projet est essentiel pour s'assurer que les objectifs de performance du projet sont atteints, qu'il s'agisse ou non d'une exigence pour prouver la conformité avec certains objectifs/programmes énergétiques. Un programme de mesure et de vérification (M&V) peut avoir différentes intentions et le niveau de détail du plan de suivi doit être adapté en conséquence. Il est recommandé d'effectuer un suivi détaillé pour la première génération de projets REEEP afin de renforcer la confiance dans les hypothèses de conception, les performances à long terme et de vérifier que les bâtiments rénovés fonctionnent comme prévu. Idéalement, des capteurs peuvent être installés bien avant la construction afin de collecter des données sur une année complète avant la rénovation. Cela aidera à caractériser la performance du bâtiment avant les rénovations et permettra une comparaison plus précise entre l'avant et l'après. CanmetÉNERGIE développe actuellement un protocole de M&V pour la REEEP et d'autres projets de rénovations majeure. Les équipes de projet sont invitées à communiquer avec nous pour obtenir de plus amples renseignements.

### 11.1.1 Qualité de l'environnement intérieur (QEI) et contrôle du confort thermique

Le QEI comprend des mesures de la qualité de l'air intérieur (QAI) et du confort thermique. Ces paramètres doivent être contrôlés avant et après les travaux de rénovation. Les mesures de base comprennent le CO<sub>2</sub>, la température, l'humidité relative et le radon. Le contrôle détaillé de la QAI peut également porter sur les composés organiques volatils (COV), les niveaux de particules et la pression.

### 11.1.2 Surveillance hygrothermique

La surveillance hygrothermique peut être effectuée pour comprendre la durabilité et la performance des assemblages des enveloppes existantes et nouvelles après la rénovation. Un plan de contrôle comprendra généralement l'installation de capteurs dans tout le bâtiment pour collecter des données relatives aux conditions ambiantes dans les cavités ainsi qu'aux conditions à la surface des matériaux sensibles à l'humidité. Les données météorologiques locales et les conditions intérieures sont également importantes pour les conditions limites. Cet ensemble de données peut comprendre la température, l'humidité relative, la teneur en humidité des matériaux organiques et les mesures de pression différentielle. Les données recueillies peuvent être utilisées pour évaluer le risque de détérioration lié à l'humidité dans l'enveloppe du bâtiment.

### 11.1.3 Contrôle de l'énergie

Un contrôle de l'énergie peut être effectué pour évaluer si les objectifs énergétiques sont atteints sur plusieurs années après la rénovation.

Dans sa forme la plus élémentaire, le contrôle de l'énergie peut consister à collecter les factures des services publics. Le contrôle détaillé de l'énergie peut se faire charge par charge ou circuit par circuit. Les données météorologiques locales seront également nécessaires pour normaliser la consommation d'énergie modélisée et la comparer à la consommation d'énergie contrôlée.



## 11.2 Test d'étanchéité à l'air et commissionnement de l'enveloppe du bâtiment

### 11.2.1 Test d'étanchéité à l'air

Les exigences en matière de tests d'étanchéité à l'air varieront en fonction des objectifs énergétiques globaux du projet et des exigences du code du bâtiment local (le cas échéant). Toutefois, on suppose que les exigences en matière d'étanchéité à l'air résultant de l'objectif énergétique du projet dépasseront les exigences du code du bâtiment local. En règle générale, il est nécessaire de tester l'ensemble du bâtiment en une seule fois ; toutefois, d'autres approches peuvent s'avérer plus appropriées pour les bâtiments comportant de nombreux volumes intérieurs distincts et pour les bâtiments dont l'occupation est échelonnée dans le temps.

Pour répondre aux exigences d'essai d'étanchéité à l'air au Canada pour les bâtiments de la partie 9, la méthodologie d'essai d'étanchéité à l'air doit être conforme à la norme ONGC 149.10-2019 Détermination de l'étanchéité à l'air des enveloppes de bâtiment par la méthode de dépressurisation au moyen d'un ventilateur. Dans certains cas, la norme *ASTM E779 Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization* ou *USACE Version 3 Air Leakage Test Protocol for Building Envelopes* peuvent constituer des méthodes d'essai alternatives appropriées.

Pour répondre aux exigences de la certification Maison passive, la méthode d'essai sera conforme à la norme ASTM E1827 ou ONGC 149.10-2019, le volume d'air étant calculé conformément aux exigences de la norme concernée.

Pour plus d'informations sur les exigences en matière d'essais d'étanchéité à l'air, veuillez-vous référer au code ou au programme concerné et aux exigences applicables en matière d'essais.

### 11.2.2 Commissionnement de l'enveloppe du bâtiment

Le commissionnement de l'enveloppe du bâtiment (BECx) est un processus axé sur la qualité, déployé à toutes les phases d'un projet, depuis le développement de la conception jusqu'à la post-occupation et l'exploitation. Le processus BECx s'efforce de définir, de vérifier, de documenter et d'actualiser les attentes relatives aux performances de l'enveloppe à chaque itération d'un projet.

Au cours d'un projet, l'équipe de projet doit collaborer avec d'autres parties prenantes dans l'objectif commun de réaliser une enveloppe du bâtiment qui réponde à des exigences de performance complexes et diverses. Celles-ci peuvent inclure, sans s'y limiter, l'esthétique, les limites de charge structurelle, la résistance thermique, le contrôle de l'air et de l'eau, la performance énergétique, la constructibilité, la durabilité, la résilience et la facilité d'entretien.

Le succès du processus BECx dépend en fin de compte d'un plan soigneusement étudié et minutieusement exécuté. Il est recommandé que ce plan soit mis en œuvre dès le début du processus de conception et qu'il soit suivi jusqu'à la mise en service (généralement dix mois après la rénovation).

Les projets REEEP introduiront des points de contrôle non conventionnels pour l'assurance et le contrôle de la qualité (AQ/CQ) :

1. Inspection des fenêtres et de la barrière d'étanchéité à l'air et à l'eau avant la pose du bardage pendant le processus de préfabrication ;
2. Inspection et test d'infiltrométrie (test d'étanchéité à l'air) une fois que les raccordements/transitions des barrières d'air sont terminés, mais avant le recouvrement par le bardage sur site ;
3. Inspection et nouveau test d'infiltrométrie (le cas échéant) après l'achèvement de toutes les pénétrations mécaniques.

Il est recommandé que le plan de commissionnement de l'enveloppe du bâtiment soit élaboré et mis en œuvre par un membre professionnel de l'équipe de projet qui a l'expérience du commissionnement de projet. En général, ce service est assuré par un consultant/ingénieur en enveloppe du bâtiment

## 12. COÛT

Dans le cadre d'un processus de rénovation évolutif et industrialisé, la REEEP vise à réduire les coûts et à accélérer l'adoption de rénovations majeure par le biais de trois mécanismes :

1. **Réduire les coûts des services professionnels de conception** : Les Réaménagements écoénergétiques en profondeur traditionnels sont des solutions conçues sur mesure. Chaque rénovation dépend de l'expertise de professionnels de la conception tels que des architectes, des ingénieurs en structure, des scientifiques du bâtiment et des conseillers en efficacité énergétique. Les frais de service facturés par chacun de ces professionnels augmentent considérablement les coûts et ne peuvent pas être transférés à un projet ultérieur. En faisant passer les rénovations d'une activité axée sur les projets à une activité axée sur les produits, des solutions normalisées peuvent être rapidement appliquées à de nombreuses maisons et bâtiments avec une intervention minimale au niveau de la conception.
2. **Exploiter les progrès de la numérisation, de la construction hors site et de la fabrication automatisée** : Aujourd'hui, l'industrie canadienne du bâtiment passe des pratiques traditionnelles de construction sur site à des approches de construction en usine qui intègrent la numérisation, la construction hors site et la fabrication robotisée. Les analystes de l'industrie ont conclu que cette transformation est essentielle pour réaliser les mêmes gains d'efficacité, de productivité, de qualité et d'innovation que ceux dont a bénéficié l'industrie automobile. REEEP accélérera cette transformation en utilisant la même technologie pour la rénovation – à la fois en augmentant la demande d'éléments de construction préfabriqués et en permettant aux projets de rénovation de bénéficier des économies de coûts associées à l'automatisation.
3. **Consolider et renforcer les chaînes d'approvisionnement en produits et services de rénovation** : L'industrialisation renforcera la demande de rénovations communes, ce qui encouragera les grands fournisseurs à proposer des produits et des services standardisés. Cette transition augmentera la disponibilité des solutions de rénovation profonde, tout en réduisant les coûts.

### 12.1 Réduction des coûts en Europe

L'expérience d'autres pays montre que cette approche fonctionne. Aux Pays-Bas, Energiesprong a constaté une réduction de 50 % entre les prototypes initiaux (187 000 dollars canadiens) et les unités ultérieures construites à grande échelle (94 000 dollars canadiens).

### 12.2 Coût total de possession d'un bâtiment

L'évaluation de l'analyse de rentabilité d'une rénovation écoénergétique en profondeur sur la base des seules économies d'énergie ne donnent qu'une image incomplète de la situation. Une meilleure approche consiste à évaluer les coûts d'entretien, d'assurance, les taxes foncières et les taxes sur le carbone, ainsi que les autres coûts affectés par la rénovation sur le long terme. Le Coût total de possession d'un bâtiment (CTPB) est une méthode qui donne une image plus complète des coûts nets de possession et d'exploitation d'un bâtiment sur sa durée de vie utile. Le CTPB consiste à comparer la consommation d'énergie, la durée de vie restante et le coût de remplacement des principaux systèmes d'entretien d'un bâtiment existant avec un scénario de rénovation profonde.

Le projet LCO a entrepris un CTPB en utilisant la méthodologie SEEFAR. Le CTPB d'un bâtiment existant (quatre maisons de ville) a été comparé à celui d'un même bâtiment rénové avec une enveloppe en panneaux à haute performance, un système de climatisation et de chauffage de l'eau par pompe à chaleur, et un système photovoltaïque pour obtenir une consommation nette zéro. L'objectif était de prouver aux propriétaires du bâtiment et aux prêteurs la valeur financière à long terme d'un tel investissement et de fournir une méthode pour en tenir compte dans leurs pratiques de planification et d'évaluation financières.

La Direction de la planification du capital de LCO a été consultée pour estimer le capital requis pour quatre scénarios :

- Cas de base : maintenir le bâtiment existant dans son état et son niveau de performance actuels (en remplaçant les composants (bardeaux, fenêtres, chaudières) par des systèmes équivalents selon les besoins) ;
- Une rénovation REEEP à consommation nette zéro avec des systèmes de pompes à chaleur entièrement électriques ;
- Scénario B avec suffisamment d'énergie solaire pour obtenir une énergie nette nulle ;
- Scénario C avec une réduction des coûts de 30 % (pour représenter les économies réalisées grâce à une modernisation à grande échelle).

Hypothèses :

- Coût annuel de l'emprunt de 0,84 %.
- Taux d'indexation annuel de l'électricité de 4 %.
- Taux d'indexation annuel du gaz naturel de 2 %.
- Taxe sur le carbone de 20 \$/tonne augmentant de 4 % par an.

**Tableau 12-1** : Capital déployé sur 60 ans

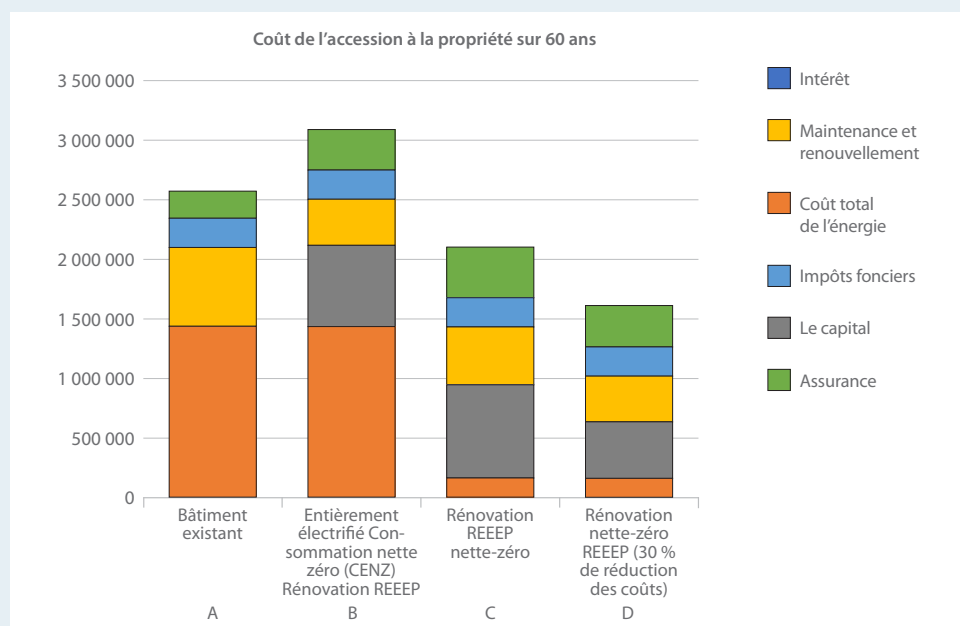
Capital déployé	A	B	C	D
	Bâtiment existant	Rénovation entièrement électrifiée à consommation nette zéro (CENZ)	Rénovation REEEP nette-zéro	Rénovation REEEP nette zéro et réduction des coûts de 30 %
Plus de 60 ans	632 000 CAD	1 022 000 CAD	1 022 000 CAD	742 000 CAD
Augmentation progressive du capital	<b>Coût de base</b>	390 000 CAD	490 000 CAD	110 000 CAD
Pourcentage d'augmentation du capital	<b>Coût de base</b>	62 %	78 %	17 %

**Tableau 12-2** : Consommations annuelles d'énergie et émissions de GES

Consommation annuelle d'énergie et émissions de GES	A	B	C	D
	Bâtiment existant	Rénovation entièrement électrifiée à consommation nette zéro (CENZ)	Rénovation REEEP nette-zéro	Rénovation REEEP nette zéro et réduction des coûts de 30 %
Émissions de GES (kg)	18 000	1 000	–	–
Électricité (kWh)	29 763	37 292	37 292	37 292
PV solaire généré (kWh)	–	–	(37 292)	(37 292)
Gaz naturel (m³)	8 884	–	–	–
Consommation annuelle totale d'énergie (ekWh)	121 567	37 292	–	–
Consommation annuelle totale d'énergie (GJ)	438	134	–	–
ICE (kWh/m²/year)	296	91	–	–

Les résultats de cette analyse ont montré que, même en tenant compte des coûts estimés pour un projet de démonstration unique, il existait une analyse de rentabilité et un retour sur investissement convaincants. Bien que le scénario B promette de réduire la consommation d'énergie de 70 %, les économies d'énergie attendues sont faibles. Cela s'explique par le fait que le projet prévoyait le passage de toutes les demandes thermiques à une énergie plus coûteuse (du gaz naturel à l'électricité).

Cependant, avec l'inclusion des énergies renouvelables (scénario C), les coûts d'utilisation de l'énergie sont effectivement éliminés (les frais de connexion au réseau demeurent). Cette analyse n'a pas tenté de quantifier les économies supplémentaires résultant de l'amélioration de la santé des occupants, de leur confort et de leur résilience face aux risques climatiques.



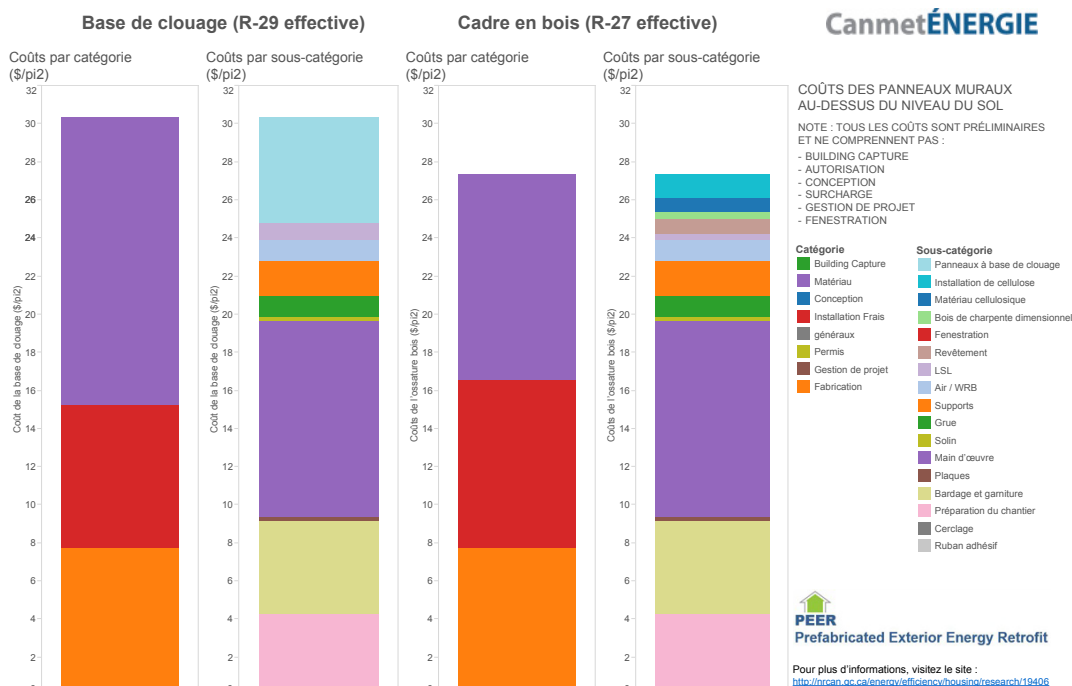
**Figure 12-1** : Analyse du Coût total de possession d'un bâtiment sur 60 ans pour 4 scénarios : A. Maintien du bâtiment existant ; B. Rénovation REEEP tout électrique, consommation nette zéro ; C. Rénovation REEEP tout électrique, consommation nette zéro ; et D. Scénario C avec une réduction des coûts de 30 %.

## 12.3 Coûts des panneaux

Aucune analyse complète des coûts des différents types de panneaux n'a été réalisée. Les coûts des matériaux et de la main-d'œuvre fluctuent et varient selon les marchés.

En 2017, CanmetÉNERGIE a réalisé un petit projet pilote de validation de principe du REEEP qui consistait à rénover un bâtiment existant avec deux types de panneaux, côte à côte. Les données sur les coûts de ce projet sont présentées à la figure 12-2 ci-dessous.

Dans le projet de Logement communautaire d'Ottawa 2020, les murs au-dessus et au-dessous du niveau du sol ont été rénovés pour environ 700 \$CAN/m<sup>2</sup> (65 \$CAN/pi<sup>2</sup>), matériaux et main d'œuvre compris.



**Figure 12-2 :** Ventilation des coûts en 2017 pour un panneau à base clouage R-29 ; et un panneau à ossature bois R-27.

## 12.4 Taille du marché

Le parc de logements subventionnés du Canada est estimé entre 550 000 et 650 000 unités [30]. Bien que l'estimation nationale officielle soit légèrement inférieure à 550 000, le nombre réel de logements subventionnés (y compris ceux qui sont récemment sortis des accords) est probablement plus proche de 650 000, selon la SCHL.

---

## 13. CONCLUSIONS ET PROCHAINES ÉTAPES

Le projet REEEP était un projet de R&D d'une durée de six ans, financé par le Programme de recherche et de développement énergétiques. Dans le cadre de ce projet, une approche technique a été mise au point pour utiliser des panneaux préfabriqués afin de rénover les maisons et les petits bâtiments canadiens conformément à la partie 9 du code national du bâtiment. Cinq prototypes de panneaux ont été développés et trois d'entre eux ont été testés sur le terrain à ce jour. Ces prototypes sont basés sur des panneaux qui existent déjà sur le marché canadien pour les nouvelles constructions. Les processus de fabrication ont été limités à des opérations manuelles familières aux métiers de la construction résidentielle au Canada. Le processus REEEP permet une approche évolutive de la modernisation rapide des enveloppes tout en maintenant les occupants en place. Ce guide est le résultat final du projet.

Au cours du prochain cycle de recherche, CanmetÉNERGIE a l'intention d'adapter le processus afin d'inclure d'autres typologies de bâtiments (y compris les immeubles résidentiels à logements multiples (IRLM) de la partie 3) et d'autres assemblages d'enceintes (y compris les rénovations des fondations et des toits). Des assemblages utilisant des matériaux à faible teneur en carbone et à stockage de carbone seront développés et testés. Les progrès en matière de capture des bâtiments, de conception, d'automatisation et de construction hors site seront étudiés afin de déterminer s'ils sont adaptés et s'ils permettent d'accroître encore la productivité du travail et d'étendre l'approche.

Le gouvernement du Canada investit 35,5 millions de dollars sur cinq ans, à compter de 2022-23, pour que Ressources naturelles Canada (RNCan) mette en œuvre un [Programme pilote pour des quartiers plus verts \(PPQV\)](#) qui vise à commencer à construire un pipeline de projets agrégés de rénovations majeure dans un maximum de six quartiers de logements communautaires au Canada. Cette échelle de projet et la similarité des bâtiments peuvent tirer parti de nouvelles approches de rénovation telles que l'utilisation de panneaux extérieurs préfabriqués pour réduire le temps de travail sur place et les coûts globaux du projet, tout en réduisant l'intensité de la consommation d'énergie et les émissions de chaque bâtiment rénové.

## RÉFÉRENCES

- [1] « Enegiesprong, » [En ligne]. Disponible : <https://energiesprong.org/>. [Accédé 01 May 2022].
- [2] M. Carver, J. Armstrong and B. Conley, « Enclosure Design and Thermal Performance of a Prefabricated Exterior Energy Townhouse Retrofit, » in *16th Canadian Conference on Building Science and Technology*, Vaughan, 2022.
- [3] RDH Building Engineering Ltd; Habitat Design + Consulting Ltd, « Near Net Zero Energy Retrofits for Houses, » Société canadienne d'hypothèques et de logement, Ottawa, 2012.
- [4] Environnement et changement climatique Canada, « Canada's 2030 Emissions Reduction Plan, » Gouvernement du Canada, Ottawa, 2022.
- [5] « Government of British Colombia, Buildings and Communities, » [En ligne]. Disponible : <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/environment/climate-change/clean-buildings>. [Accédé 1 May 2022].
- [6] « Federation of Canadian Municipalities, Climate and sustainability, » [En ligne]. Disponible : <https://fcm.ca/en/focus-areas/climate-and-sustainability>. [Accédé 1 May 2022].
- [7] Environnement et changement climatique Canada, « National Inventory Report 1990–2019, » Gouvernement du Canada, Ottawa, 2021.
- [8] Statistique Canada, « Household spending, Canada, regions and provinces. Table: 11-10-0222-01, » 22 01 2021. [En ligne]. Disponible : <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tb1/en/tv.action?pid=1110022201>. [Accédé 11 05 2022].
- [9] Ressources naturelles Canada, « National Energy Use Database (NEUD), » 2018. [En ligne]. Disponible : [https://oee.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/data\\_e/databases.cfm](https://oee.nrcan.gc.ca/corporate/statistics/neud/dpa/data_e/databases.cfm). [Accédé 07 04 2021].
- [10] CUSP, « Energy Poverty in Canada: a CUSP Backgrounder, » 2019. [En ligne]. Disponible : <https://cuspnetwork.ca/wp-content/uploads/2021/04/energypov-backgrounder.pdf>. [Accédé 09 2022].
- [11] G. Suttor, *Still Renovating: A History of Canadian Social Housing Policy*, Montreal: McGill-Queen's University Press, 2016.
- [12] McKinsey Global Institute, « Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity, » 2017.
- [13] Statistique Canada, « Table 36-10-0480-01 Labour productivity and related measures by business sector industry and by non-commercial activity consistent with the industry accounts, » Gouvernement du Canada, 2022.
- [14] M. Papaglastra, I. Leivada, K. Sfakianaki, F. Carrié and M. Santamouris, « International Comparison of International Airtightness Measurements, » in *3rd European Blower Door Symposium*, Kassel, Allemagne, 2008.

- [15] J. Balvers, R. Bogers, R. Jongeneel, I. v. Kamp, A. Boerstra and F. v. Dijken, « Mechanical ventilation in recently built Dutch homes: technical shortcomings, possibilities for improvement, perceived indoor environment and health effects, » *Architectural Science Review*, vol. 55, no. 1, pp. 4-14, 2012.
- [16] Taitem Engineering, P.C., « Energiesprong: A Dutch Approach to Deep Energy Retrofits and its Applicability to the New York Market, » NYSERDA, Ithaca, NY, 2018.
- [17] I. Shapiro, « Energiesprong: A Dutch Approach to Deep Energy Retrofits and Its Applicability to the New York Market, » NYSERDA, Albany, NY, 2018.
- [18] ASTM, « Standard Guide for Property Condition Assessments: Baseline Property Condition Assessment Process, » 27 12 2016. [En ligne]. Disponible : <https://www.astm.org/e2018-15.html>. [Accédé 24 08 2022].
- [19] Environnement et changement climatique Canada, « National Waste Characterization Report, » 2020.
- [20] Ressources naturelles Canada, *LEEP Construction Costs Database*, Ottawa: Gouvernement du Canada, 2017.
- [21] RDH Building Engineering Limited, « Building envelope rehabilitation: consultant's guide », Société canadienne d'hypothèques et de logement, Ottawa, 2001.
- [22] NAIMA Canada, « Guide to Near Net Zero Residential Buildings ».
- [23] ASHRAE, *ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, Atlanta: ASHRAE, 2020.
- [24] T. Kesik and L. O'Brian, *Thermal Resilience Design Guide*, Rockwool, 2019.
- [25] American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, Inc, *ASHRAE Handbook—Fundamentals*, Atlanta, GA: ASHRAE, 2021.
- [26] Morrison Hershfield Ltd., « Building Envelope Thermal Bridging Guide v1.6, » 2021.
- [27] « Thermal Envelope: Interactive Thermal Bridging Calculation Tools, » 18 August 2022. [En ligne]. Disponible : <https://thermalenvelope.ca/>.
- [28] Blocon AB, *HEAT3—Heat transfer in three dimensions.*, Lund, 2020.
- [29] ISO, « ISO 14683:2017 Thermal bridges in building construction — Linear thermal transmittance — Simplified methods and default values, » ISO, 2017.
- [30] Statistique Canada, *Statistiques canadiennes du logement Tableau 43" Estimation des ménages aidés dans le cadre d'accords existants en 2015*, Ottawa : Gouvernement du Canada, 2015.
- [31] Statistique Canada, *Estimations de la croissance de la productivité multifactorielle et base de données sur la productivité des industries, 2020 : croissance de la productivité pendant la pandémie de COVID-19*, Gouvernement du Canada.



---

# **ANNEXE A : CAHIERS DES CHARGES DES PANNEAUX REEEP**

**A.1 Mur REEEP – Système de mur en panneaux structuraux isolés**

**A.2 Mur REEEP – Système de mur en panneaux à ossature 2x4**

**A.3 Mur REEEP – Base panneaux à base de clouage**

**A.4 Mur REEEP – Système de mur à panneaux solives en I**

**A.5 Mur REEEP – Panneau de système extérieur isolé et fini**



## A.1 Mur REEEP – Système de mur en panneaux structuraux isolés

Un mur PIS pour la Rénovation énergétique extérieure préfabriquée avec des éléments préfabriqués utilisant des matériaux et des techniques de pointe.

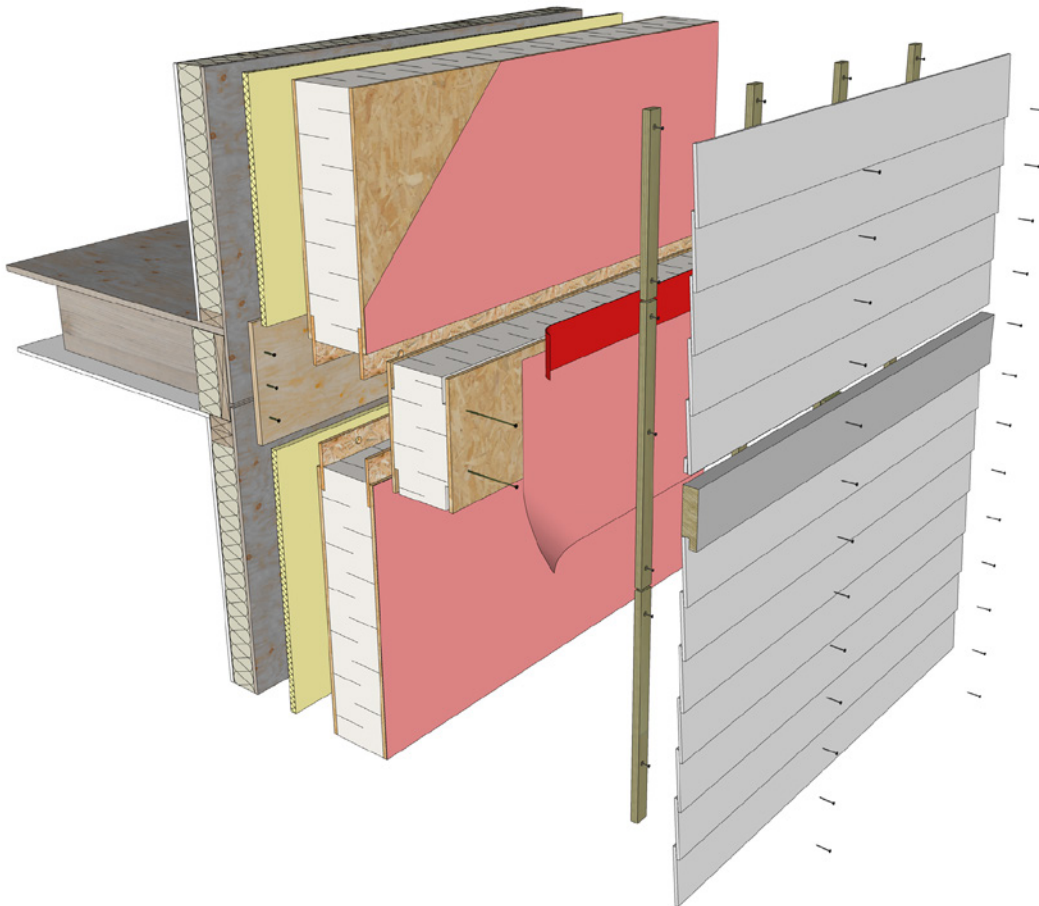


Figure 1 Vue éclatée des composants du panneau de rénovation partielle à la transition de la ligne de plancher

Développé par l'équipe de Ressources naturelles Canada chargée de la Rénovation énergétique extérieure préfabriquée (REEEP).

## A.1 Mur REEEP – Aperçu de l'assemblage des enveloppes du PIS génération 2

Vous trouverez ci-dessous une description des couches de panneaux de rénovation installés à l'extérieur de la maison existante. Voir également les détails de construction typiques à la page 5.

Extérieur

- › Bardage
- › Cerclage traité au borate + cavité d'air
- › Membrane perméable à la vapeur autocollante (pare-air et barrière d'étanchéité à l'eau)
- › PIS : revêtement extérieur en OSB, isolation en PSE, revêtement intérieur en OSB, couches collées ensemble
- › Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides
- › Assemblages existants (non représentés)

Intérieur

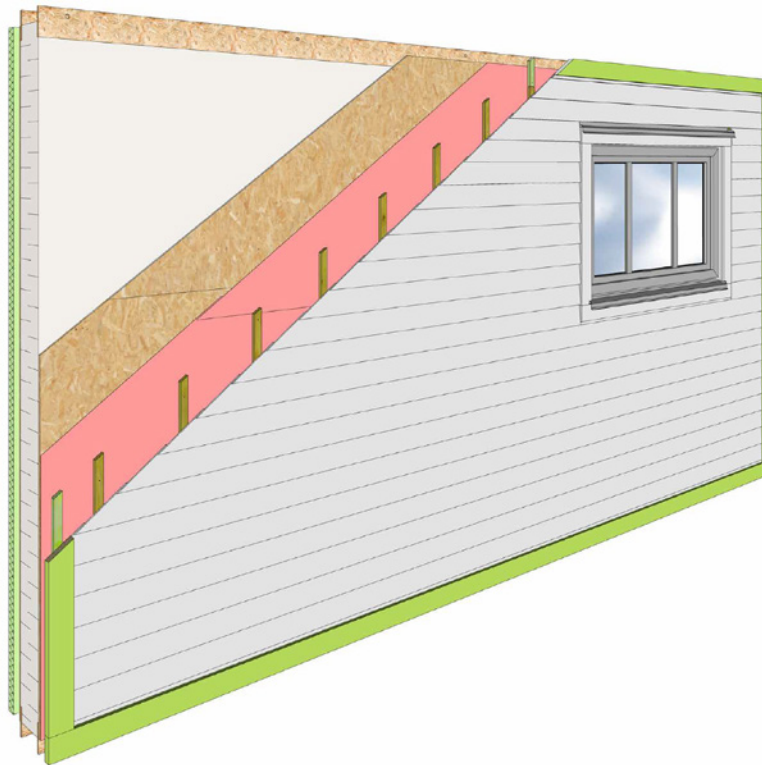


Figure 2 Aperçu des panneaux muraux PIS de rénovation (les surlignements verts indiquent les composants de joints périphériques et d'encastrement appliqués sur le site)

## Description de la rénovation

- › Les panneaux peuvent être installés sur le mur existant, soit en enlevant le revêtement, soit en le laissant en place, et en enlevant les fenêtres et les garnitures intérieures existantes. Une couche d'isolation en fibre minérale est installée sur l'assemblage existant afin d'assurer la tolérance de l'installation du panneau tout en isolant le petit espace entre le panneau et le mur existant.
- › Les panneaux PIS sont positionnés et fixés dans une poutre caisson isolée continue soutenue par des supports de fondation intermittents à la base du mur au-dessus du niveau du sol, un panneau de rive à la ligne de plancher de l'étage suivant, et à une cale d'aplomb en contreplaqué à la ligne de toiture.
- › Le pare-air/pare-pluie (AB/WRB, indiqué par des repères rouges dans les détails) est une membrane autocollante installée en usine sur le revêtement extérieur en OSB. Les joints sont scellés à l'aide d'une membrane de transition et d'un ruban acrylique sensible à la pression compatible.
- › Les nouvelles fenêtres (et leurs garnitures/couvercles) peuvent être préinstallées dans les panneaux en usine ou installées sur le site après la mise en place des panneaux pour tenir compte des tolérances. Les membranes de transition AB/WRB-AB et d'ouverture brute des fenêtres sont installées en usine sur le PIS.
- › L'écran pare-pluie drainé et ventilé est livré pré-installé, sauf aux joints des panneaux et aux interfaces des fenêtres (en cas de pose sur site).
- › Le revêtement de fermeture, les solins et les garnitures sont installés selon les besoins aux joints des panneaux et aux fenêtres.

## Avantages potentiels d'une rénovation des panneaux structuraux isolés

- › Tous les travaux (à l'exception de l'habillage des fenêtres intérieures) sont effectués depuis l'extérieur, ce qui permet à la maison d'être habitable pendant la construction.
- › Les travaux d'installation sur le site sont limités, ce qui réduit les délais d'installation et les perturbations pour les résidents.
- › L'utilisation de panneaux préfabriqués simplifie l'installation et élimine la nécessité d'une charpente sur place.
- › L'épaisseur de l'isolation peut varier en fonction des objectifs de performance énergétique et des marges de recul par rapport à la ligne de lot.
- › Fournit une couche d'isolation continue réduisant les ponts thermiques à travers l'ossature.
- › Améliore l'étanchéité à l'air, réduit les courants d'air et le bruit, et diminue les coûts énergétiques.
- › Réduit le risque de pénétration de l'humidité grâce à un travail minutieux.
- › Offre la possibilité de procéder à des améliorations sismiques pour répondre aux exigences régionales.
- › La rigidité structurelle des panneaux PIS permet d'utiliser des panneaux plus grands et d'assurer une certaine capacité de charge pour l'installation de fenêtres extérieures.
- › Permet de contrôler la qualité du système d'étanchéité à l'air en usine avant qu'il ne soit recouvert d'un revêtement.
- › Permet d'assurer la qualité des transitions du système d'étanchéité à l'air sur le site avant l'installation du revêtement de fermeture.
- › L'utilisation de panneaux à base de PIS permet d'obtenir des panneaux plus grands avec une capacité de charge supérieure à celle des panneaux à base de clouage.
- › Des systèmes PIS approuvés par le CCMC sont disponibles et peuvent faciliter l'obtention des permis.

## Principales considérations

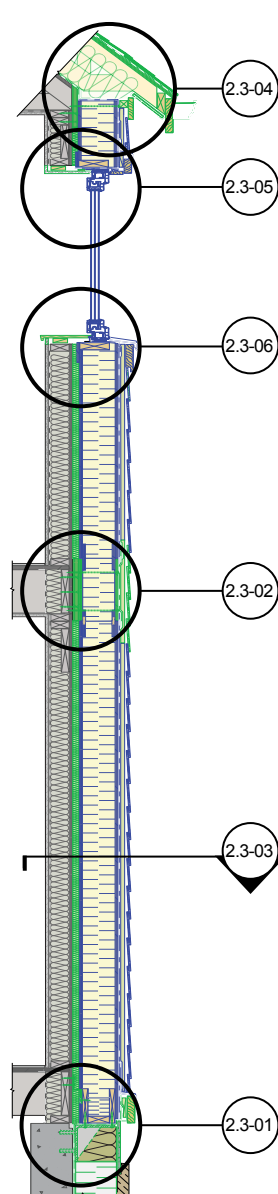
**Étanchéité à l'air :** Le pare-air (AB) est assuré par la membrane du côté extérieur du PIS. Des solins en membrane souple autour des joints de panneaux, des fenêtres, des portes, des autres pénétrations et des transitions complètent la barrière d'étanchéité à l'air. L'étanchéité au niveau de la sablière et de la fondation, là où le nouveau mur se raccorde à la maison existante, est également nécessaire. Les ouvertures autour des pénétrations électriques, mécaniques et autres sont scellées tout au long du processus de construction. Ces détails sont essentiels pour garantir une barrière étanche à l'air.

**Raccordement à la structure existante :** Cette modernisation utilise des supports structurels et une poutre caisson continue à la base du mur au-dessus du niveau du sol pour soutenir le PIS du premier étage à sa base. Un panneau de rive à la ligne de plancher de l'étage suivant est fixé à la structure existante et sert de support à la partie supérieure du PIS du premier étage et à la partie inférieure du PIS du deuxième étage. De longues vis à travers le PIS dans une cale d'aplomb en contreplaqué et dans l'ossature du bâtiment existant produisent un sandwich autoportant au sommet du PIS du deuxième étage. Les fenêtres déplacées vers l'extérieur facilitent l'étanchéité avec l'AB/WRB.

**Contrôle de l'eau :** La membrane sur le revêtement extérieur du PIS sert de barrière d'étanchéité à l'eau (WRB). Un cerclage est installé en usine sur la WRB et fixé à l'ossature du mur afin de créer un écran pare-pluie derrière le bardage.

**Bardage :** Ce système doit être facilement transportable et ne permet donc d'utiliser que des matériaux de revêtement plus légers. Les matériaux tels que les panneaux de ciment ou le bois préfini sont installés en usine directement sur le cerclage. L'installation sur site de certains revêtements autour des joints de panneaux et des fenêtres peut être nécessaire.

**Durabilité :** Les panneaux PIS auront un potentiel de séchage réduit en fonction de l'épaisseur de l'isolation PSE. Les applications doivent être modélisées pour évaluer les risques.



### Détails de construction typiques

Les exemples de détails présentés dans les pages suivantes ont pour but d'illustrer les approches typiques de transition pour la continuité du pare-air et du panneau/isolant. Notez qu'il s'agit d'exemples de détails et que des détails spécifiques au projet doivent toujours être élaborés pour tenir compte des conditions uniques de chaque projet.

Les annotations et la légende de chaque exemple de détail contiennent des icônes rouges « AB » et « AB/WRB » pour indiquer la présence des différents composants du pare-air et, le cas échéant, de la barrière d'étanchéité à l'eau.

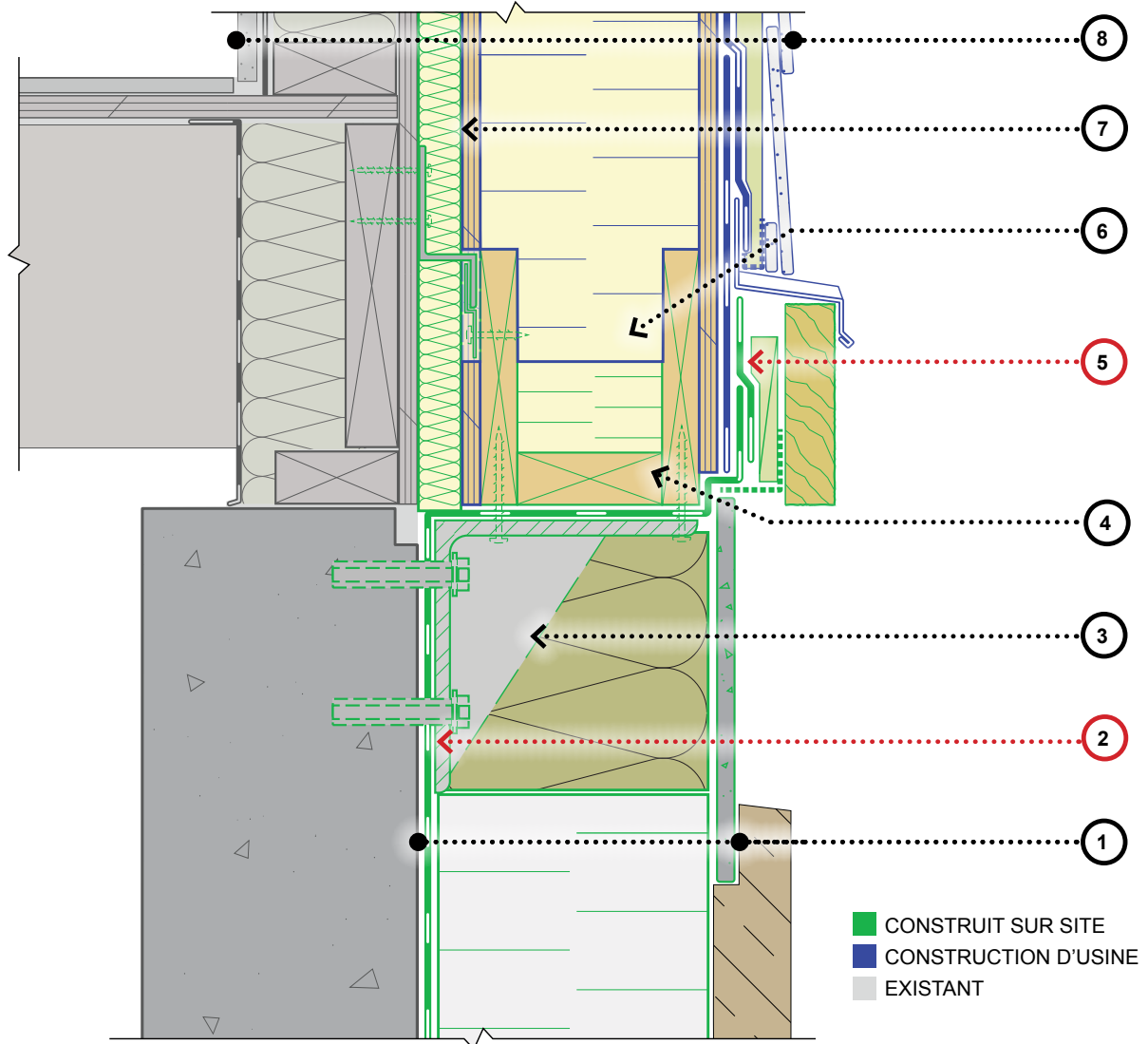
Chaque détail comprend également une légende des couleurs comme suit pour les composants gris, verts et bleus représentés :

- CONSTRUIT SUR SITE
- CONSTRUCTION D'USINE
- EXISTANT

### Liste des détails

Détail 2.3-01		Base du mur à la fondation. . . . .	.6
Détail 2.3-02		Joint de panneau horizontal . . . . .	.7
Détail 2.3-03		Joint de panneau vertical. . . . .	.8
Détail 2.3-04		Haut du mur . . . . .	.9
Détail 2.3-05		Appui de fenêtre . . . . .	10
Détail 2.3-06		Tête de fenêtre . . . . .	11

Figure 3 Détail de la section maison wayfinder.

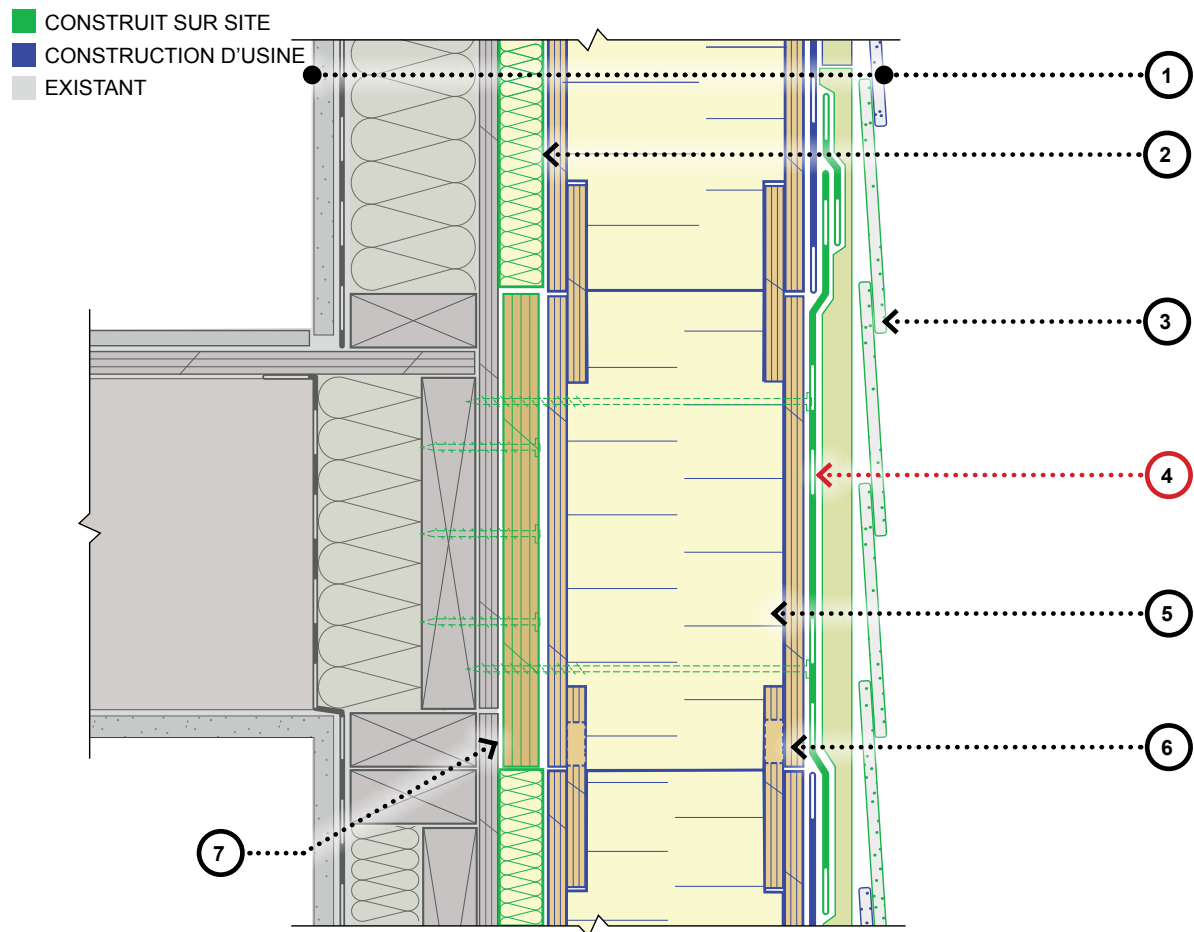


## LÉGENDE

- |   |   |
|---|---|
| <p>1. Assemblage de murs sous le niveau du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Panneau de fibre de ciment</li> <li>• Isolation en mousse PSE</li> <li>• Membrane de transition autocollante (AB/WRB)</li> <li>• Assemblage existant</li> </ul> <p>2. Membrane de transition avant l'installation du support de fondation (AB/WRB)</p> <p>3. Support de fondation intermittent entouré d'une isolation en laine minérale.</p> | <p>4. Poutre en caisson isolée continue installée sur le site et fixée à la structure existante à l'aide de clips intermittents.</p> <p>5. La membrane de transition est posée sur la membrane VP installée en usine et les bords avant sont scellés à l'aide d'un ruban adhésif haute performance. (AB/WRB)</p> <p>6. Panneau PIS positionné dans la poutre en caisson installée sur le site.</p> <p>7. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.</p> <p>8. Système de mur PIS 2.0.</p> |
|---|---|

### Détail A.1-01 | Base du mur à la fondation

Mur REEEP A.1 – PIS 2.0



## LÉGENDE

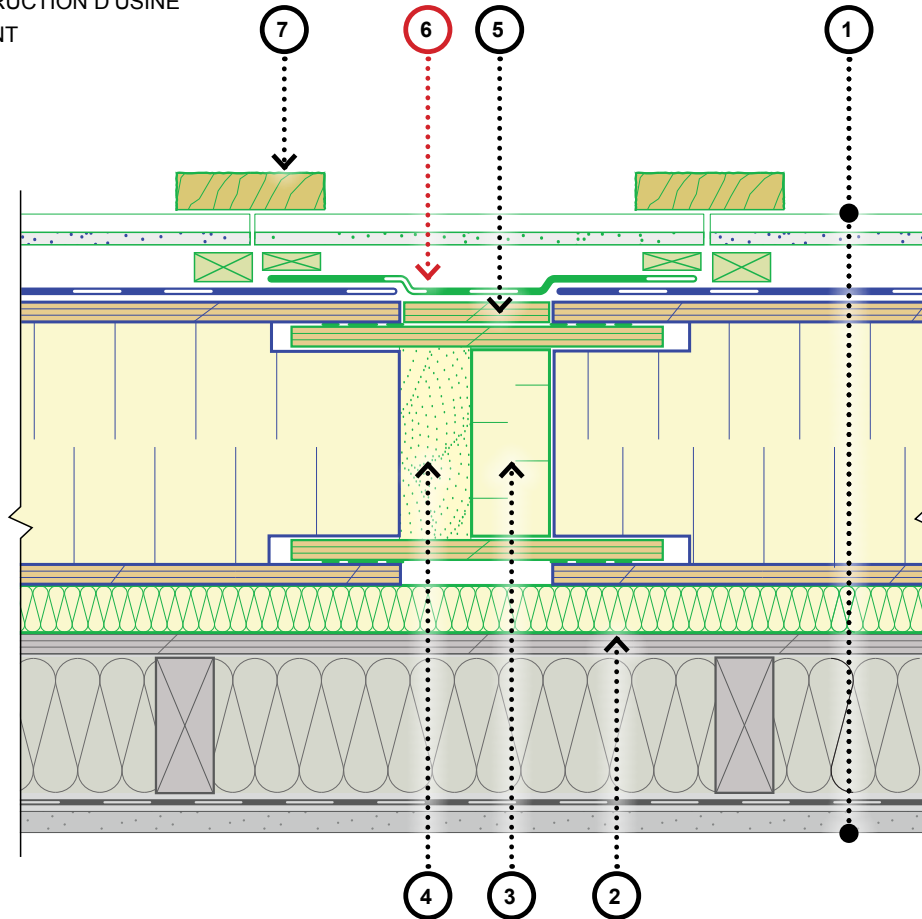
1. Système de mur PIS 2.0.
2. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.
3. Revêtement appliqué sur le site et cerclage du joint.
4. Membrane de transition VP autocollante scellée sur la membrane du premier plancher du panneau de rive. Le chevauchement inverse au bord d'attaque est scellé avec un ruban adhésif haute performance. (AB/WRB)
5. Le panneau de rive est fixé et collé à la cale d'aplomb en contreplaqué à l'aide d'un adhésif de construction.
6. Trou de levage renforcé en haut des cannelures du PIS
7. Cale d'aplomb en contreplaqué fixée à la structure existante au niveau du sol.

### Détail A.1-02 | Joint de panneau horizontal

Mur REEEP A.1– PIS 2.0



- CONSTRUIT SUR SITE
- CONSTRUCTION D'USINE
- EXISTANT

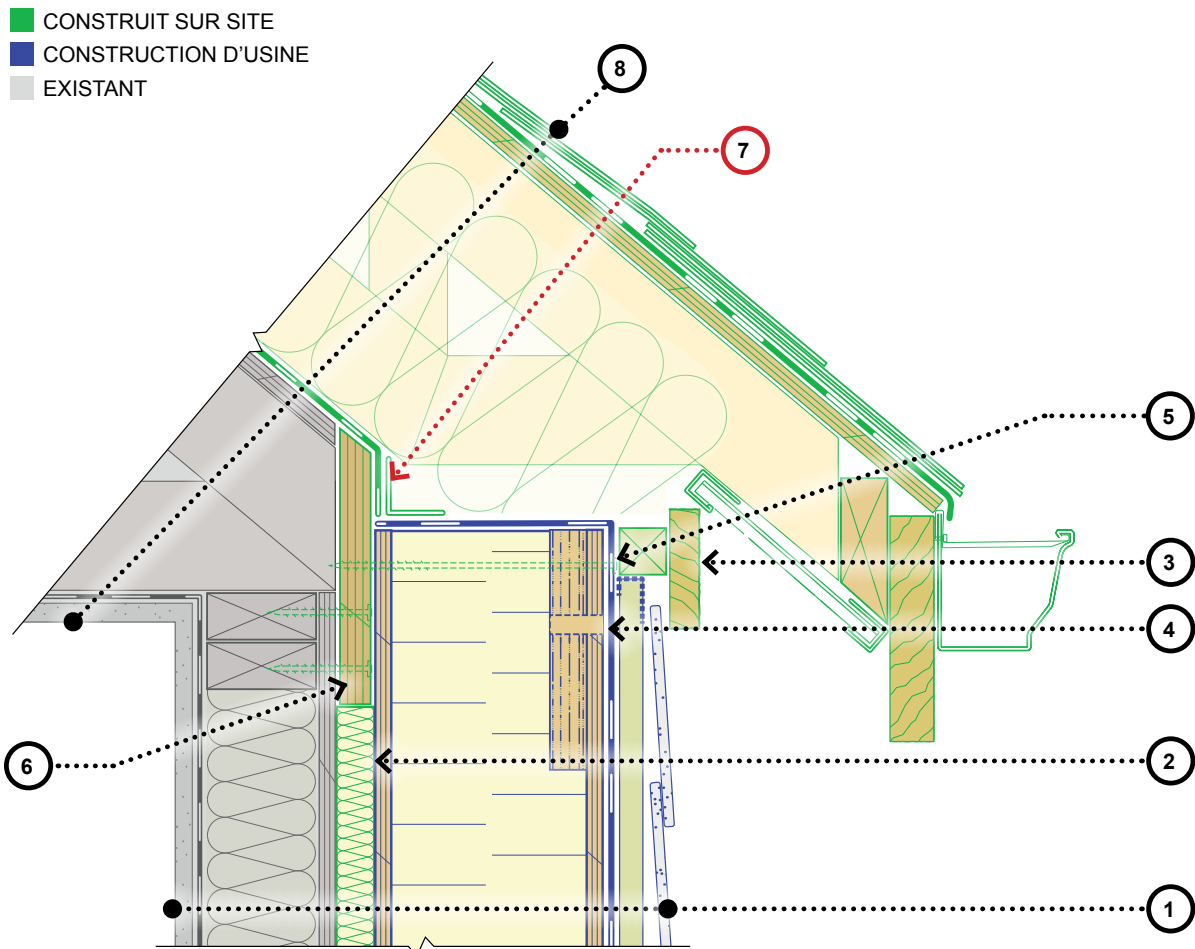


### LÉGENDE

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>1. Système de mur PIS 2.0.</li> <li>2. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.</li> <li>3. Bloc de remplissage PSE.</li> <li>4. Mousse auto-expansive pour joints.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>5. Cannelures avant et arrière collées en place.</li> <li>6. Membrane VP autocollante installée sur place sur les cannelures. (AB/WRB)</li> <li>7. Garniture installée sur le chantier sur les joints verticaux du bardage.</li> </ul> |
|---|---|

### Détail A.1-03 | Joint de panneau vertical

Mur REEEP A.1 – PIS 2.0

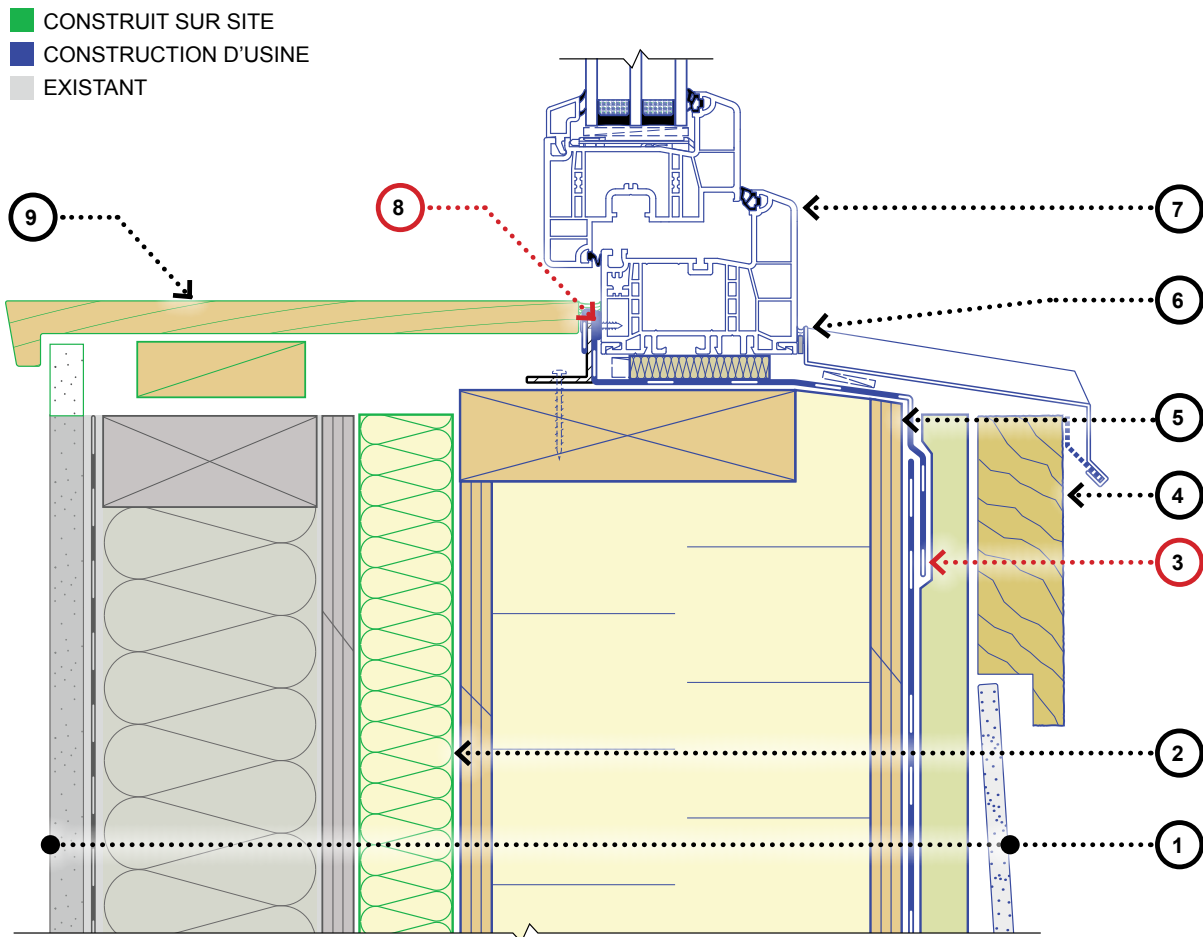


## LÉGENDE

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Système de mur PIS 2.0.</li> <li>2. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.</li> <li>3. Trous de levage à travers le revêtement extérieur et la poutre LSL.</li> <li>4. Garniture de fermeture appliquée sur place en haut du mur.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Panneau fixé à la structure existante du toit.</li> <li>6. Cale d'aplomb en contreplaqué fixée à l'arrière de la structure du toit existant (rénovation à la tronçonneuse).</li> <li>7. Ruban haute performance scellé à la membrane auto-adhésive installée en usine et à la membrane d'assemblage de la toiture. (AB/WRB)</li> <li>8. Assemblage de toit pour la modernisation de la tronçonneuse.</li> </ol> |
|--|---|

Détail A.1-04 | Haut du mur

Mur REEEP A.1- PIS 2.0

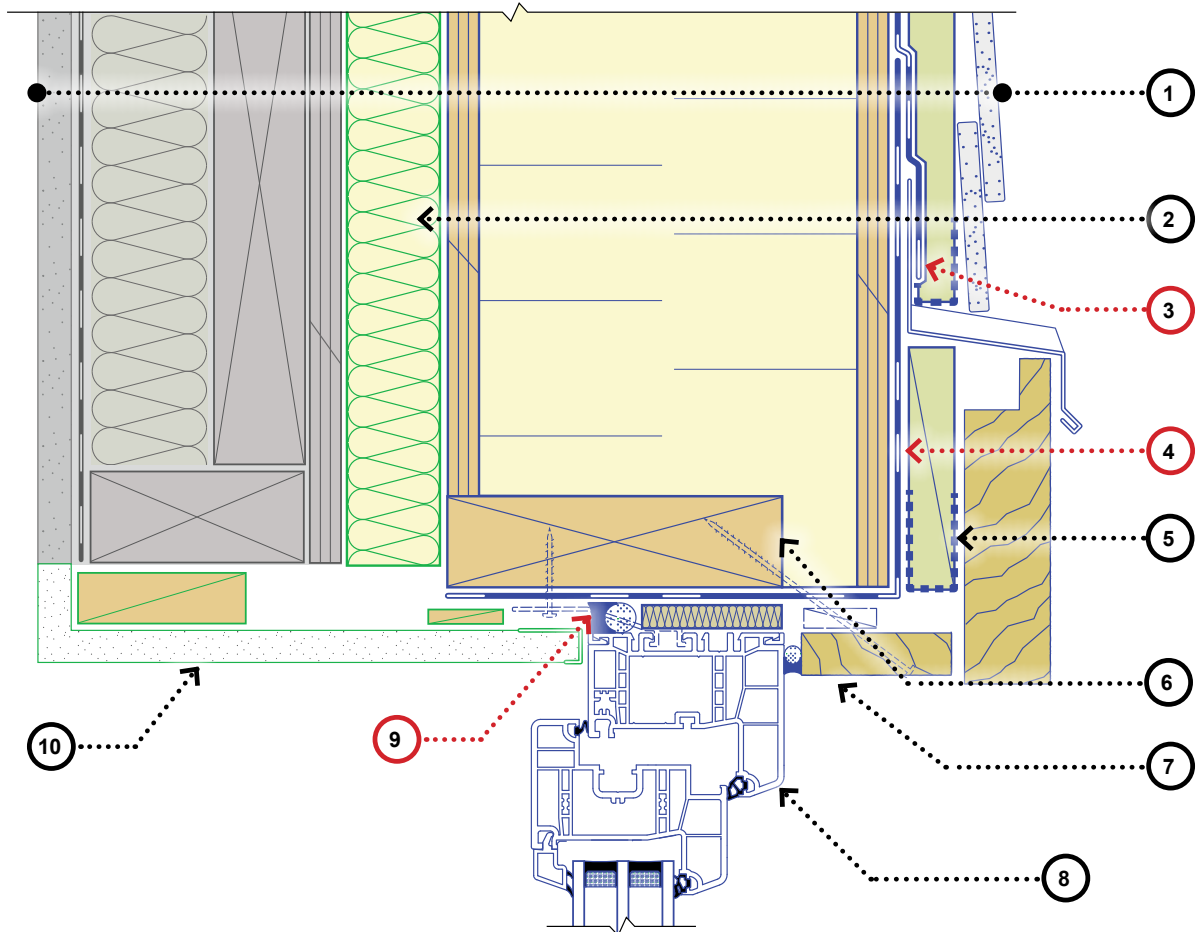


## LÉGENDE

- |   |  |
|---|--|
| 1. Système de mur PIS 2.0.  | 6. Solin d'appui de fenêtre.   |
| 2. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.   | 7. Nouvelle fenêtre à triple vitrage fixée à l'aide d'une cornière à l'appui.  |
| 3. Membrane d'appui autocollante installée en usine sur l'angle de l'appui et posée sur la membrane de chantier. (AB/WRB)                 | 8. La fenêtre est posée dans le scellant d'étanchéité continu sur l'angle de l'appui et fixée avec des vis. (AB/WRB) |
| 4. Habillage de fermeture et garniture autour de la fenêtre.  | 9. Garniture intérieure de fenêtre et scellant de fermeture sur l'angle de l'appui, si nécessaire.                   |
| 5. L'isolation PIS et le revêtement extérieur sont inclinés au niveau du bord avant. Cales intermittentes pour soutenir le solin d'appui. |  |

### Détail A.1-05 | Appui de fenêtre

Mur REEEP A.1 – PIS 2.0



- CONSTRUIT SUR SITE
- CONSTRUCTION D'USINE
- EXISTANT

## LÉGENDE

- |   |   |
|---|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Système de mur PIS 2.0.</li> <li>2. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.</li> <li>3. Revêtement de fermeture installé sur le site et membrane autocollante sur le solin de tête et sur la membrane de solin de tête. (AB/WRB)</li> <li>4. Membrane de solin de tête VP. (AB/WRB)</li> <li>5. Précontrainte et cerclage de la tête de fenêtre installés en usine.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Un profilé en bois de 2x6 est placé à l'arrière du panneau PIS</li> <li>7. La tête et le pied de la charpente sont cloués dans un châssis de fenêtre de 2x6.</li> <li>8. Nouvelle fenêtre à triple vitrage fixée à l'aide de clips au niveau de la tête et des montants.</li> <li>9. Un scellant d'étanchéité continu est installé entre l'ouverture brute et la tête/les montants de la fenêtre.</li> <li>10. Plâtre intérieur.</li> </ol> |
|---|---|

### Détail A.1-06 | Tête de fenêtre

Mur REEEP A.1- PIS 2.0



## A.2 Mur REEEP – Système de mur en panneaux à ossature 2x4

Panneau à ossature pour la Rénovation énergétique extérieure préfabriquée à l'aide de matériaux et de techniques de pointe.

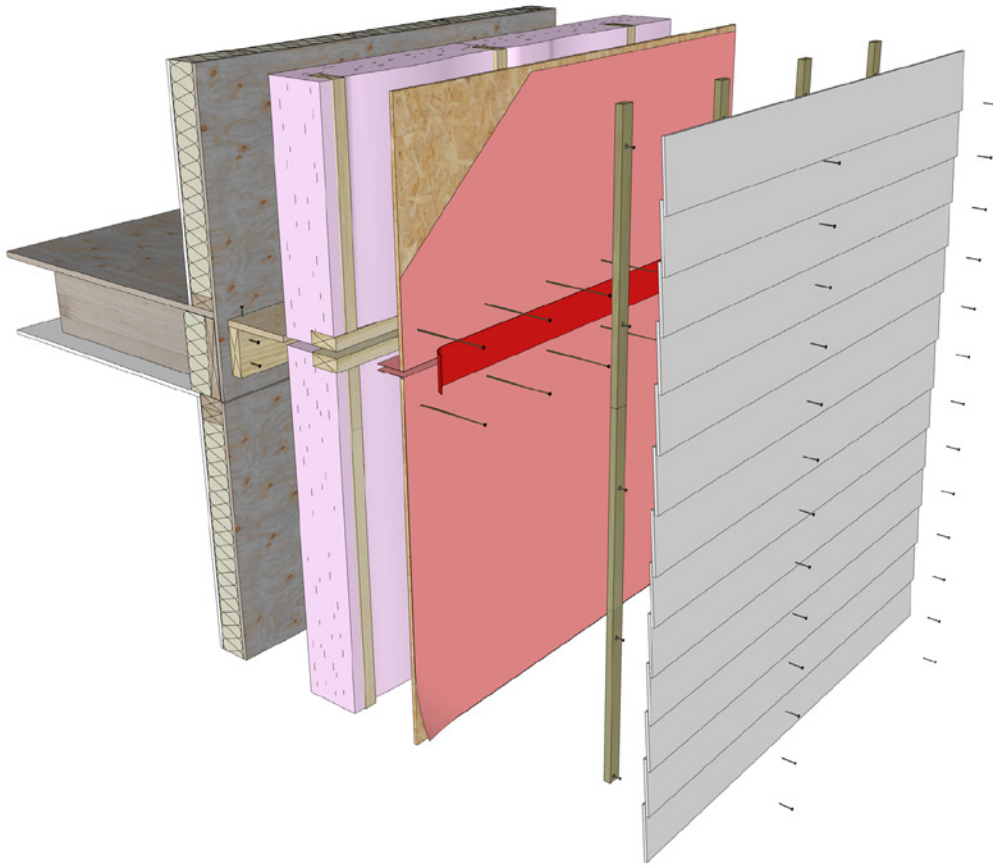


Figure 1 Vue éclatée des composants du panneau de rénovation partielle à la transition de la ligne de plancher

Développé par l'équipe de Ressources naturelles Canada chargée de la Rénovation énergétique extérieure préfabriquée (REEEP).

## A.2 Mur REEEP – Vue d’ensemble de l’assemblage du mur de panneaux à ossature 2x4

Vous trouverez ci-dessous une description des couches de panneaux de rénovation installés à l’extérieur de la maison existante. Voir également les détails de construction typiques à la page 5.

Extérieur

- › Bardage
- › Cerclage traité au borate + cavité d’air
- › Membrane autocollante perméable à la vapeur (pare-air et barrière d’étanchéité à l’eau)
- › Revêtement mural
- › Ossature en 2x4 avec isolation cellulosique soufflée sur place
- › Assemblages existants (non illustrés)

Intérieur

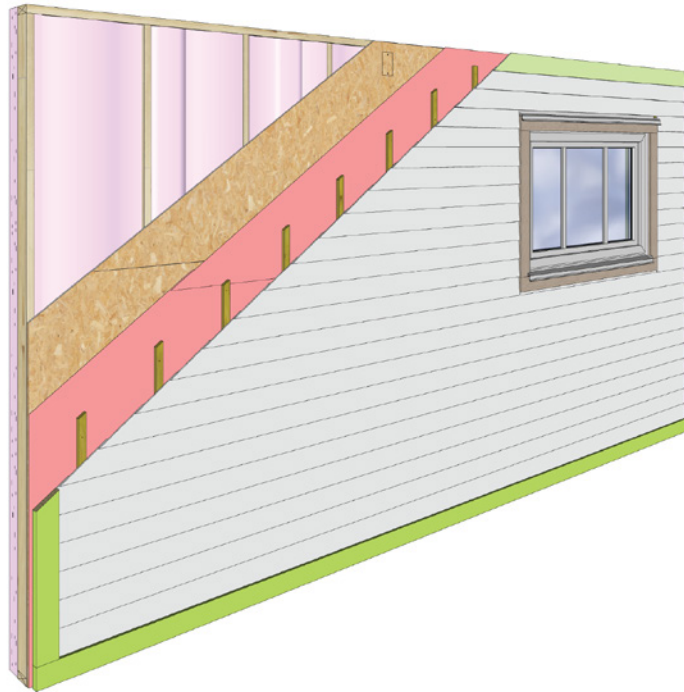


Figure 2 Rénovation 2x4 aperçu des panneaux muraux (les surlignages verts indiquent les composants de jointoiement et d'encastrement appliqués sur le site)

## Description de la rénovation

- › Les panneaux peuvent être installés sur le mur existant, soit en enlevant le bardage, soit en le laissant en place, et en enlevant les fenêtres et les garnitures intérieures existantes.
- › Les panneaux de 2x4 sont fixés à une poutre caisson isolée continue soutenue par des supports de fondation intermittents à la base du mur au-dessus du niveau du sol.
- › Le pare-air/pare-intempéries (AB/WRB, indiqué en rouge dans les détails) est une membrane autocollante installée en usine sur le revêtement extérieur, dont les différents bords reviennent dans les joints et sont scellés à l'aide d'un ruban acrylique compatible sensible à la pression.
- › Les nouvelles fenêtres (et leurs garnitures/enclavements) peuvent être préinstallées dans les panneaux en usine ou installées sur le site après la mise en place du panneau pour tenir compte des tolérances. Les membranes de transition WRB-AB et d'ouverture de la fenêtre sont installées en usine sur le panneau.
- › L'écran pare-pluie drainé et ventilé est livré pré-installé, sauf aux joints des panneaux et aux interfaces des fenêtres (en cas de pose sur site).
- › Des trous de remplissage d'isolant intermittents sont prévus en haut et en bas de chaque cavité de montant de panneau et sous les ouvertures de fenêtre afin que l'isolant fibreux puisse être soufflé dans la cavité de montant et directement contre l'assemblage existant.
- › Les couvercles des trous de remplissage de l'isolation, les bandes de transition de la membrane AB/WRB, les revêtements de fermeture, les solins et les garnitures sont installés selon les besoins au niveau des joints des panneaux et des fenêtres.

## Avantages potentiels d'une rénovation avec une ossature en 2x4 et une isolation par soufflage

- › Tous les travaux (à l'exception de l'habillage des fenêtres intérieures) sont effectués depuis l'extérieur, ce qui permet à la maison d'être habitable pendant la construction.
- › Les travaux d'installation sur le site sont limités, ce qui réduit les délais d'installation et les perturbations pour les résidents.
- › Élimine l'encadrement sur place et utilise des panneaux manufacturés pour simplifier l'installation.
- › L'épaisseur de l'isolation peut varier en fonction des objectifs de performance énergétique et des marges de recul par rapport à la ligne de lot.
- › Fournit une couche d'isolation continue réduisant les ponts thermiques à travers l'ossature.
- › Améliore l'étanchéité à l'air, réduit les courants d'air et le bruit, et diminue les coûts énergétiques.
- › Réduit le risque de pénétration de l'humidité grâce à un travail minutieux.
- › Offre la possibilité de procéder à des améliorations sismiques pour répondre aux exigences régionales.
- › La rigidité structurelle des panneaux gainés permet d'obtenir des panneaux plus grands et une capacité de charge pour l'installation de fenêtres extérieures.
- › Permet de contrôler la qualité du système d'étanchéité à l'air en usine avant qu'il ne soit recouvert d'un revêtement.
- › Permet d'assurer la qualité des transitions du système d'étanchéité à l'air sur le site avant l'installation du revêtement de fermeture.

## Principales considérations

**Étanchéité à l'air :** Le pare-air (AB) est assuré par la membrane autocollante du côté extérieur du panneau. Des solins en membrane souple autour des joints des panneaux, des fenêtres, des portes et des autres pénétrations et transitions complètent l'étanchéité à l'air. L'étanchéité au niveau de la sablière et de la base du mur, là où le nouveau mur se raccorde à la maison existante, est également nécessaire. Les ouvertures autour des pénétrations électriques, mécaniques et autres sont scellées tout au long du processus de construction. Ces détails sont essentiels pour garantir une barrière étanche à l'air.

**Raccordement à la structure existante :** Cette rénovation utilise des supports structurels et une poutre en caisson continue à la base du mur au-dessus du sol pour soutenir le panneau du premier étage à sa base. Une plaque de raccordement continue en contreplaqué à la Conclusion de l'étage suivant est fixée à la structure existante et fournit un support latéral pour le haut du panneau du premier étage et le bas du panneau du deuxième étage. Les fenêtres déplacées vers l'extérieur facilitent l'étanchéité avec l'AB/WRB.

**Contrôle de l'eau :** La membrane sur le revêtement extérieur fait office de barrière d'étanchéité à l'eau (WRB). Un cerclage vertical est installé en usine sur la WRB afin de créer un écran pare-pluie derrière le bardage.

**Bardage :** Ce système doit être facilement transportable et ne permet donc d'utiliser que des matériaux de revêtement plus légers. Les matériaux tels que les panneaux de ciment ou le bois préfini sont installés en usine directement sur le cerclage. L'installation sur site de certains revêtements autour des joints de panneaux et des fenêtres peut être nécessaire.

**Isolation :** Bien que cette rénovation permette une utilisation très efficace des matériaux, il faut veiller à ce que toutes les cavités soient entièrement remplies d'isolant fibreux à la densité voulue. La pré-installation du bardage limite les points d'accès pour l'installation de l'isolation sur le site et rend difficile l'assurance et le contrôle de la qualité par thermographie. Les vides non isolés peuvent entraîner des flux d'air convectifs et un risque de condensation à l'arrière du revêtement.



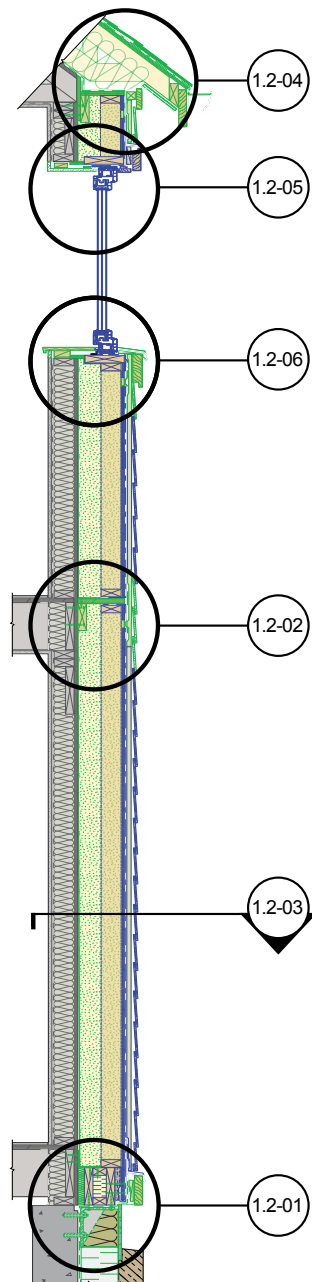


Figure 3 Détail de la section maison wayfinder.

## Détails de construction typiques

Les exemples de détails présentés dans les pages suivantes ont pour but d'illustrer les approches typiques de transition pour la continuité du pare-air et du panneau/isolant. Notez qu'il s'agit d'exemples de détails et que des détails spécifiques au projet doivent toujours être élaborés pour tenir compte des conditions uniques de chaque projet.

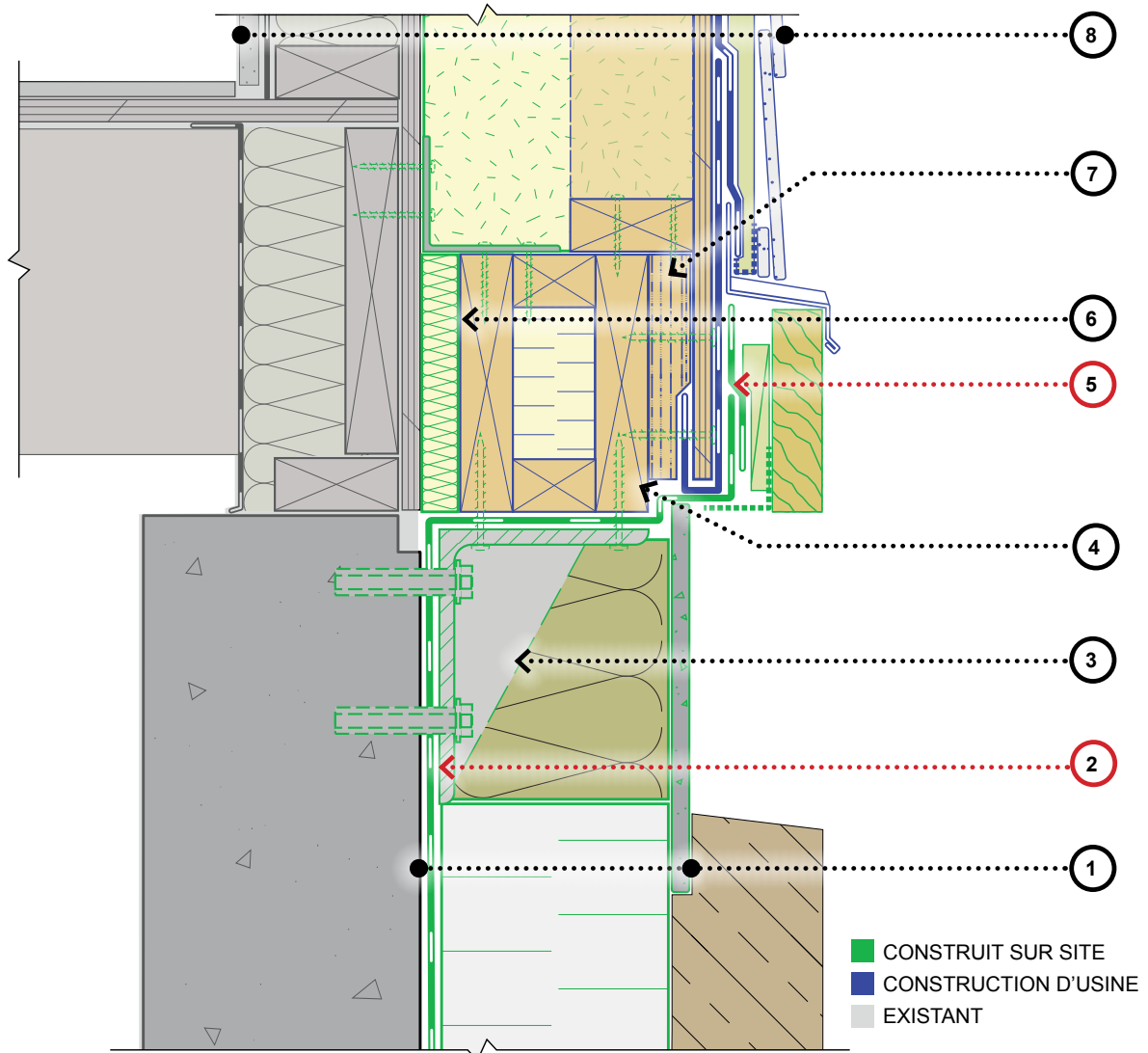
Les annotations et la légende de chaque exemple de détail contiennent des icônes rouges « AB » et « AB/WRB » pour indiquer la présence des différents composants du pare-air et, le cas échéant, de la barrière d'étanchéité à l'eau.

Chaque détail comprend également une légende des couleurs comme suit pour les composants gris, verts et bleus représentés :

- CONSTRUIT SUR SITE
- CONSTRUCTION D'USINE
- EXISTANT

### Liste des détails

Détail 1.2-01		Base du mur à la fondation. . . . .	6
Détail 1.2-02		Joint de panneau horizontal . . . . .	7
Détail 1.2-03		Joint de panneau vertical. . . . .	8
Détail 1.2-04		Haut du mur . . . . .	9
Détail 1.2-05		Appui de fenêtre . . . . .	10
Détail 1.2-06		Tête de fenêtre . . . . .	11

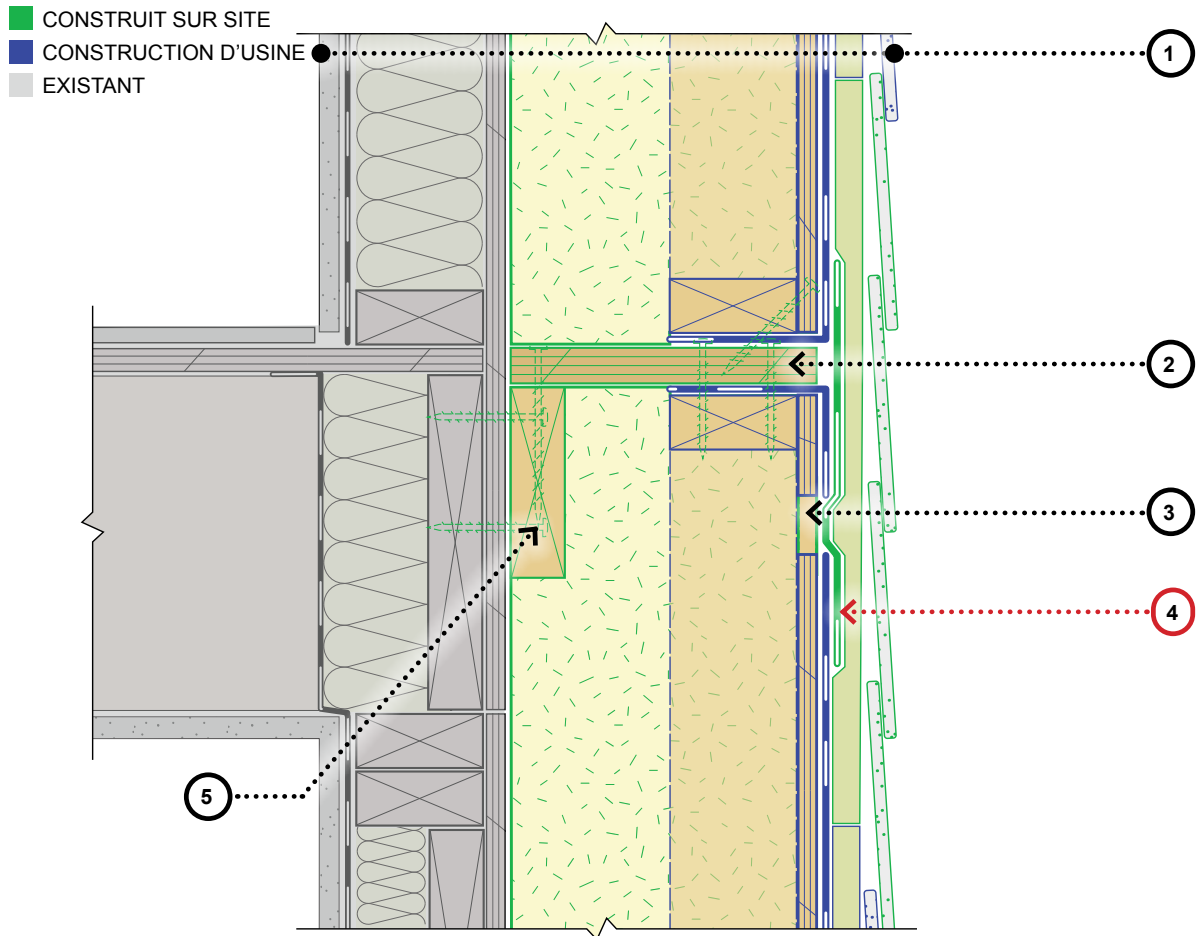


## LÉGENDE

- Assemblage de murs sous le niveau du sol :
  - Panneau de fibre de ciment
  - Isolation en mousse PSE
  - Membrane de transition autocollante (AB/WRB)
  - Assemblage existant
- Membrane de transition avant l'installation du support de fondation (AB/WRB)
- Support de fondation intermittent entouré d'une isolation en laine minérale.
- Poutre caisson isolée continue fixée à la structure existante avec des attaches intermittentes.
- La membrane de transition appliquée sur le site est posée par recouvrement sur la membrane VP installée en usine et les bords avant sont scellés avec du ruban adhésif haute performance. (AB/WRB)
- Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.
- Plaque LSL à la base d'un cadre en 2x4 fixé à une poutre en caisson.
- Assemblage à cadre 2x4.

### Détail A.2-01 | Base du mur à la fondation

Mur REEEP A.2 – Encadrement 2x4



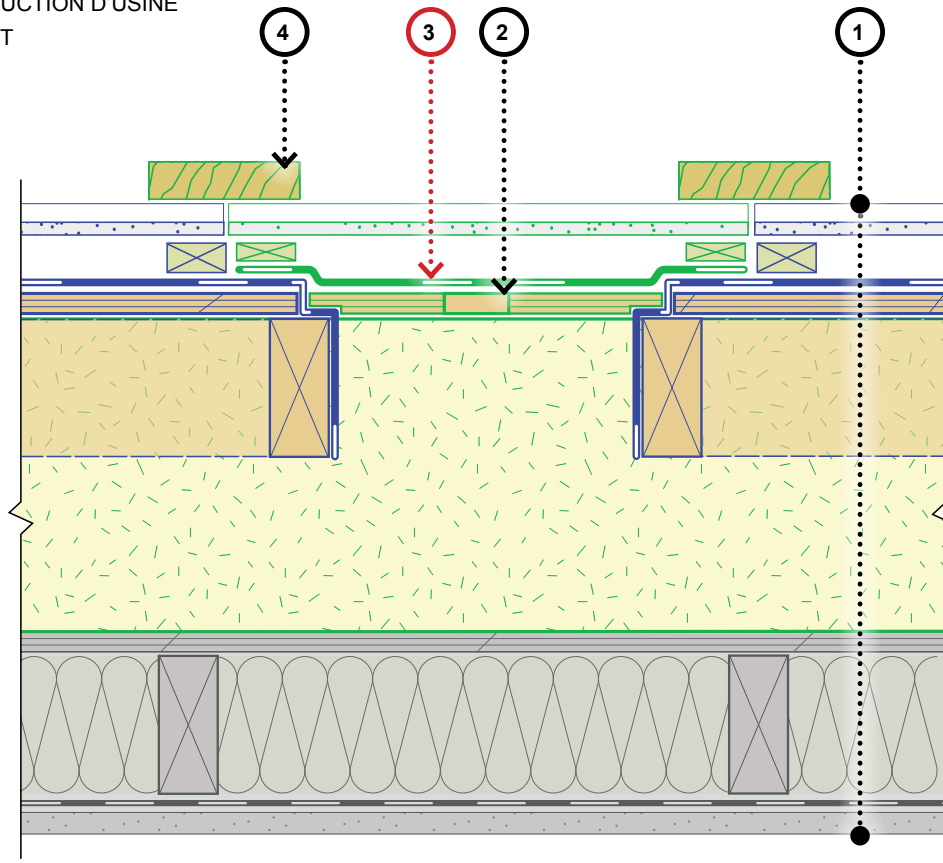
## LÉGENDE

- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Assemblage à cadre 2x4.</li> <li>2. Panneau de bois fixé à une cale d'aplomb en contreplaqué.</li> <li>3. Trou de levage intermittent et fente de remplissage de l'isolant. La fente doit être scellée après l'installation de l'isolation.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Membrane VP autocollante du deuxième étage scellée à la membrane du premier étage et sur le trou de levage/ la fente de remplissage de l'isolant avec un ruban adhésif haute performance. (AB/WRB)</li> <li>5. Blocage en bois fixé à une cale d'aplomb en contreplaqué pour soutenir le panneau.</li> </ol> |
|--|--|

### Détail A.2-02 | Joint de panneau horizontal

Mur REEEP A.2 – Encadrement 2x4

- CONSTRUIT SUR SITE
- CONSTRUCTION D'USINE
- EXISTANT

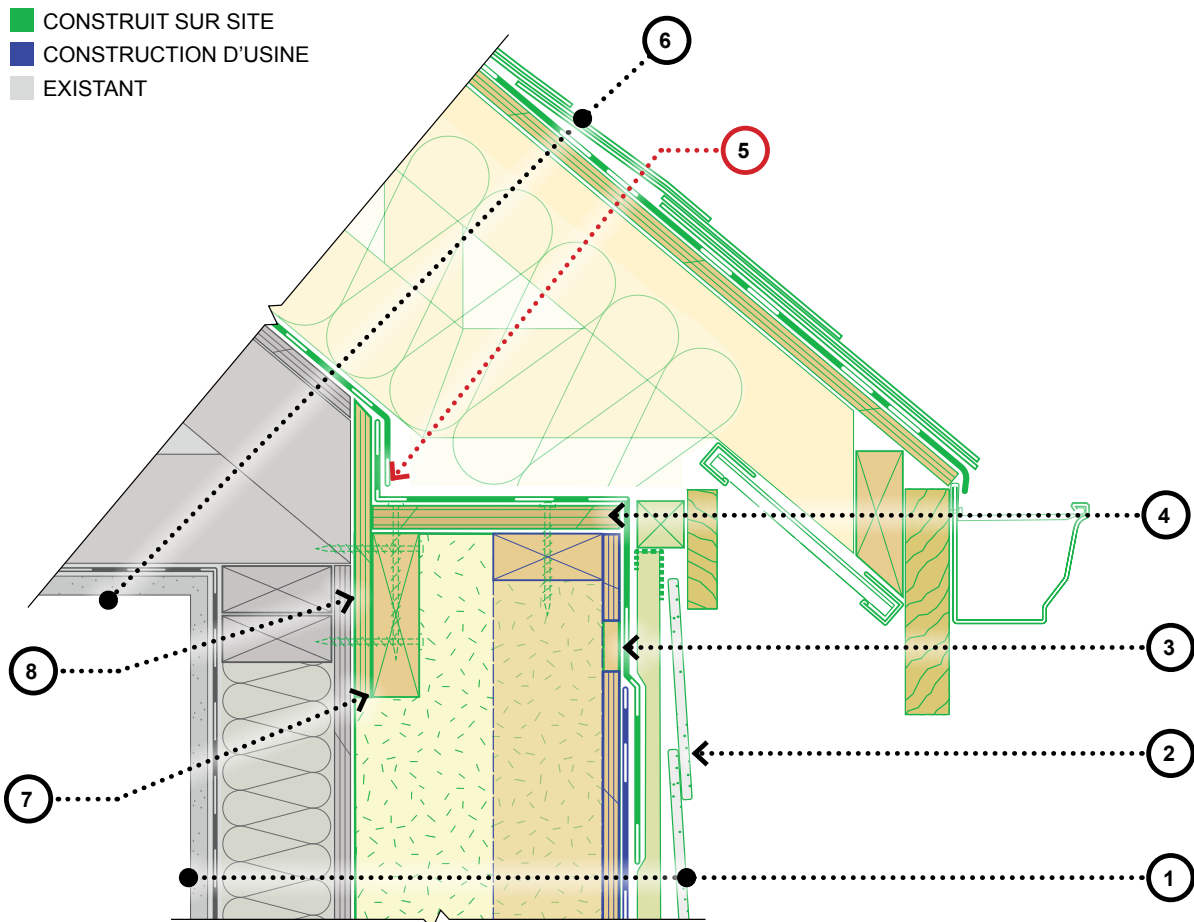


## LÉGENDE

1. Assemblage à cadre 2x4.
2. Fente de remplissage intermittente de l'isolant à travers la cannelure du revêtement. La fente doit être recouverte après la pose de l'isolant.
3. Membrane VP autocollante installée sur place sur une cannelure. (AB/WRB)
4. Garniture installée sur le chantier sur les joints verticaux du bardage.

### Détail A.2-03 | Joint de panneau vertical

Mur REEEP A.2 – Encadrement 2x4

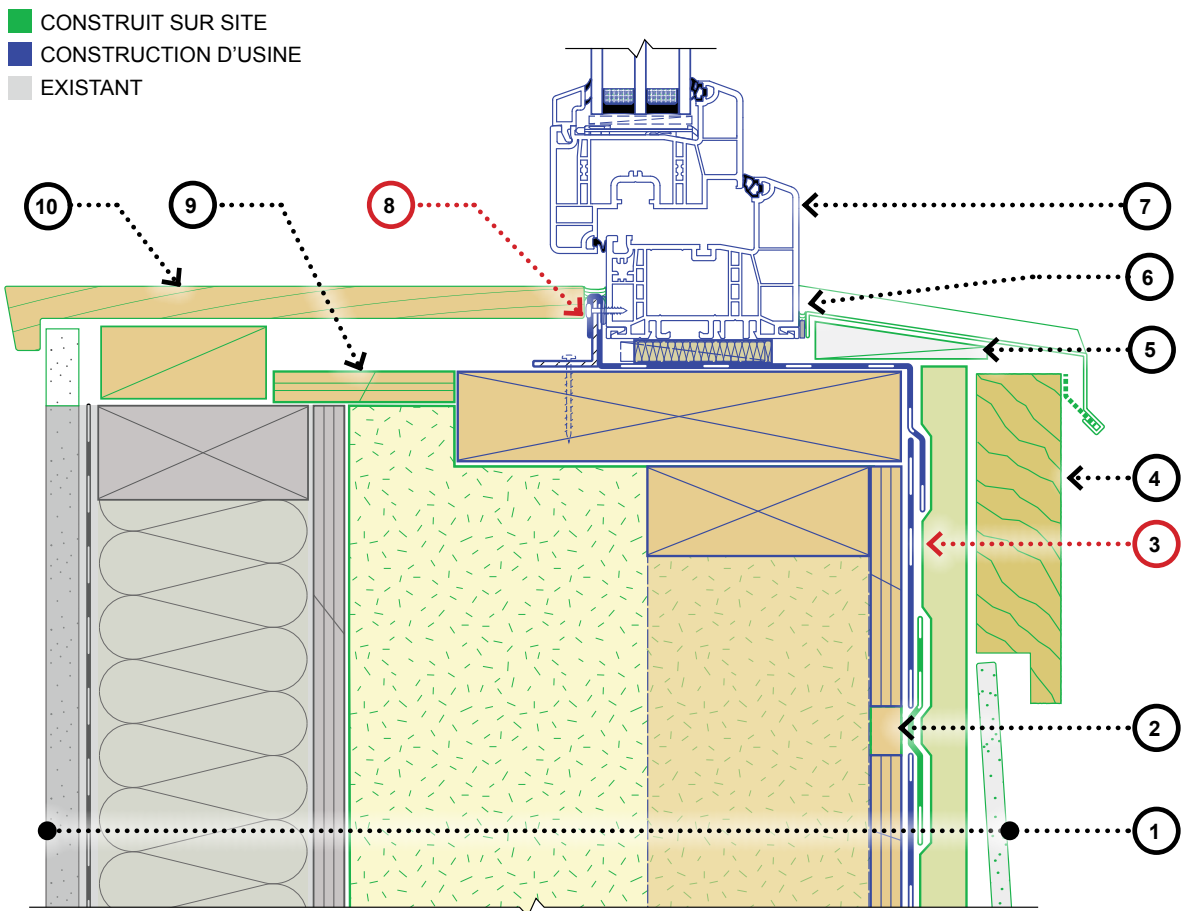


## LÉGENDE

1. Assemblage à cadre 2x4.
2. Revêtement de fermeture appliqué sur place et garniture près du haut du mur.
3. Trou de levage intermittent et fente de remplissage de l'isolant. La fente doit être recouverte après l'installation de l'isolant.
4. Panneau de rive fixé à la cale d'aplomb en contreplaqué. L'ossature du panneau est fixée au panneau de rive continu.
5. Membrane autocollante collée à l'assemblage existant et cale d'aplomb pour recevoir la membrane de toiture. (AB/WRB)
6. Assemblage de toit pour la modernisation de la tronçonneuse.
7. Blocage en bois fixé à une cale d'aplomb en contreplaqué pour soutenir le panneau de bordure.
8. Cale d'aplomb en contreplaqué fixée à l'arrière de la structure du toit existant (rénovation à la tronçonneuse).

### Détail A.2-04 | Haut du mur

Mur REEEP A.2 – Encadrement 2x4

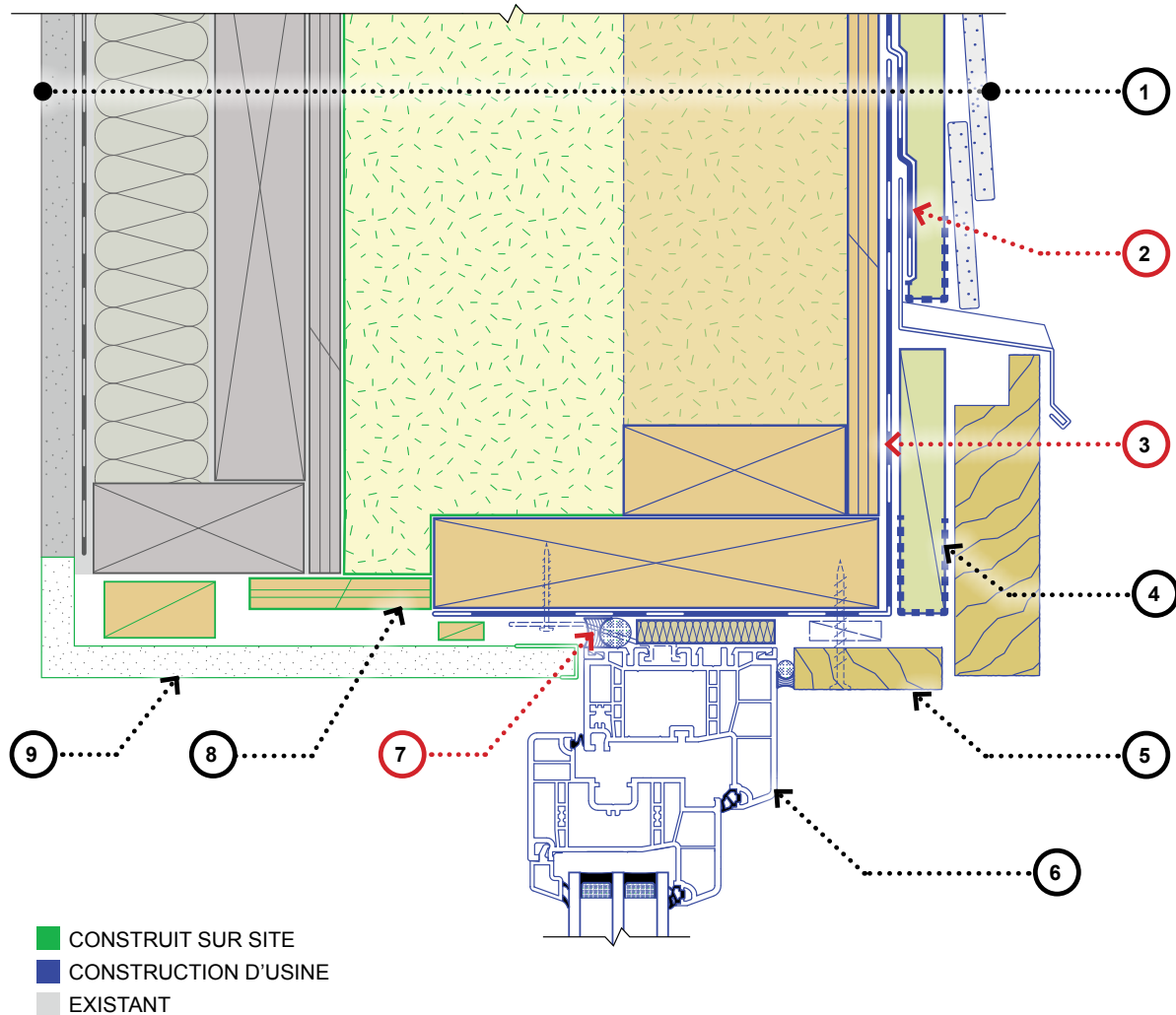


## LÉGENDE

1. Assemblage à cadre 2x4.
2. Trou de levage intermittent et fente de remplissage de l'isolant. La fente doit être scellée avec du ruban adhésif haute performance et recouverte après l'installation de l'isolation.
3. Membrane VP autocollante. (AB/WRB)
4. Habillage de fermeture appliqué sur place et garniture autour de la fenêtre.
5. Bloc de mousse à angle intermittent pour soutenir le solin d'appui.
6. Le solin d'appui de fenêtre est fixé à l'appui de fenêtre à l'aide d'un récepteur métallique perforé et collé à la face du cadre de la fenêtre à l'aide d'un ruban adhésif en mousse et d'un produit d'étanchéité.
7. Fenêtre à triple vitrage installée en usine et fixée à l'aide d'une cornière sur l'appui de fenêtre.
8. La fenêtre est placée dans le scellant continu contre l'angle de l'appui et fixée avec des vis. (AB/WRB)
9. Cale en contreplaqué pour lier le montage ultérieur à l'assemblage existant.
10. Garniture intérieure de fenêtre et scellant de fermeture sur l'angle de l'appui, si nécessaire.

### Détail A.2-05 | Appui de fenêtre

Mur REEEP A.2 – Encadrement 2x4



## LÉGENDE

- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Assemblage à cadre 2x4.</li> <li>2. Membrane autocollante appliquée en usine sur le solin de tête et recouvrant la membrane du solin de tête. (AB/WRB)</li> <li>3. Membrane de solin de tête VP. (AB/WRB)</li> <li>4. Précontrainte et cerclage de la tête de fenêtre installés en usine.</li> <li>5. La garniture de tête est fixée dans le cadre de la fenêtre 2x8.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>6. Nouvelle fenêtre à triple vitrage installée en usine et fixée à l'aide de clips au niveau de la tête et des montants.</li> <li>7. Un scellant d'étanchéité continu est installé entre l'ouverture brute et la tête/les montants de la fenêtre.</li> <li>8. Cale en contreplaqué pour lier le montage ultérieur à l'assemblage existant.</li> <li>9. Plâtre intérieur.</li> </ol> |
|--|--|

### Détail A.2-06 | Tête de fenêtre

Mur REEEP A.2 – Encadrement 2x4



### A.3 Mur REEEP – Base panneaux à base de clouage

Mur en panneaux structuraux isolés partiels (« Demi-PIS ») pour la Rénovation énergétique extérieure préfabriquée avec des éléments préfabriqués utilisant des matériaux et des techniques de pointe.

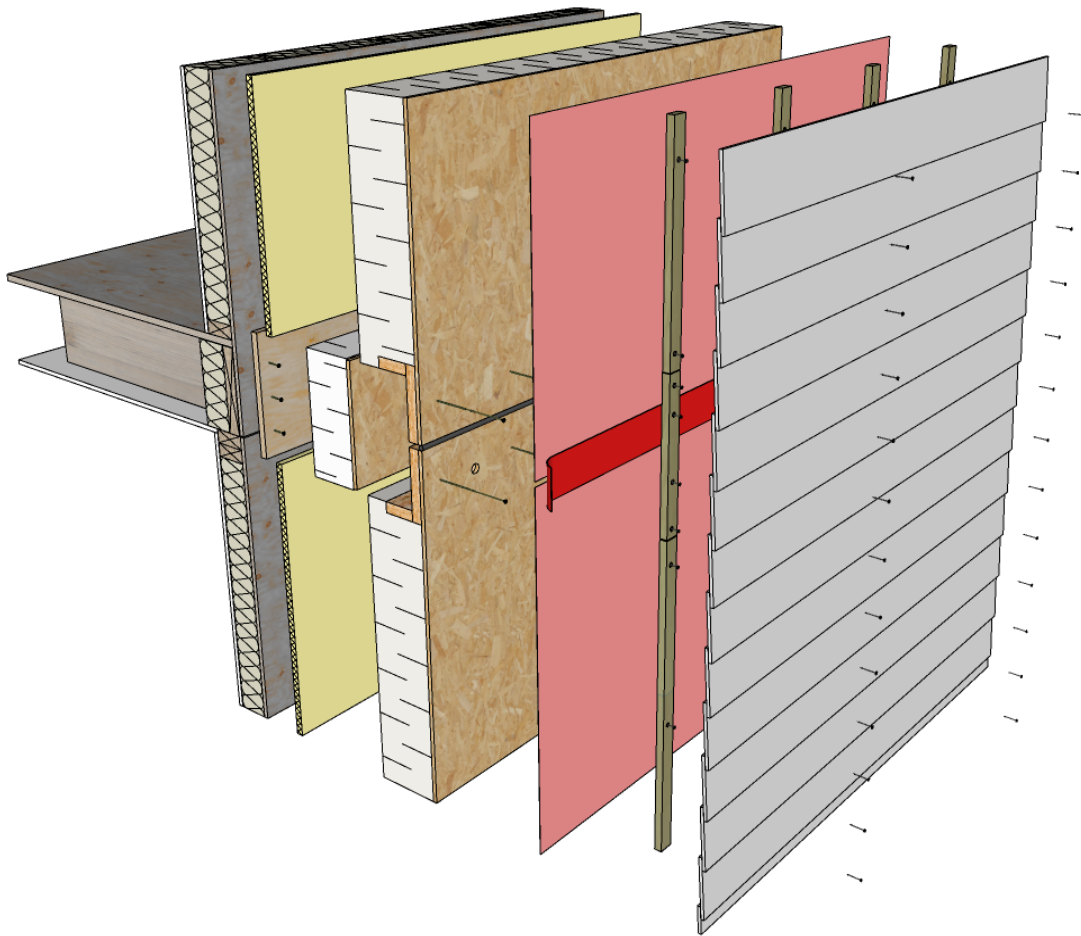


Figure 1 Vue éclatée des composants du panneau de rénovation partielle à la transition de la ligne de plancher

Développé par l'équipe de Ressources naturelles Canada chargée de la Rénovation énergétique extérieure préfabriquée (REEEP).



### A.3 Mur REEEP – Aperçu de l'assemblage des enveloppes PIS

Vous trouverez ci-dessous une description des couches de panneaux de rénovation installés à l'extérieur de la maison existante. Voir également les détails de construction typiques à la page 5.

Extérieur

- › Bardage
- › Cerclage traité au borate + cavité d'air
- › Membrane autocollante perméable à la vapeur (pare-air et barrière d'étanchéité)
- › Demi-PIS : revêtement extérieur en OSB, isolation en PSE, couches collées ensemble
- › Isolation des interstices en fibres minérales compressibles
- › Assemblages existants (non représentés)

Intérieur

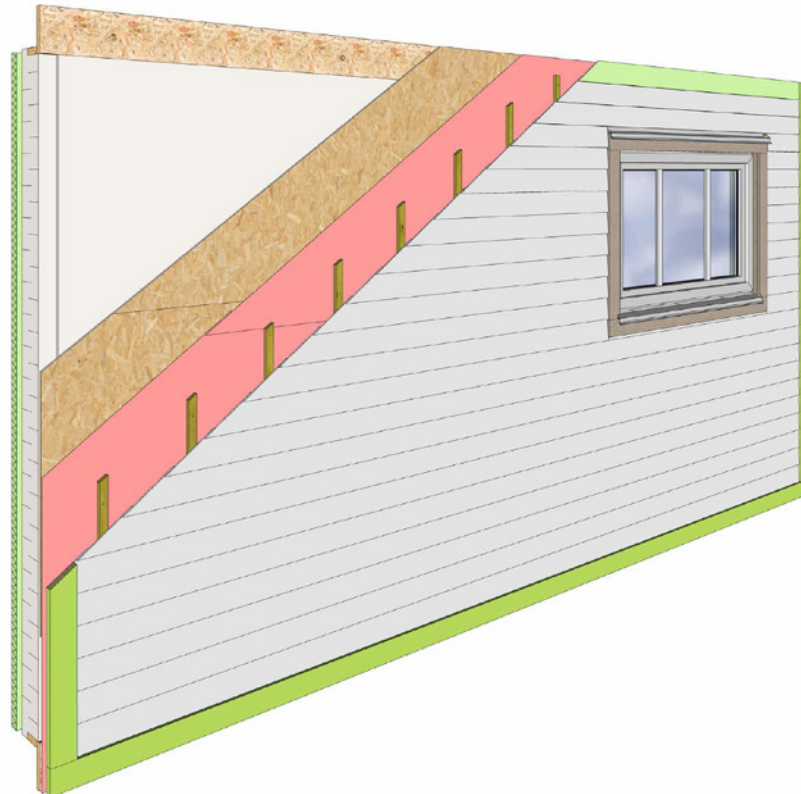


Figure 2 Aperçu du panneau mural demi-PIS de rénovation  
(les surignages verts indiquent les éléments de

## Description de la rénovation

- › Les panneaux peuvent être installés sur le mur existant, soit en enlevant le revêtement, soit en le laissant en place, et en enlevant les fenêtres et les garnitures intérieures existantes. Une couche d'isolant fibreux est installée sur l'assemblage existant afin d'assurer la tolérance de l'installation du panneau tout en isolant le petit espace entre le panneau et le mur existant.
- › Les demi-PIS sont fixés mécaniquement à une poutre caisson isolée continue soutenue par des consoles de fondation intermittentes à la base du mur au-dessus du sol, à un panneau de rive à la ligne de plancher de l'étage suivant, et à une cale d'aplomb en contreplaqué à la ligne de toiture.
- › Le pare-air/pare-pluie (AB/WRB, indiqué en rouge dans les détails) est une membrane autocollante installée en usine sur le revêtement extérieur en OSB, dont les différents bords sont retournés dans les joints et scellés à l'aide d'un ruban acrylique sensible à la pression compatible.
- › Les nouvelles fenêtres (et leurs garnitures/enclavements) peuvent être préinstallées dans les panneaux en usine ou installées sur le site après la mise en place des panneaux pour tenir compte des tolérances. Les membranes de transition AB/WRB-AB pour les fenêtres sont installées en usine sur le demi-PIS
- › L'écran pare-pluie drainé et ventilé est livré pré-installé, sauf aux joints des panneaux et aux interfaces des fenêtres (en cas de pose sur site).
- › Le revêtement de fermeture, les solins et les garnitures sont installés selon les besoins aux joints des panneaux et aux fenêtres.

## Avantages potentiels d'une rénovation de la partie extérieure du PIS

- › Tous les travaux (à l'exception de l'habillage des fenêtres intérieures) sont effectués depuis l'extérieur, ce qui permet à la maison d'être habitable pendant la construction.
- › Les travaux d'installation sur le site sont limités, ce qui réduit les délais d'installation et les perturbations pour les résidents.
- › Élimine l'encadrement sur place et utilise des panneaux manufacturés pour simplifier l'installation.
- › L'épaisseur de l'isolation peut varier en fonction des objectifs de performance énergétique et des marges de recul par rapport à la ligne de lot.
- › Fournit une couche d'isolation continue réduisant les ponts thermiques à travers l'ossature.
- › Améliore l'étanchéité à l'air, réduit les courants d'air et le bruit, et diminue les coûts énergétiques.
- › Réduit le risque de pénétration de l'humidité grâce à un travail minutieux.
- › Offre la possibilité de procéder à des améliorations sismiques pour répondre aux exigences régionales.
- › La rigidité structurelle offerte par les demi-PIS permet d'obtenir des panneaux plus grands et d'assurer une certaine capacité de charge pour l'installation de fenêtres extérieures.
- › Permet de contrôler la qualité du système d'étanchéité à l'air en usine avant qu'il ne soit recouvert d'un revêtement.
- › Permet d'assurer la qualité des transitions du système d'étanchéité à l'air sur le site avant l'installation du revêtement de fermeture.
- › L'absence d'une couche intérieure en OSB réduit les risques de condensation et de moisissure par rapport à un PIS complet.

## Principales considérations

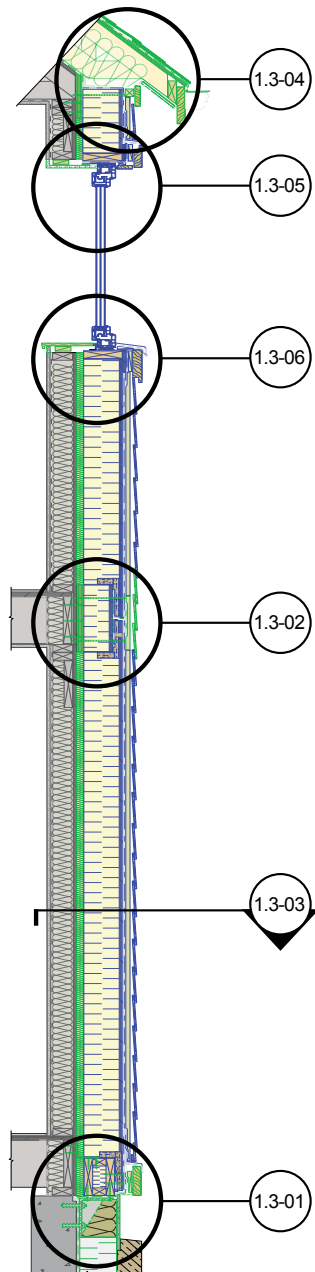
**Étanchéité à l'air** : Le pare-air (AB) est assuré par la membrane du côté extérieur du demi-PIS. Des solins en membrane souple autour des joints de panneaux, des fenêtres, des portes et des autres pénétrations et transitions complètent l'étanchéité à l'air. L'étanchéité au niveau de la sablière et de la base du mur, là où le nouveau mur se raccorde à la maison existante, est également nécessaire. Les ouvertures autour des pénétrations électriques, mécaniques et autres sont scellées tout au long du processus de construction. Ces détails sont essentiels pour garantir une barrière étanche à l'air.

**Raccordement à la structure existante** : Cette modernisation utilise des supports structurels et une poutre en caisson continue à la base du mur au-dessus du niveau du sol pour soutenir le demi-PIS du premier étage à sa base. Un panneau de rive à la ligne de plancher de l'étage suivant est fixé à la structure existante et sert de support à la partie supérieure du demi-PIS du premier étage et à la partie inférieure du demi-PIS du deuxième étage. De longues vis à travers le demi-PIS dans une cale d'aplomb en contreplaqué et dans l'ossature du bâtiment existant produisent un sandwich autoportant au sommet du demi-PIS du deuxième étage. Les fenêtres déplacées vers l'extérieur facilitent l'étanchéité avec l'AB/WRB.

**Contrôle de l'eau** : La membrane sur le revêtement extérieur en OSB du demi-PIS sert de barrière d'étanchéité à l'eau (WRB). Un cerclage vertical est installé en usine sur la WRB afin de créer un écran pare-pluie derrière le bardage.

**Bardage** : Ce système doit être facilement transportable et ne permet donc d'utiliser que des matériaux de revêtement plus légers. Les matériaux tels que les panneaux de ciment ou le bois préfini sont installés en usine directement sur le cerclage. L'installation sur site de certains revêtements autour des joints de panneaux et des fenêtres peut être nécessaire.

**Durabilité** : Les demi-panneaux PIS auront un potentiel de séchage réduit en fonction de l'épaisseur de l'isolation PSE. Les applications doivent être modélisées pour évaluer les risques.



## Détails de construction typiques

Les exemples de détails présentés dans les pages suivantes ont pour but d'illustrer les approches typiques de transition pour la continuité du pare-air et du panneau/isolant. Notez qu'il s'agit d'exemples de détails et que des détails spécifiques au projet doivent toujours être élaborés pour tenir compte des conditions uniques de chaque projet.

Les annotations et la légende de chaque exemple de détail contiennent des icônes rouges « AB » et « AB/WRB » pour indiquer la présence des différents composants du pare-air et, le cas échéant, de la barrière d'étanchéité à l'eau.

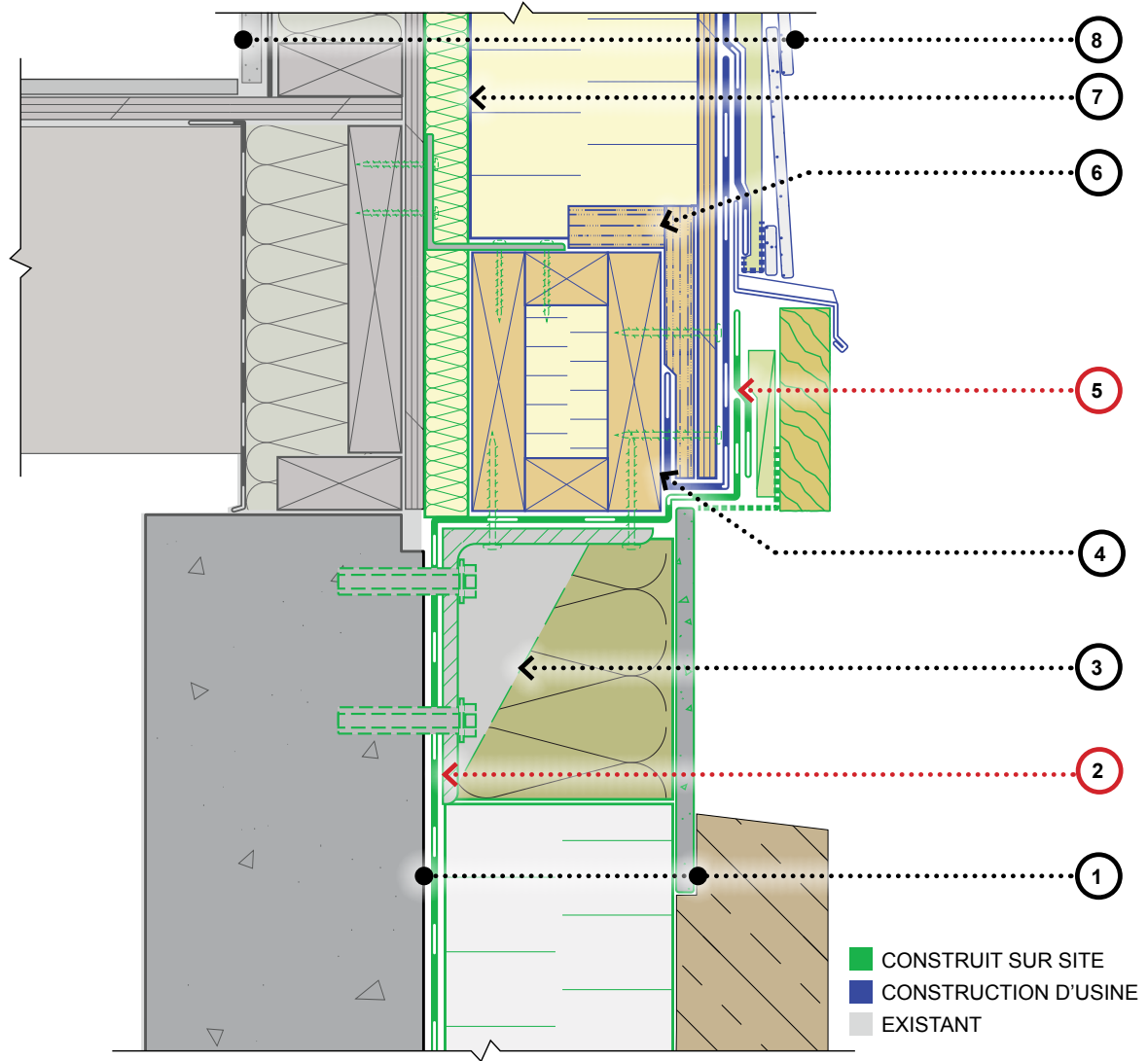
Chaque détail comprend également une légende des couleurs comme suit pour les composants gris, verts et bleus représentés :

- CONSTRUIT SUR SITE
- CONSTRUCTION D'USINE
- EXISTANT

## Liste des détails

Détail 1.3-01		Base du mur à la fondation. . . . .	6
Détail 1.3-02		Joint de panneau horizontal . . . . .	7
Détail 1.3-03		Joint de panneau vertical. . . . .	8
Détail 1.3-04		Haut du mur . . . . .	9
Détail 1.3-05		Appui de fenêtre . . . . .	10
Détail 1.3-06		Tête de fenêtre . . . . .	11

Figure 3 Détail de la section maison wayfinder

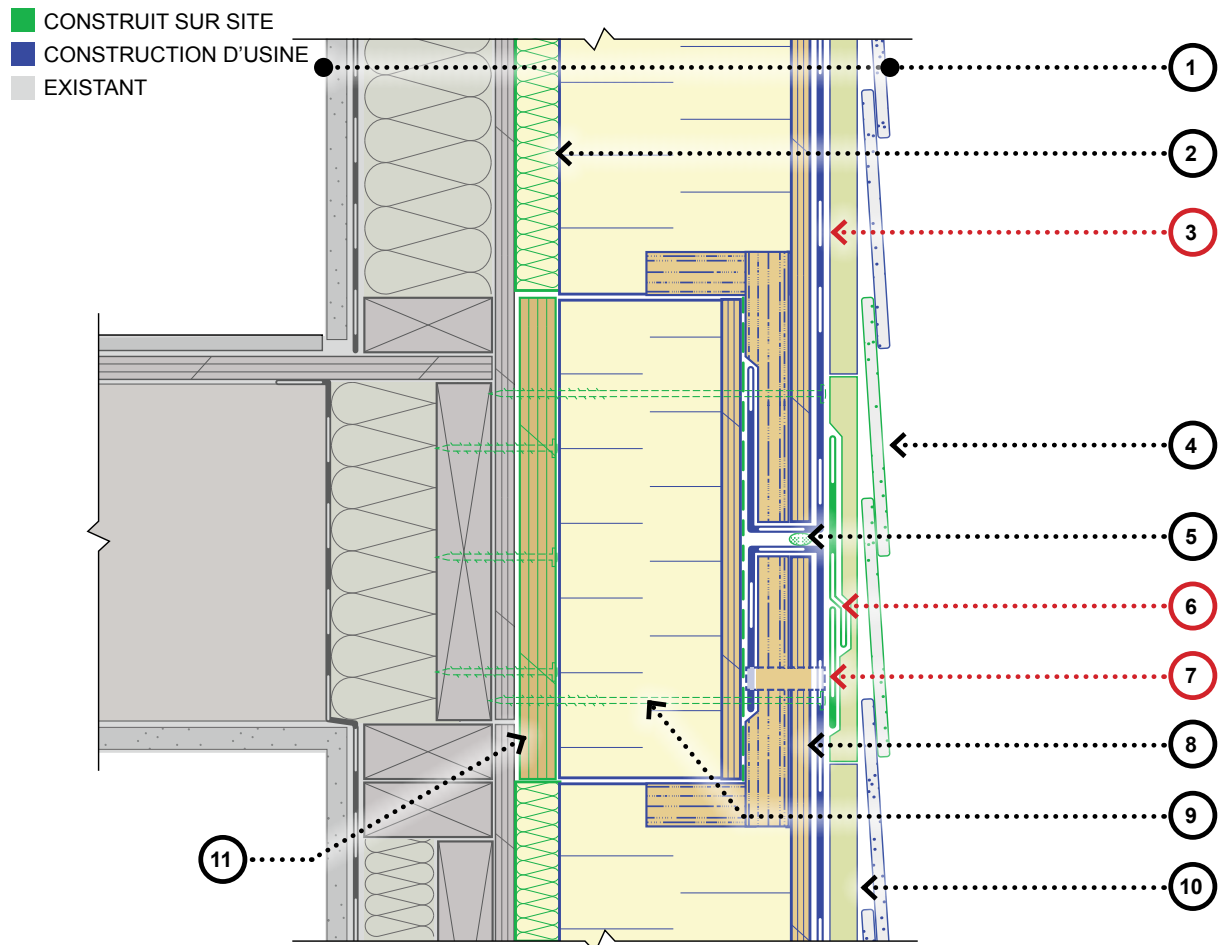


## LÉGENDE

- Assemblage de murs sous le niveau du sol :
  - Panneau de fibre de ciment
  - Isolation en mousse PSE
  - Membrane de transition autocollante (AB/WRB)
  - Assemblage existant
- Membrane de transition avant l'installation du support de fondation (AB/WRB).
- Support de fondation intermittent entouré d'une isolation en laine minérale.
- Poutre caisson isolée continue fixée à la structure existante avec des attaches intermittentes.
- Membrane de transition pré-établie posée à l'envers sur la membrane VP auto-adhésive, les bords d'attaque étant scellés à l'aide d'un ruban adhésif haute performance. (AB/WRB)
- Plaques LSL à la base du demi-PIS fixées à la poutre de caisson.
- Isolation en fibre de verre comprimée (« Couche molle »).
- Base de clouage Assemblage mural.

### Détail A.3-01 | Base du mur à la fondation

Mur REEEP A.3 – Base de clouage PIS

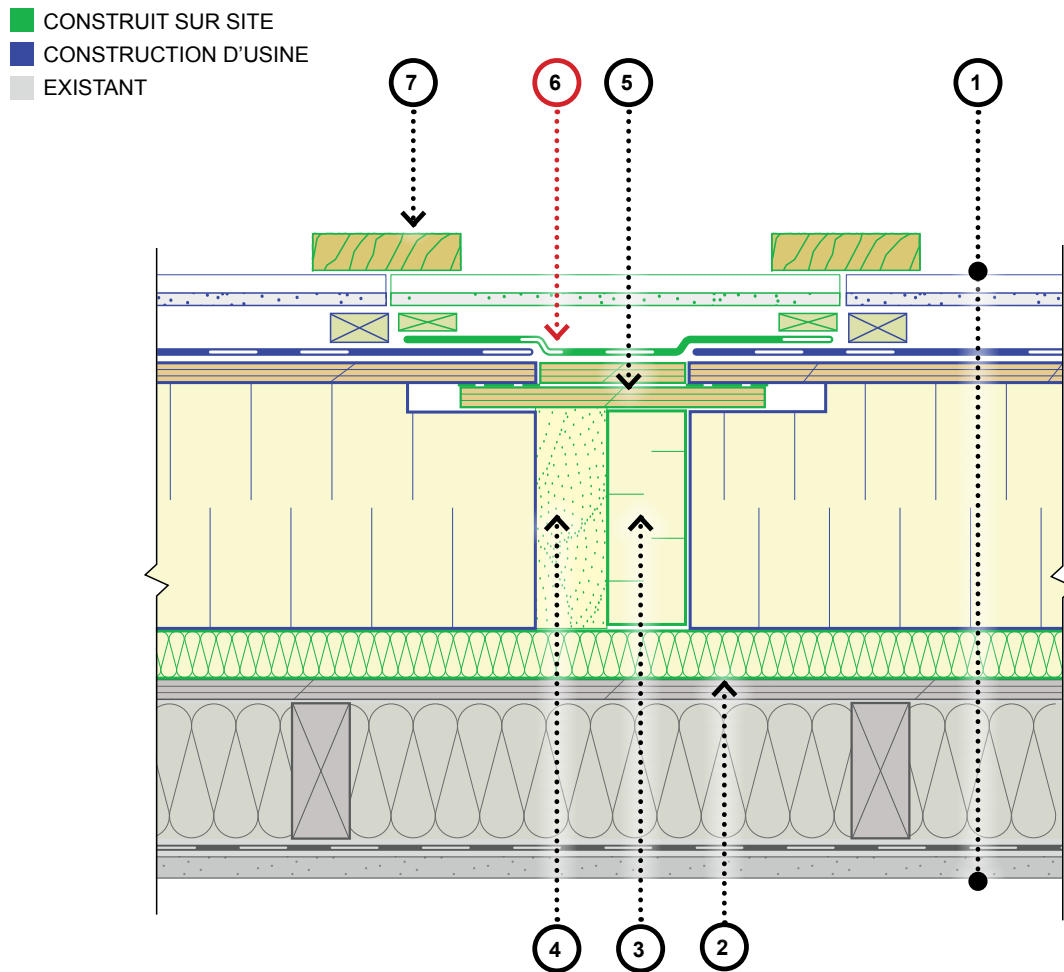


## LÉGENDE

- |   |  |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Base de clouage Assemblage mural.</li> <li>2. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.</li> <li>3. Membrane VP autocollante. (AB/WRB)</li> <li>4. Revêtement appliqué sur le site à travers le joint.</li> <li>5. Tige d'appui entre les panneaux de plancher.</li> <li>6. Membrane VP autocollante du deuxième étage scellée à la membrane du premier étage à l'aide d'un ruban adhésif haute performance. (AB/WRB)</li> <li>7. Trou de levage renforcé en haut des cannelures du PIS, scellé avec du ruban adhésif haute performance. (AB/WRB)</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>8. L'ossature LSL au niveau des demi-panneaux PIS est fixée et collée au panneau de rive à l'aide d'un adhésif de construction.</li> <li>9. Panneau de rive continu fixé à une cale d'aplomb en contreplaqué.</li> <li>10. Cerclage du panneau installé en usine. Le bardage est installé au-dessus de la tête de fenêtre.</li> <li>11. Cale d'aplomb en contreplaqué fixée à la structure existante au niveau du sol.</li> </ol> |
|---|--|

### Détail A.3-02 | Joint de panneau horizontal

Mur REEEP A.3 – Base de clouage PIS

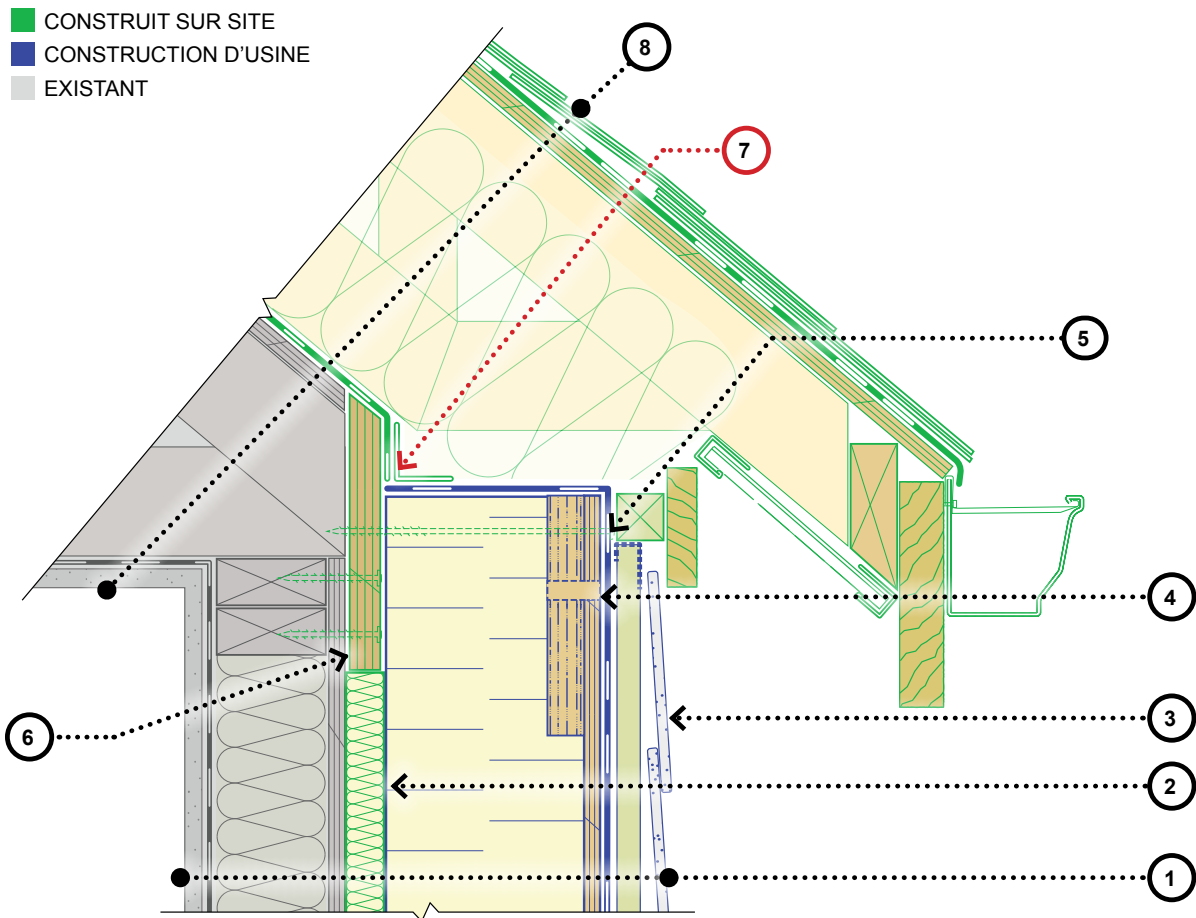


## LÉGENDE

- |   |  |
|---|--|
| 1. Base de clouage Assemblage mural.  | 5. Cannelures avant collées en place.  |
| 2. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides. | 6. Membrane VP autocollante installée sur place sur les cannelures. (AB/WRB) |
| 3. Bloc de remplissage PSE.   | 7. Garniture installée sur le chantier sur les joints verticaux du bardage.  |
| 4. Mousse auto-expansive pour joints.                                       |  |

### Détail A.3-03 | Joint de panneau vertical

Mur REEEP A.3 – Base de clouage PIS



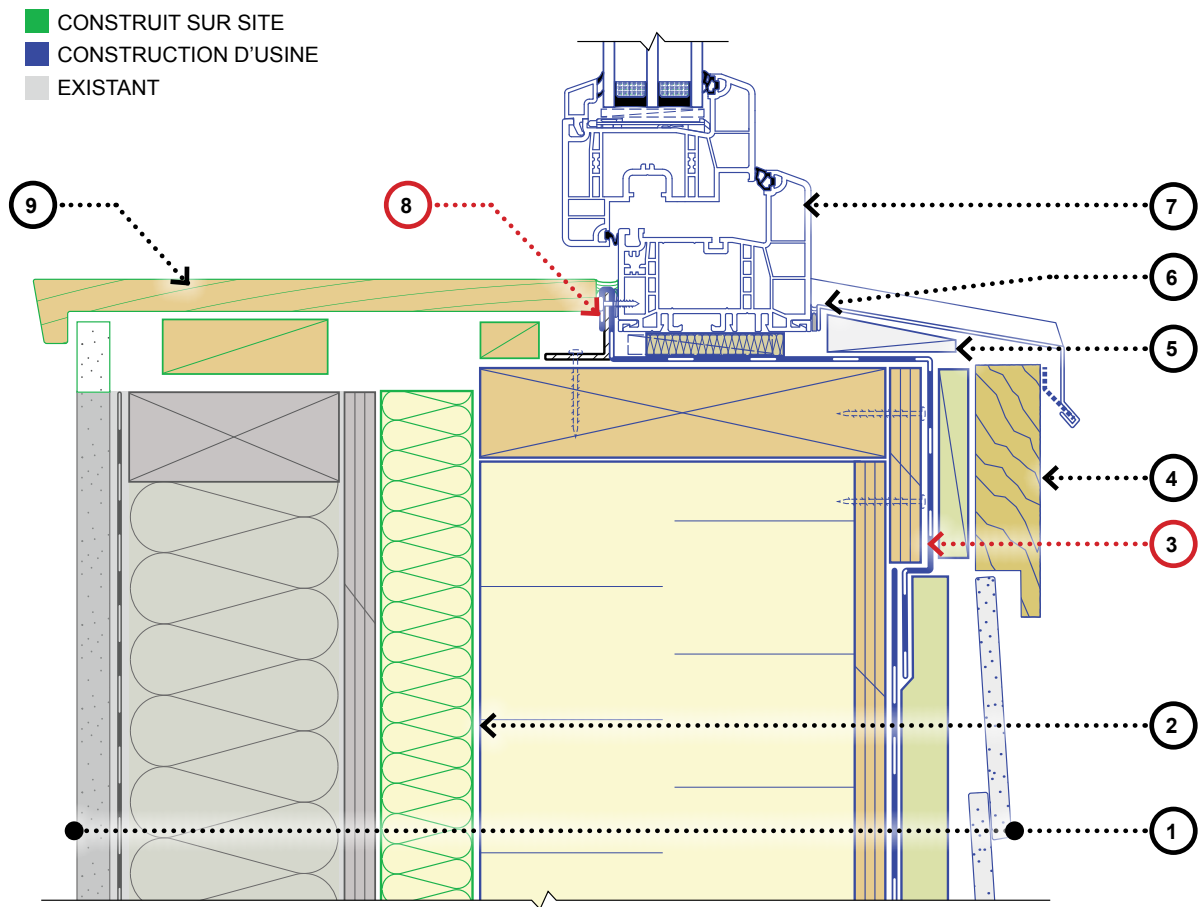
## LÉGENDE

- |   |   |
|---|---|
| 1. Base de clouage Assemblage mural.  | 5. Panneau fixé à la structure existante du toit.   |
| 2. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.                     | 6. Cale d'aplomb en contreplaqué fixée à l'arrière de la structure du toit existant (rénovation à la tronçonneuse).                   |
| 3. Revêtement de fermeture et garniture appliqués en usine près de la partie supérieure du mur. | 7. Ruban haute performance scellé à la membrane autocollante installée en usine et à la membrane d'assemblage de la toiture. (AB/WRB) |
| 4. Trous de levage à travers le revêtement extérieur et la poutre LSL.                          | 8. Assemblage de toit de rénovation réaliser à la tronçonneuse.   |

### Détail A.3-04 | Haut du mur

Mur REEEP A.3 – Base de clouage PIS



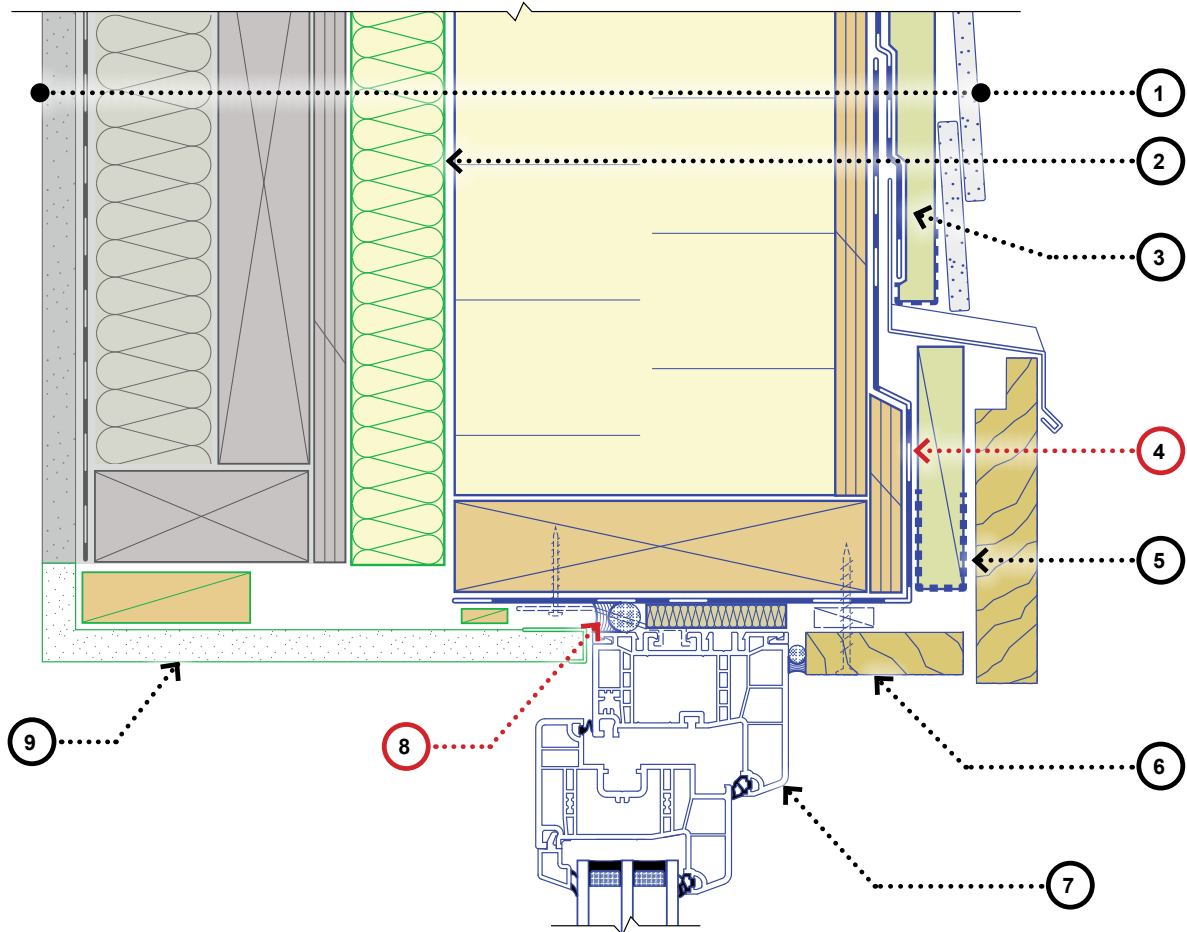


## LÉGENDE

1. Base de clouage Assemblage mural.
2. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.
3. Membrane d'appui autocollante sur l'angle de l'appui et sur la membrane de champ. (AB/WRB)
4. Habillage et garniture de fermeture appliqués en usine autour de la fenêtre.
5. Bloc de mousse à angle intermittent pour soutenir le solin d'appui.
6. Le solin d'appui de fenêtre est fixé à l'appui de fenêtre à l'aide d'un récepteur métallique perforé et collé à la face du cadre de la fenêtre à l'aide d'un ruban adhésif en mousse et d'un produit d'étanchéité.
7. Nouvelle fenêtre à triple vitrage installée en usine et fixée à l'aide d'une cornière sur l'appui de fenêtre.
8. Fenêtre installée en usine, posée dans un joint continu sur l'angle de l'appui et fixée avec des vis. (AB/WRB)
9. Garniture intérieure de fenêtre et scellant de fermeture sur l'angle de l'appui, si nécessaire.

### Détail A.3-05 | Appui de fenêtre

Mur REEEP A.3 – Base de clouage PIS



- CONSTRUIT SUR SITE
- CONSTRUCTION D'USINE
- EXISTANT

## LÉGENDE

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Base de clouage Assemblage mural.</li> <li>2. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.</li> <li>3. Revêtement de fermeture installé en usine et membrane autocollante sur le solin de tête et recouvrant la membrane du solin de tête. (AB/WRB)</li> <li>4. Membrane de solin de tête VP. (AB/WRB)</li> <li>5. Précontrainte et cerclage de la tête de fenêtre installés en usine.</li> <li>6. La tête et le pied de la charpente sont cloués dans un châssis de fenêtre 2x8.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>7. Nouvelle fenêtre à triple vitrage installée en usine et fixée à l'aide de clips au niveau de la tête et des montants.</li> <li>8. Un scellant d'étanchéité continu est installé entre l'ouverture brute et la tête/les montants de la fenêtre.</li> <li>9. Plâtre intérieur.</li> </ol> |
|--|---|

### Détail A.3-06 | Tête de fenêtre

Mur REEEP A.3 – Base de clouage PIS



## A.4 Mur REEEP – Système de mur à panneaux solives en I

Panneau à ossature pour la Rénovation énergétique extérieure préfabriquée à l'aide de matériaux et de techniques de pointe.

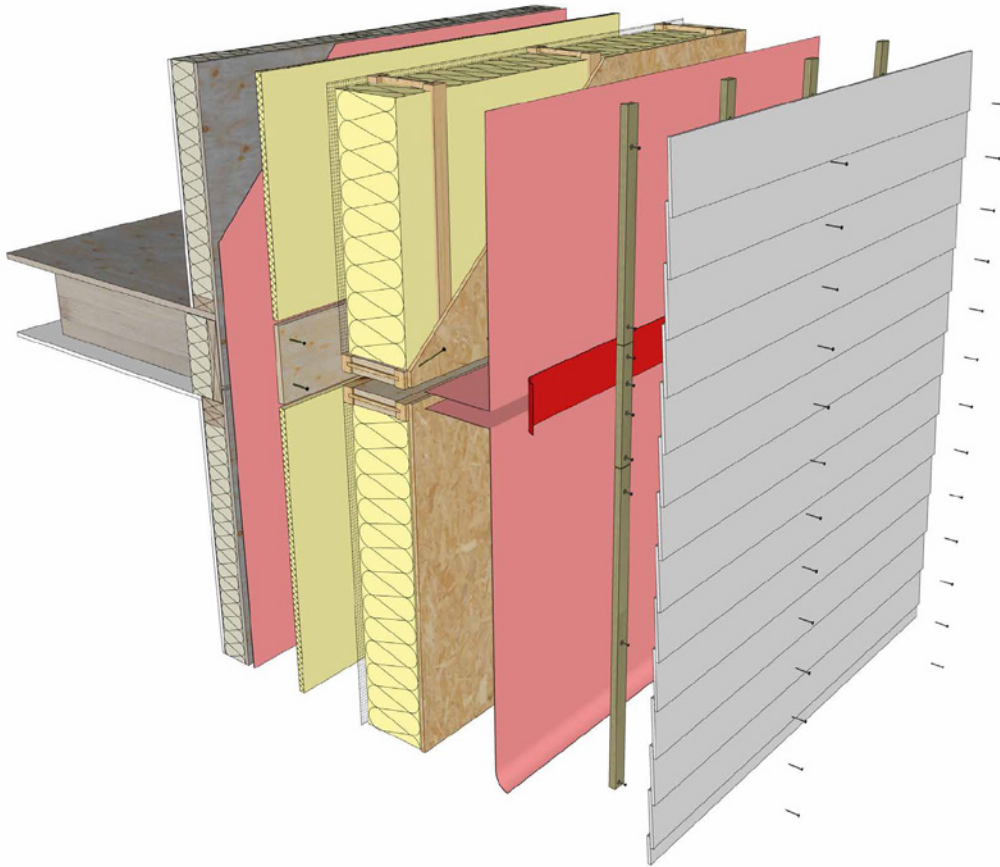


Figure 1 Vue éclatée des composants du panneau de rénovation partielle à la transition de la ligne de plancher

Développé par l'équipe de Ressources naturelles Canada chargée de la Rénovation énergétique extérieure préfabriquée (REEEP).

## A.4 Mur REEEP – Vue d’ensemble de l’assemblage de l’armoire sur poutrelles en I

Vous trouverez ci-dessous une description des couches de panneaux de rénovation installés à l’extérieur de la maison existante. Voir également les détails de construction typiques à la page 5.

Extérieur

- › Bardage
- › Cerclage traité au borate + cavité d’air
- › Membrane autocollante perméable à la vapeur (barrière d’étanchéité à l’eau)
- › Revêtement mural
- › Solive en I avec isolation en matelas fibreux et treillis de retenue
- › Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides
- › Assemblages existants avec membrane perméable à la vapeur autocollante (pare-air) (non illustré)

Intérieur

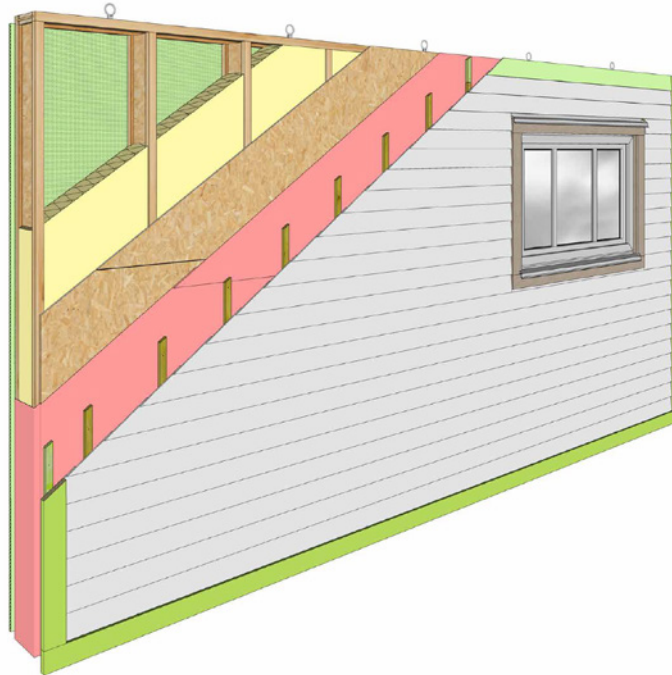


Figure 2 Aperçu des panneaux à solives en I (les surlignages verts indiquent les composants de joints périphériques et d'encastrement appliqués sur le site).

## Description de la rénovation

- › Les panneaux peuvent être installés sur le mur existant, soit en enlevant le revêtement, soit en le laissant en place, et en enlevant les fenêtres et les garnitures intérieures existantes. Une couche d'isolant fibreux est installée sur l'assemblage existant afin d'assurer la tolérance de l'installation du panneau tout en isolant le petit espace entre le panneau et le mur existant.
- › Les panneaux solives à isolation en matelas entre les montants sont fixés à une poutre-caisson isolée continue soutenue par des supports de fondation intermittents à la base du mur au-dessus du niveau du sol, et par des cales d'aplomb en contreplaqué à la ligne de plancher de l'étage suivant, et à la ligne de toit.
- › Le pare-air (AB, indiqué par des repères rouges dans les détails) est une membrane autocollante perméable à la vapeur appliquée sur place sur le revêtement existant.
- › La barrière de résistance aux intempéries (WRB, indiquée par des repères rouges dans les détails) est une membrane perméable à la vapeur d'eau, autocollante, collée sur le revêtement extérieur du panneau.
- › Les nouvelles fenêtres (et leurs garnitures) peuvent être préinstallées dans les panneaux en usine ou installées sur place après la mise en place des panneaux pour tenir compte des tolérances. Les membranes de transition AB/WRB des fenêtres et des portes sont installées sur place entre la membrane pare-air et les membranes de solin des fenêtres.
- › L'écran pare-pluie drainé et ventilé est livré pré-installé, sauf aux joints des panneaux et aux interfaces des fenêtres (en cas de pose sur site).
- › Le revêtement de fermeture, les solins et les garnitures sont installés selon les besoins aux joints des panneaux et aux fenêtres.

## Avantages potentiels d'une rénovation de l'isolation des poutres en I et de l'isolation en matelas

- › Tous les travaux (à l'exception de l'habillage des fenêtres intérieures) sont effectués depuis l'extérieur, ce qui permet à la maison d'être habitable pendant la construction.
- › Les travaux d'installation sur le site sont limités, ce qui réduit les délais d'installation et les perturbations pour les résidents.
- › L'utilisation de panneaux préfabriqués simplifie l'installation et élimine la nécessité d'une charpente sur place.
- › L'épaisseur de l'isolation peut varier (limitée à la profondeur des solives en I) pour tenir compte des objectifs de performance énergétique et des marges de recul par rapport à la ligne de lot.
- › La rigidité structurelle des panneaux encadrés leur permet d'être construits plus grands et d'offrir une certaine capacité de charge pour l'installation de fenêtres extérieures.
- › Améliore l'étanchéité à l'air, réduit les courants d'air et le bruit, et diminue les coûts énergétiques.
- › Réduit le risque de pénétration de l'humidité grâce à un travail minutieux.
- › Meilleure tolérance aux infiltrations d'eau et au potentiel de séchage par rapport à une rénovation à base de mousse rigide.
- › Offre la possibilité de procéder à des améliorations sismiques pour répondre aux exigences régionales.
- › Permet de contrôler la qualité du système d'étanchéité à l'air en usine avant qu'il ne soit recouvert d'un revêtement.
- › Permet d'assurer la qualité des transitions du système d'étanchéité à l'air sur le site avant l'installation du revêtement de fermeture.

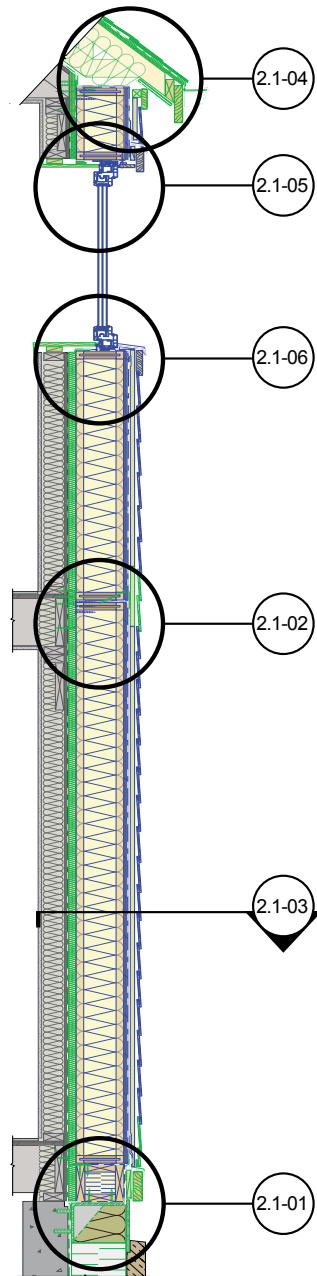
## Principales considérations

**Étanchéité à l'air** : Le pare-air (AB) est assuré par la membrane installée sur le revêtement existant. Cela réduit le risque de fuites d'air dans les cavités des panneaux, qui peuvent entraîner une accumulation d'humidité. Des solins en membrane souple autour des fenêtres, des portes et des autres pénétrations et transitions complètent le pare-air. L'étanchéité au niveau de la sablière et de la fondation, là où le nouveau mur se raccorde à la maison existante, est également nécessaire. Les ouvertures autour des pénétrations électriques, mécaniques et autres sont scellées tout au long du processus de construction. Ces détails sont essentiels pour garantir une barrière étanche à l'air.

**Raccordement à la structure existante** : Cette rénovation utilise des supports structurels et une poutre en caisson continue à la base du mur au-dessus du niveau du sol pour soutenir le panneau du premier étage à sa base. Le haut des panneaux est fixé à la structure existante au niveau de la ligne de plancher du deuxième étage et de la ligne de toit à l'aide de cales d'aplomb en contreplaqué et de sangles métalliques. La partie inférieure du panneau du deuxième étage est vissée à la partie supérieure du panneau du premier étage.

**Contrôle de l'eau** : La membrane sur le revêtement extérieur du panneau fait office de barrière d'étanchéité à l'eau (WRB). Un cerclage est installé en usine sur la WRB et fixé à l'ossature du mur afin de créer un écran pare-pluie derrière le bardage.

**Bardage** : Ce système doit être facilement transportable et ne permet donc d'utiliser que des matériaux de revêtement plus légers. Les matériaux tels que les panneaux de ciment ou le bois préfini sont installés en usine directement sur le cerclage. L'installation sur site de certains revêtements autour des joints de panneaux et des fenêtres peut être nécessaire.



## Détails de construction typiques

Les exemples de détails présentés dans les pages suivantes ont pour but d'illustrer les approches typiques de transition pour la continuité du pare-air et du panneau/isolant. Notez qu'il s'agit d'exemples de détails et que des détails spécifiques au projet doivent toujours être élaborés pour tenir compte des conditions uniques de chaque projet.

Les annotations et la légende de chaque exemple de détail contiennent des icônes rouges « AB » et « WRB » pour indiquer la présence des différents composants du pare-air et, le cas échéant, de la barrière d'étanchéité à l'eau.

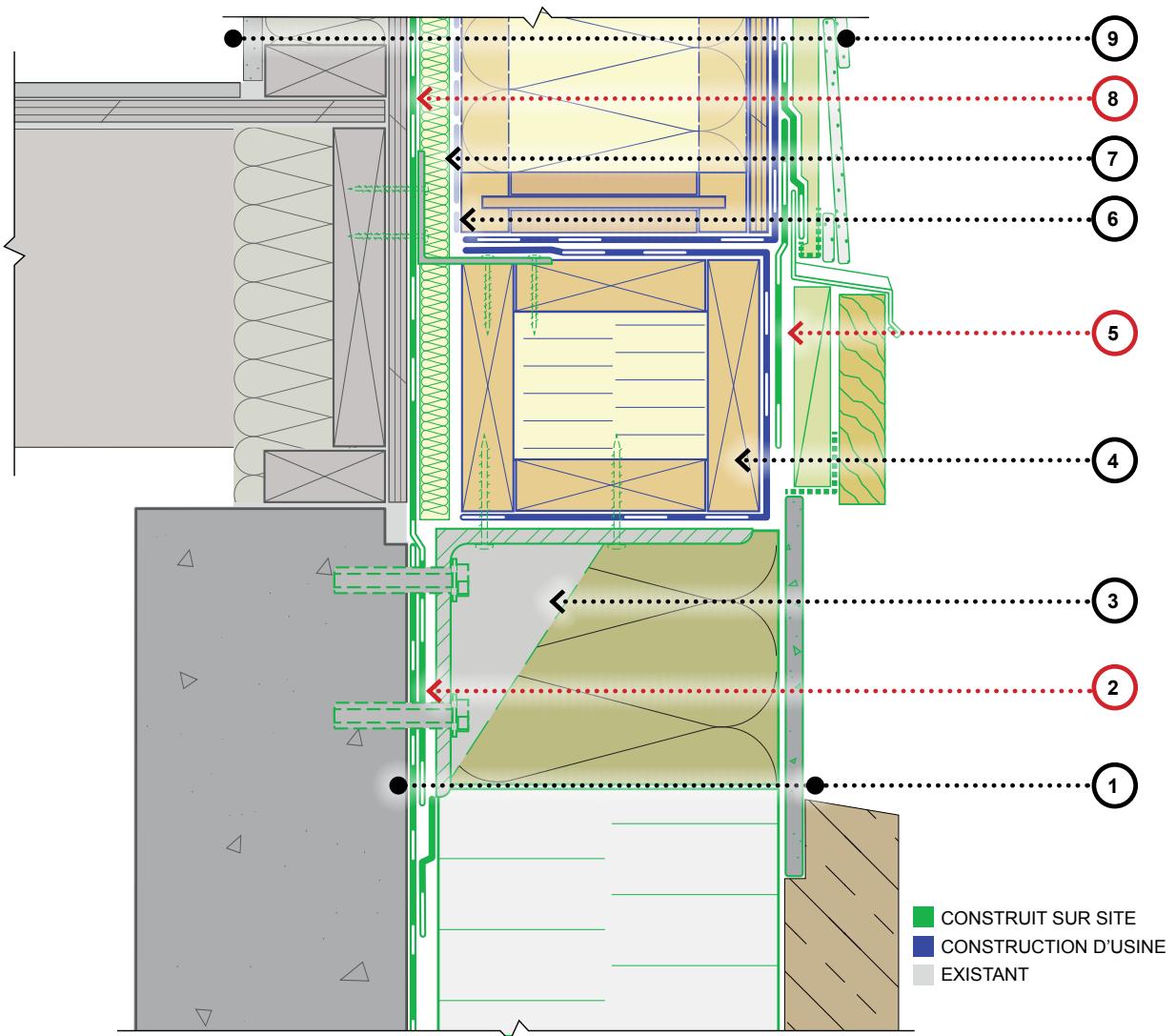
Les lignes roses indiquent le treillis isolant installé en usine. Chaque détail comprend également une légende des couleurs comme suit pour les composants gris, verts et bleus représentés :

- CONSTRUIT SUR SITE
- CONSTRUCTION D'USINE
- EXISTANT

### List of Details

Détail 2.1-01		Base du mur à la fondation. . . . .	6
Détail 2.1-02		Joint de panneau horizontal . . . . .	7
Détail 2.1-03		Joint de panneau vertical. . . . .	8
Détail 2.1-04		Haut du mur . . . . .	9
Détail 2.1-05		Appui de fenêtre . . . . .	10
Détail 2.1-06		Tête de fenêtre . . . . .	11

Figure 3 Détail de la section maison wayfinder.



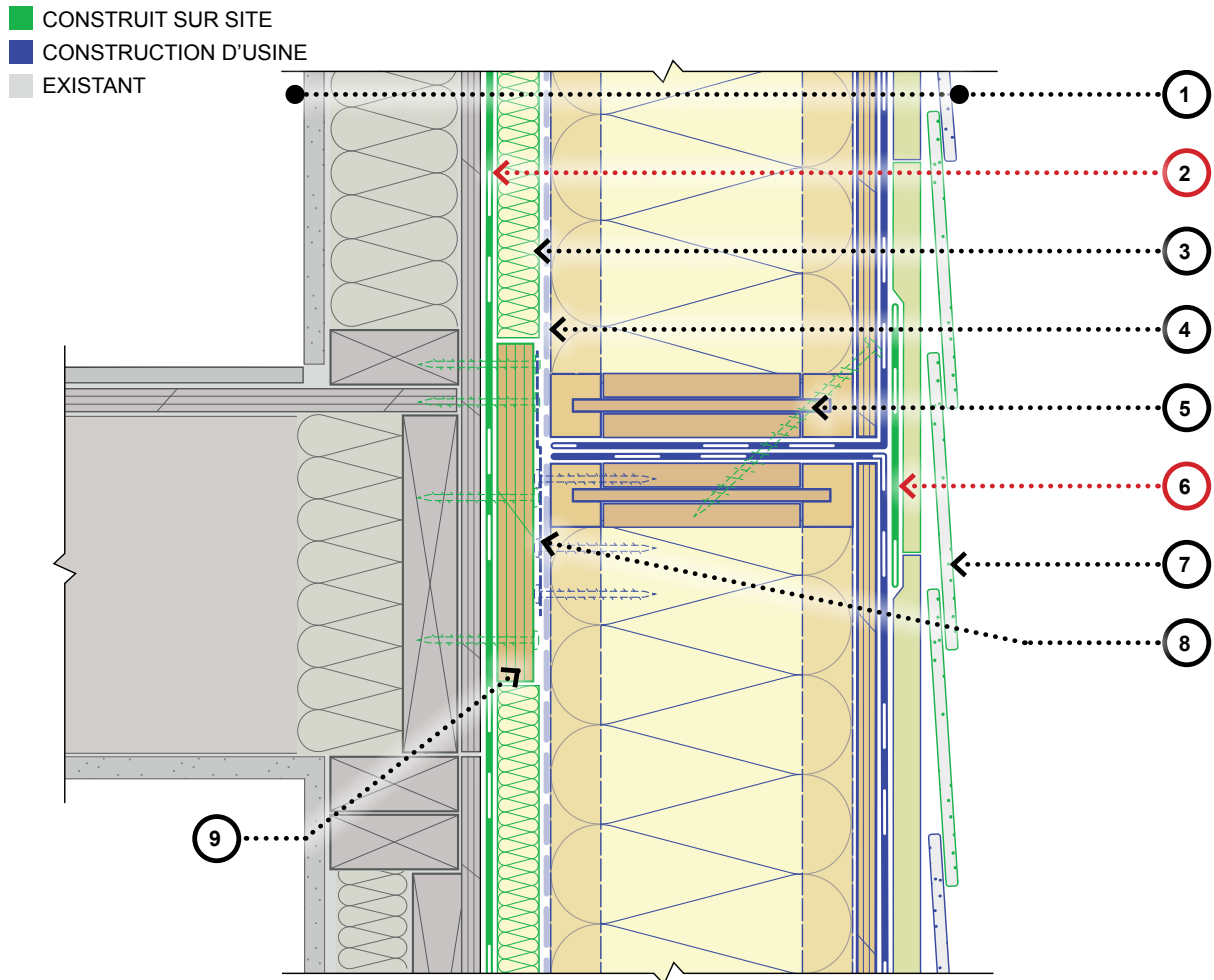
## LÉGENDE

- |  |  |
|--|--|
| <p>1. Assemblage de murs sous le niveau du sol :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Panneau de fibre de ciment</li> <li>• Isolation en mousse PSE</li> <li>• Membrane de transition autocollante (AB/WRB)</li> <li>• Assemblage existant</li> </ul> <p>2. Membrane de transition avant l'installation du support de fondation. (AB/WRB)</p> <p>3. Support de fondation intermittent entouré d'une isolation en laine minérale.</p> <p>4. Poutre caisson isolée continue fixée à la structure existante avec des attaches intermittentes.</p> | <p>5. Membrane VP auto-adhésive posée sur la poutre en caisson. Le bord d'attaque est scellé avec un ruban à haute performance à la base du solin mural. (VWRB)</p> <p>6. Grille de retenue pour l'isolation en nattes.</p> <p>7. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.</p> <p>8. Membrane VP auto-adhésive collée sur le revêtement existant. (AB)</p> <p>9. Assemblage du mur en panneaux solives en I.</p> |
|--|--|

### Détail A.4-01 | Base du mur à la fondation

Mur REEEP A.4 – Panneau à solives



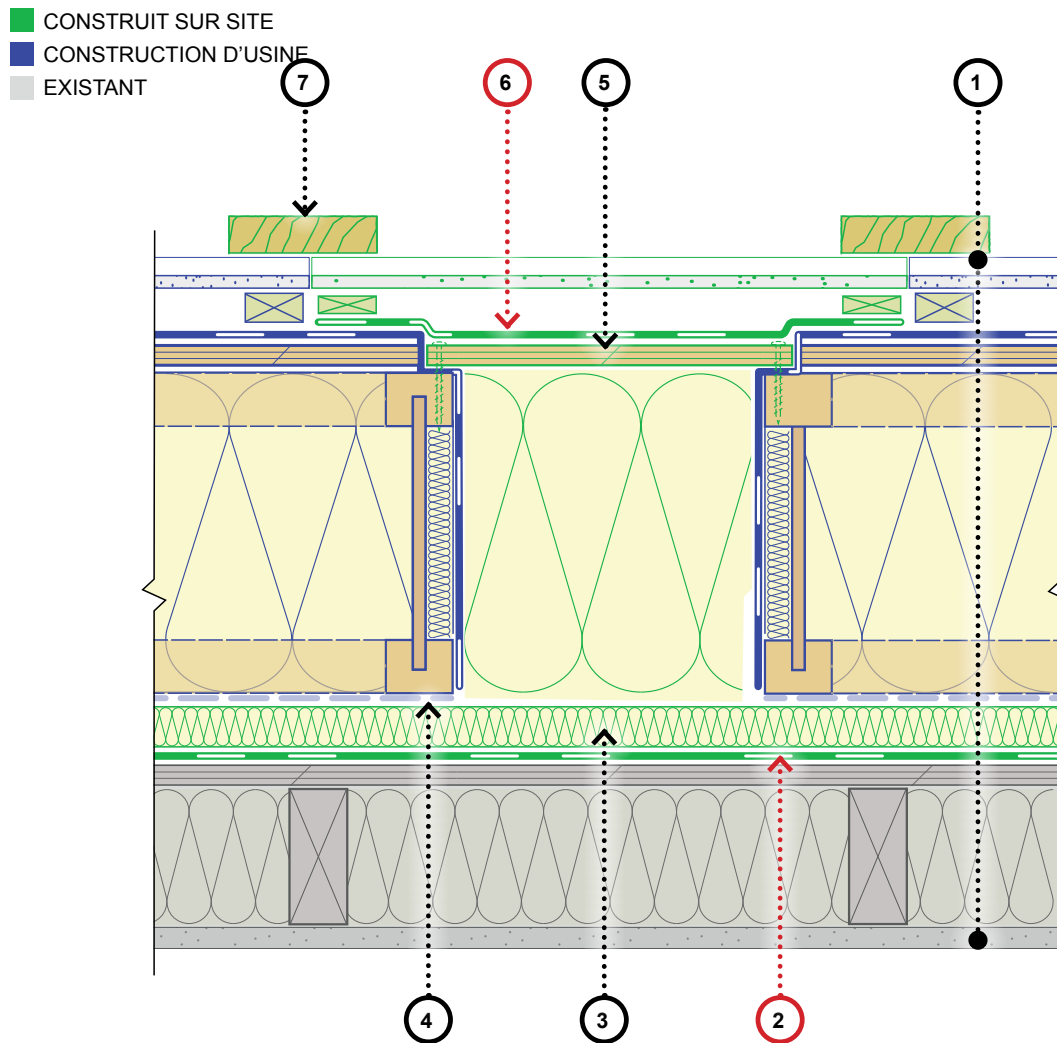


## LÉGENDE

- |   |  |
|---|--|
| 1. Assemblage du mur en panneaux solives en I.  | 6. Membrane VP du deuxième étage scellée à la membrane du premier étage à l'aide d'un ruban adhésif haute performance. (WRB) |
| 2. Membrane VP auto-adhésive collée sur le revêtement existant. (AB)  | 7. Revêtement appliqué sur le site à travers le joint.   |
| 3. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.                                       | 8. Sangle de levage intermittente fixée à une cale d'aplomb en contreplaqué.   |
| 4. Grille de retenue pour l'isolation en nattes.  | 9. Cale d'aplomb en contreplaqué fixée à la structure existante au niveau du plancher.                                       |
| 5. Vissez la plaque inférieure dans la plaque supérieure du panneau du premier étage à l'aide d'une vis à embout. |  |

### Détail A.4-02 | Joint de panneau horizontal

Mur REEEP A.4 – Panneau à solives

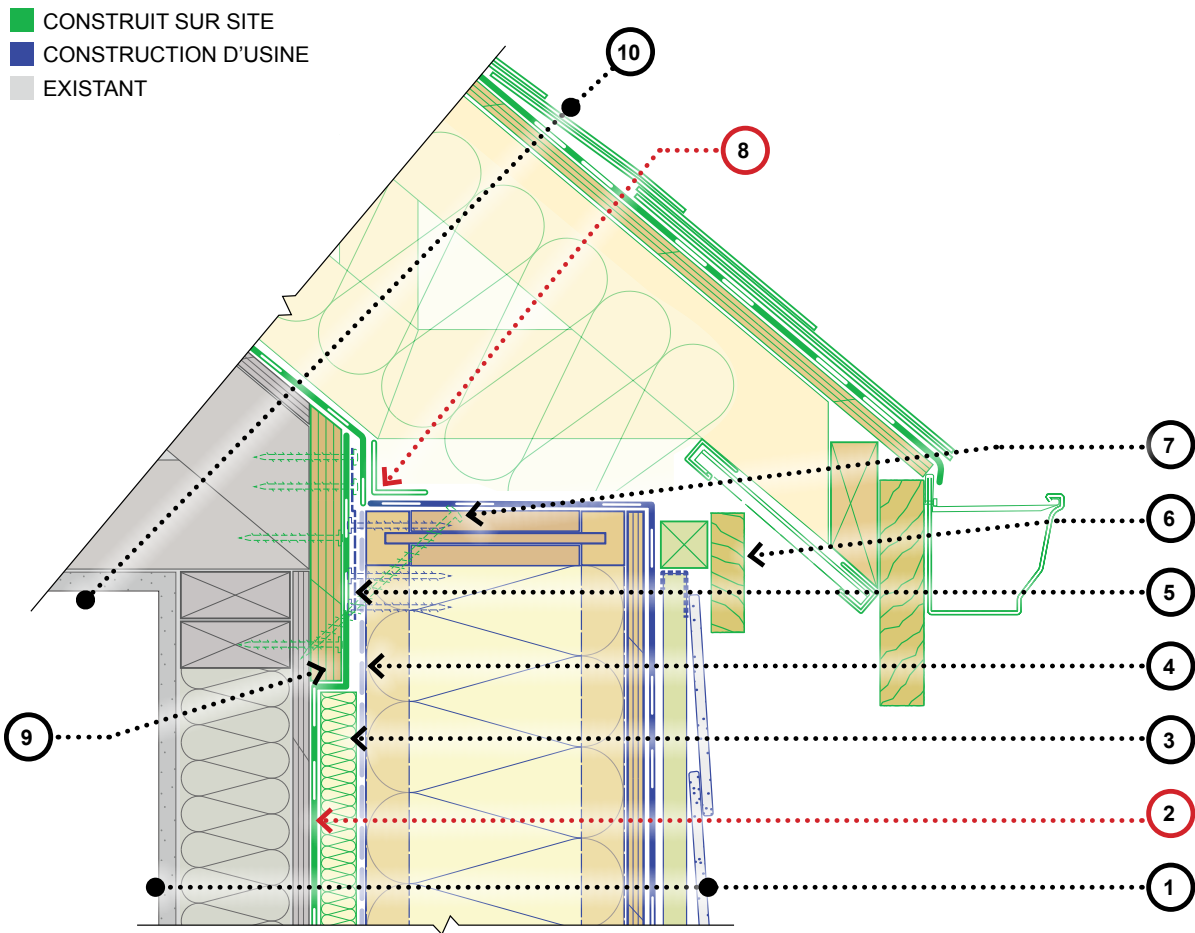


## LÉGENDE

- |   |   |
|---|---|
| 1. Assemblage du mur en panneaux solives en I.                              | 5. Cannelure en contreplaqué fixée à l'ossature du panneau. |
| 2. Membrane VP auto-adhésive collée sur le revêtement existant. (AB)        | 6. Membrane VP autocollante. (WRB)                          |
| 3. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides. | 7. Garniture installée sur les joints de bardage verticaux. |
| 4. Grille de retenue pour l'isolation en nattes.                            |   |

### Détail A.4-03 | Joint de panneau vertical

Mur REEEP A.4 – Panneau à solives

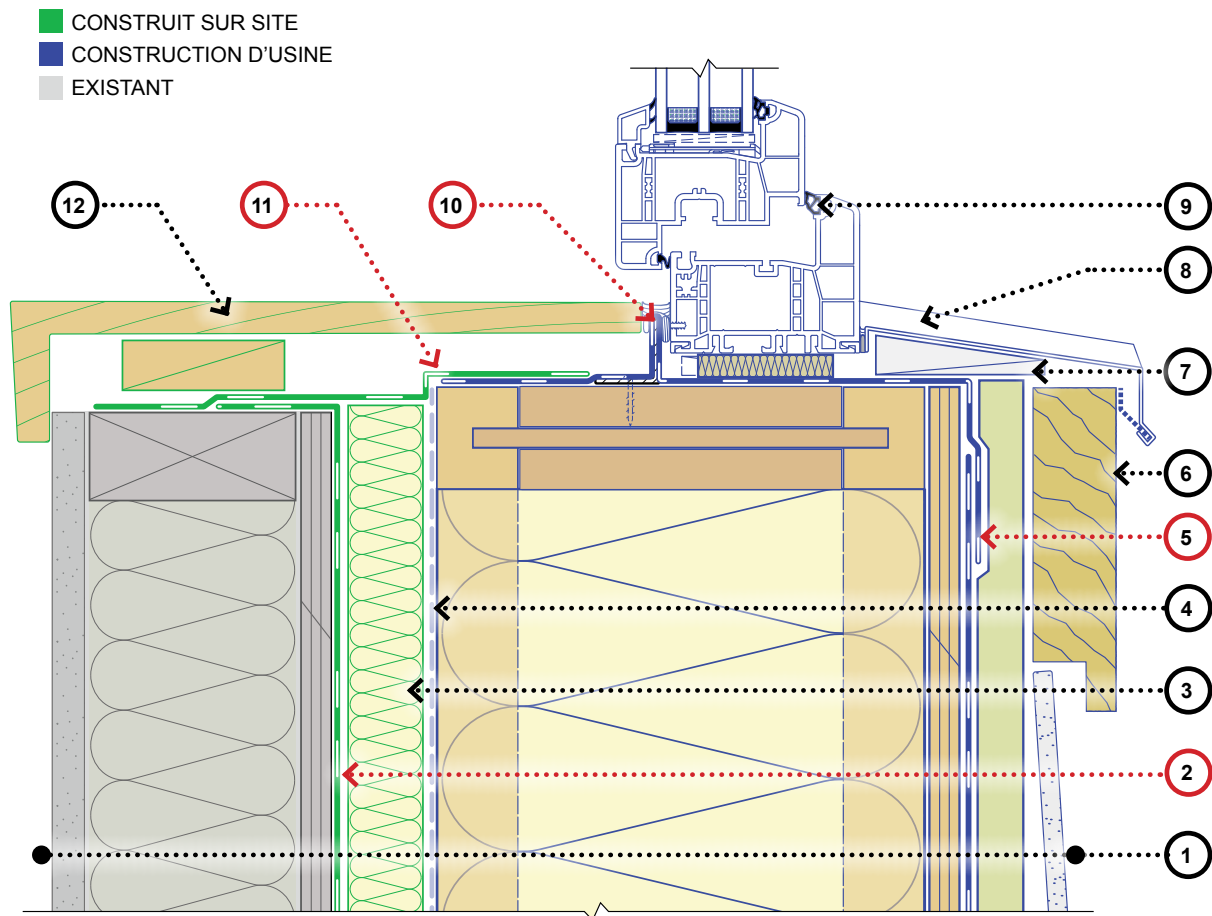


## LÉGENDE

- |  |  |
|--|--|
| 1. Assemblage du mur en panneaux solives en I.                               | 7. Fixations du panneau fixées par emboîtement dans la cale d'aplomb en contreplaqué.  |
| 2. Membrane VP auto-adhésive collée sur le revêtement existant. (AB)         | 8. Ruban haute performance scellé à la membrane auto-adhésive installée en usine et à la membrane d'assemblage de la toiture. (AB/WRB) |
| 3. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.  | 9. Cale d'aplomb en contreplaqué fixée à la découpe du toit existant (modernisation de la tronçonneuse).                               |
| 4. Grille de retenue pour l'isolation en nattes.                             | 10. Assemblage de toit pour la modernisation de la tronçonneuse.   |
| 5. Sangle de levage intermittente fixée à une cale d'aplomb en contreplaqué. |  |
| 6. Garniture appliquée sur place en haut du mur.                             |  |

### Détail A.4-04 | Haut du mur

Mur REEEP A.4 – Panneau à solives

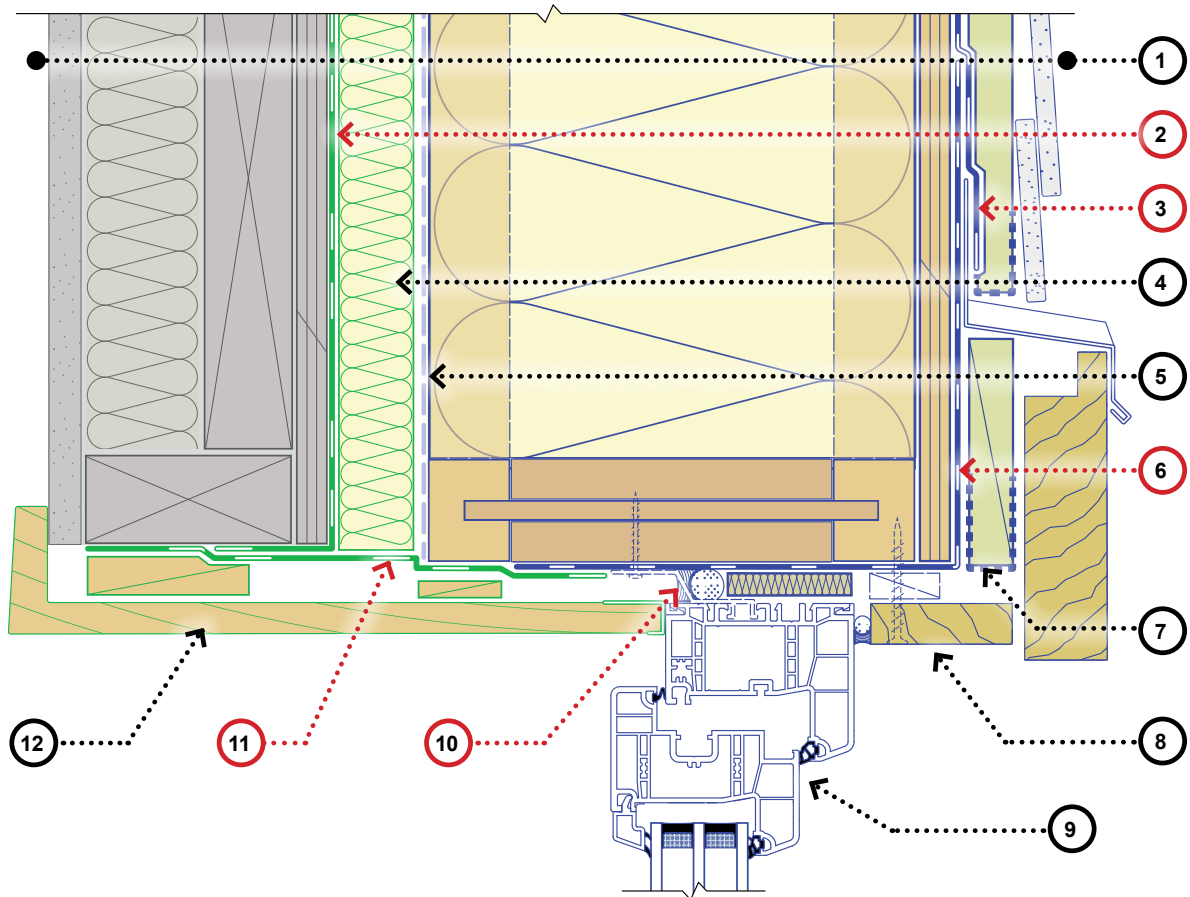


## LÉGENDE

- |  |  |
|--|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Assemblage du mur en panneaux solives en I.</li> <li>2. Membrane VP auto-adhésive collée sur le revêtement existant. (AB)</li> <li>3. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.</li> <li>4. Grille de retenue pour l'isolation en nattes.</li> <li>5. Membrane d'appui autocollante sur l'angle de l'appui et sur la membrane de champ. (AB/WRB)</li> <li>6. Habillage de fermeture et garniture autour de la fenêtre.</li> <li>7. Bloc de mousse à angle intermittent pour soutenir le solin d'appui.</li> <li>8. Solin d'appui de fenêtre installé en usine.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>9. Fenêtre neuve à triple vitrage installée en usine et ixée à l'aide d'une cornière à l'appui.</li> <li>10. La fenêtre est posée dans le scellant d'étanchéité continu sur l'angle de l'appui et ixée avec des vis. (AB/WRB)</li> <li>11. Membrane de transition VP autocollante posée sur la membrane de revêtement et sur la membrane d'appui. (AB)</li> <li>12. Garniture intérieure de fenêtre et scellant de fermeture sur l'angle de l'appui de fenêtre, si nécessaire.</li> </ol> |
|--|--|

### Détail A.4-05 | Appui de fenêtre

Mur REEEP A.4 – Panneau à solives



- CONSTRUIT SUR SITE
- CONSTRUCTION D'USINE
- EXISTANT

## LÉGENDE

- |   |  |
|---|--|
| <p>1. Assemblage du mur en panneaux solives en I.</p> <p>2. Membrane VP auto-adhésive collée sur le revêtement existant et posée sur la membrane d'appui. (AB)</p> <p>3. Membrane autocollante sur le solin de tête et sur la membrane de solin de tête. (WRB)</p> <p>4. Isolation en fibre minérale compressible pour combler les espaces vides.</p> <p>5. Grille de retenue pour l'isolation en nattes.</p> <p>6. Membrane de solin de tête VP. (WRB)</p> <p>7. Précontrainte et cerclage de la tête de fenêtre installés en usine.</p> | <p>8. La garniture de tête est fixée à la plaque supérieure.</p> <p>9. Nouvelle fenêtre à triple vitrage installée en usine et fixée à l'aide de clips au niveau de la tête et des montants.</p> <p>10. Un joint d'étanchéité continu est installé entre l'ouverture brute et la tête/les montants de la fenêtre. (AB/WRB)</p> <p>11. Membrane de transition VP auto-adhésive posée sur la membrane de revêtement et sur la membrane de solin de tête. (AB)</p> <p>12. Garniture intérieure des fenêtres et scellant de fermeture, le cas échéant.</p> |
|---|--|

### Détail A.4-06 | Tête de fenêtre

Mur REEEP A.4 – Panneau à solives



## A.5 Mur REEEP – Panneau de système extérieur isolé et Mur SIFE pour une Rénovation énergétique extérieure préfabriquée

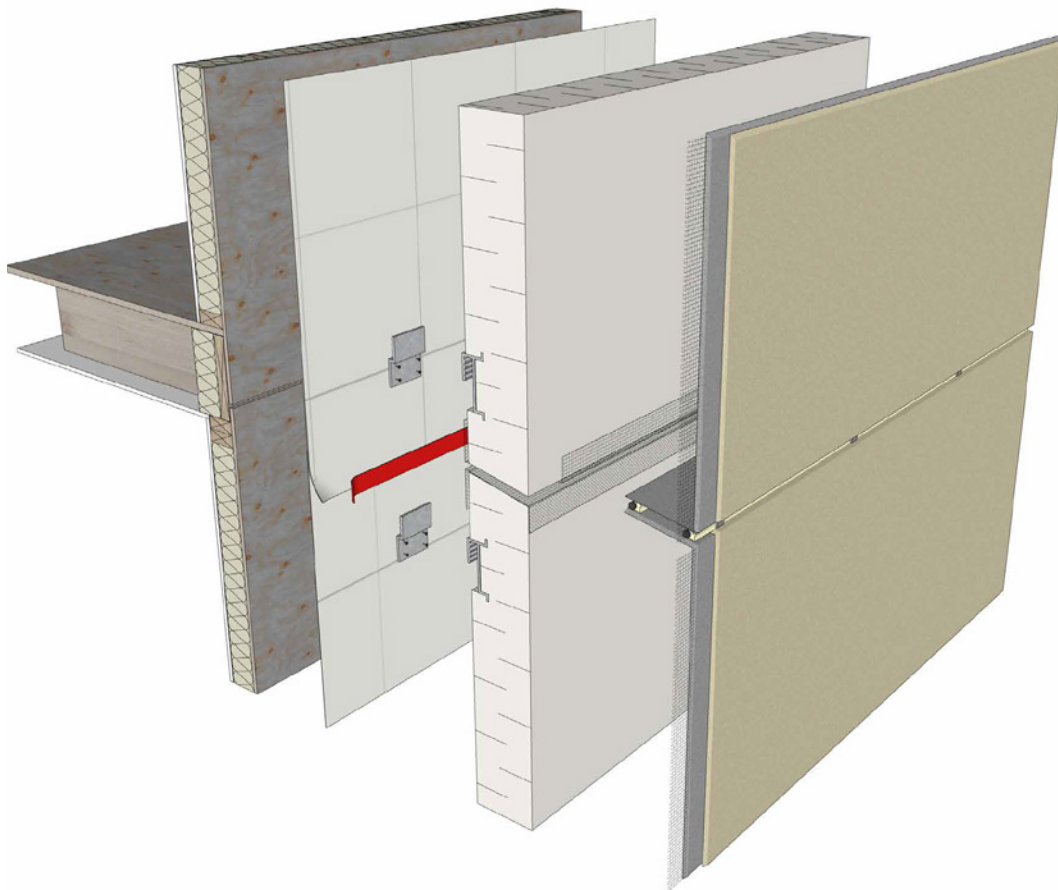


Figure 1 Vue éclatée des composants du panneau de rénovation partielle à la transition de la ligne de plancher

Développé par l'équipe de Ressources naturelles Canada chargée de la Rénovation énergétique extérieure préfabriquée (REEEP).

## A.5 Mur REEEP – Aperçu de l’assemblage des enveloppes SIFE

Vous trouverez ci-dessous une description des couches de panneaux de rénovation installés à l’extérieur de la maison existante. Voir également les détails de construction typiques à la page 55.

Extérieur

- › Couche de finition
- › Couche de base avec treillis de renforcement
- › Isolation en panneaux PSE
- › Membrane d’étanchéité à l’air + barrière d’étanchéité à l’eau
- › Assemblages existants (non représentés)

Intérieur

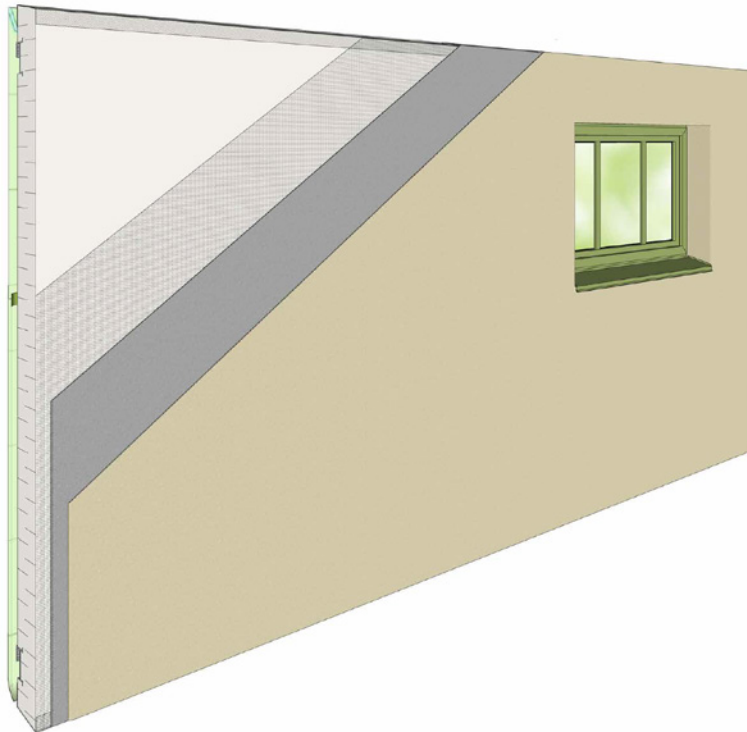


Figure 2 Aperçu des panneaux muraux SIFE de rénovation (les points verts indiquent les éléments de jointoiement et d'encastrement appliqués sur le site).

## Description de la rénovation

- › Le panneau du Système d'isolation et de finition extérieure (SIFE) est fourni par Dryvit (système Fedderlite M) ou un système de SIFE en panneaux similaire. Le panneau est composé d'un panneau isolant PSE avec une couche de base renforcée et une couche de finition texturée. L'arrière des panneaux comporte des profilés récepteurs continus en aluminium fixés dans le PSE à l'aide d'un fil de fer chaud.
- › Les panneaux SIFE sont fixés à l'assemblage du mur existant par un système de tasseaux. Les canaux SIFE se clipsent sur des tasseaux intermittents fixés au mur d'appui existant.
- › Les joints sont scellés avec des joints drainés en deux étapes entre les panneaux et un joint en une étape au bas du mur. La barrière de résistance aux intempéries (WRB-AB) doit être installée sur le site et est une membrane de revêtement fixée mécaniquement et installée sur le mur d'appui.
- › Les panneaux sont installés sur une petite cavité drainée/non ventilée derrière les panneaux SIFE.
- › Les nouvelles fenêtres doivent être installées sur place dans l'ancien mur car les panneaux SIFE ne sont pas porteurs. Les transitions entre les barrières d'étanchéité à l'air et à l'eau aux interfaces des fenêtres et les solins d'appui doivent également être installés sur place.

## Avantages potentiels d'une rénovation des panneaux SIFE

- › Tous les travaux (à l'exception de l'installation des fenêtres et de l'habillage des fenêtres intérieures) sont effectués depuis l'extérieur, ce qui permet d'habiter la maison pendant la construction.
- › Les travaux d'installation sur le site sont limités, ce qui réduit les délais d'installation et les perturbations pour les résidents.
- › Élimine l'encadrement sur place et utilise des panneaux pour simplifier l'installation.
- › L'épaisseur de l'isolation peut varier en fonction des objectifs de performance énergétique et des marges de recul par rapport à la ligne de lot.
- › Fournit une couche d'isolation continue réduisant les ponts thermiques à travers l'ossature.
- › Améliore l'étanchéité à l'air, réduit les courants d'air et le bruit, et diminue les coûts énergétiques.
- › Réduit le risque de pénétration de l'humidité grâce à un travail minutieux.
- › Offre la possibilité de procéder à des améliorations sismiques pour répondre aux exigences régionales.
- › Permet l'assurance qualité des transitions du système d'étanchéité à l'air sur le site avant l'installation des panneaux SIFE.



## Principales considérations

**Étanchéité à l'air** : Le pare-air (AB) est assuré par la nouvelle membrane de revêtement sur le mur existant. Une membrane souple autour des fenêtres, des portes et des autres pénétrations et transitions complète l'étanchéité à l'air. L'étanchéité au niveau de la sablière et de la base du mur, là où la nouvelle membrane de revêtement se raccorde à la maison existante, est également nécessaire. Les ouvertures autour des pénétrations électriques, mécaniques et autres sont scellées tout au long du processus de construction. Ces détails sont essentiels pour garantir une barrière étanche à l'air.

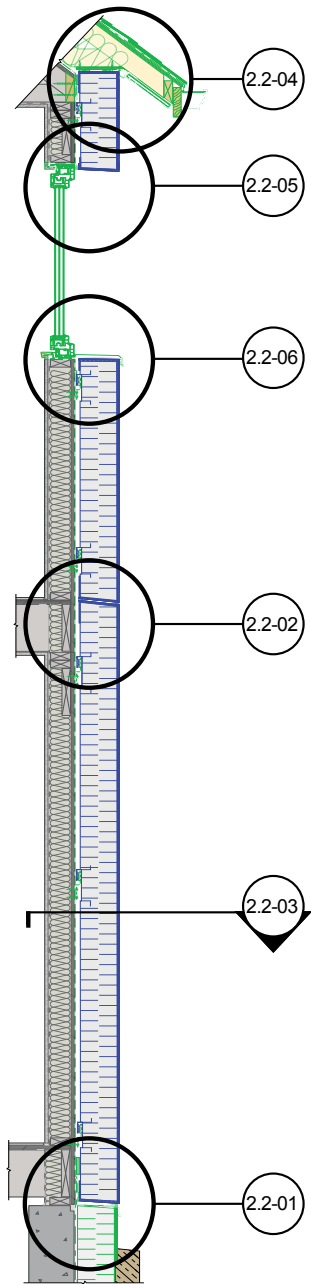
**Connexion à la structure existante** : Cette rénovation utilise un système de fixation par taquets. Une série de canaux encastrés à l'arrière des panneaux SIFE se clipsent sur des taquets muraux intermittents qui sont fixés au mur existant. Les nouvelles fenêtres sont installées sur place dans le cadre du mur existant, car les panneaux ne sont pas porteurs.

**Contrôle de l'eau** : Une membrane de revêtement fixée mécaniquement est prévue au niveau du mur d'appui comme principale barrière de contrôle de l'eau et de résistance à l'eau (WRB). Les joints des panneaux sont des joints drainés en deux étapes et une petite cavité de drainage non ventilée est également prévue entre les panneaux et le mur d'appui.

**Bardage** : Les panneaux SIFE constituent un système de revêtement complet entièrement fabriqué hors site. L'installation sur site se limite aux fenêtres et aux portes, au WRB, au système de fixation du bardage et à l'achèvement du pare-air au niveau des joints, des pénétrations et des autres interfaces.

Le bardage n'est pas très résistant aux chocs. Il est préférable de l'utiliser dans des zones peu fréquentées ou pour des applications à partir du deuxième étage.

**Durabilité** : Les panneaux SIFE auront un potentiel de séchage réduit en fonction de l'épaisseur de l'isolation PSE. Les applications doivent être modélisées pour évaluer le risque.



## Détails de construction typiques

Les exemples de détails présentés dans les pages suivantes ont pour but d'illustrer les approches typiques de transition pour la continuité du pare-air et du panneau/isolant. Notez qu'il s'agit d'exemples de détails et que des détails spécifiques au projet doivent toujours être élaborés pour tenir compte des conditions uniques de chaque projet.

Les annotations et la légende de chaque exemple de détail contiennent des icônes rouges « AB » et « AB/WRB » pour indiquer la présence des différents composants du pare-air et, le cas échéant, de la barrière d'étanchéité à l'eau.

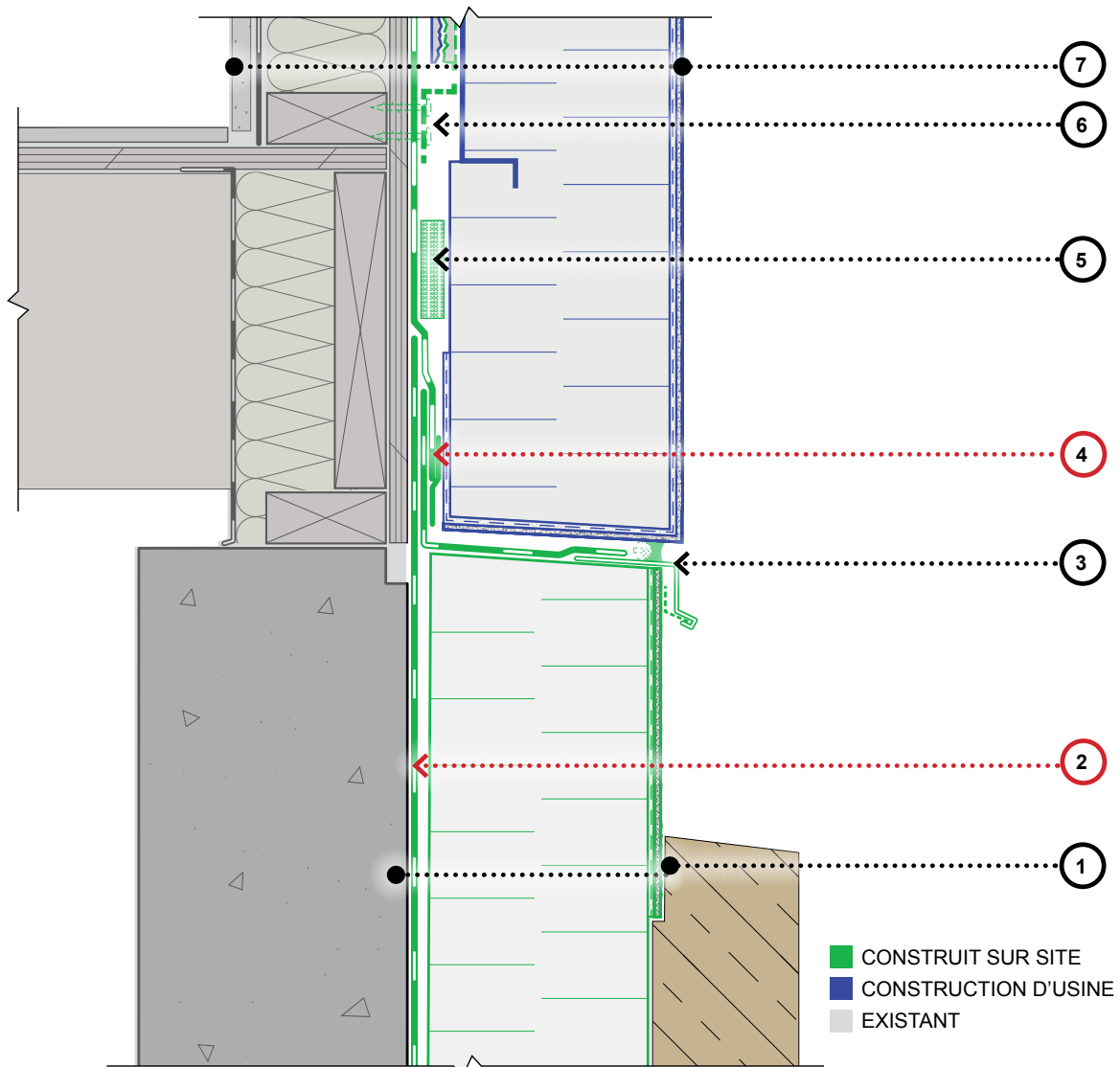
Chaque détail comprend également une légende des couleurs comme suit pour les composants gris, verts et bleus représentés :

- CONSTRUIT SUR SITE
- CONSTRUCTION D'USINE
- EXISTANT

### List of Details

Détail 2.2-01		Base du mur à la fondation. . . . .	.6
Détail 2.2-02		Joint de panneau horizontal . . . . .	.7
Détail 2.2-03		Joint de panneau vertical. . . . .	.8
Détail 2.2-04		Haut du mur . . . . .	.9
Détail 2.2-05		Appui de fenêtre . . . . .	10
Détail 2.2-06		Tête de fenêtre . . . . .	11

Figure 3 Détail de la section maison wayfinder.

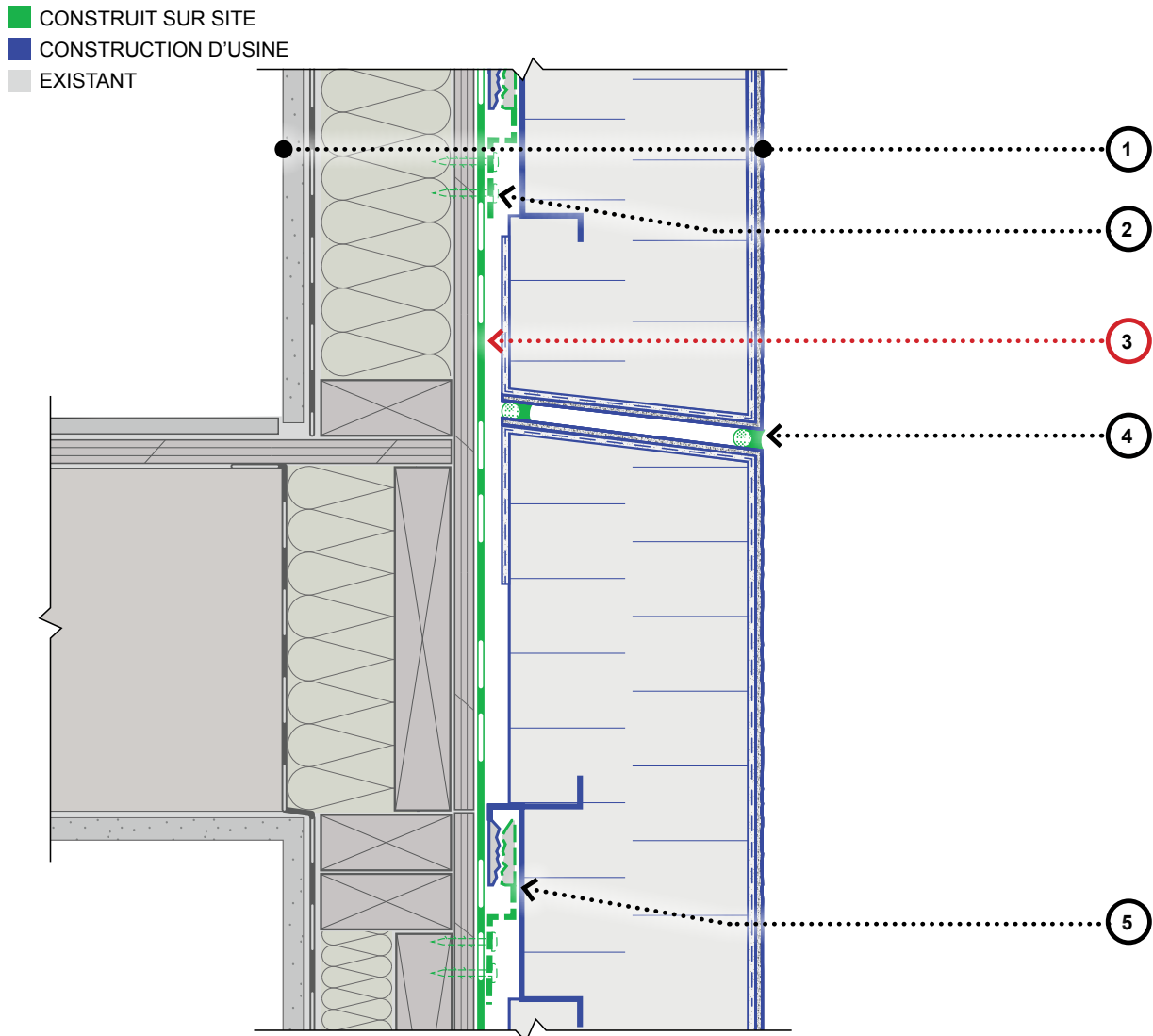


## LÉGENDE

1. Assemblage mural :
  - Couche de fond + couche de base renforcée par un treillis
  - Isolation en mousse PSE
  - Membrane de transition autocollante (AB/WRB)
  - Assemblage existant
2. Membrane de transition autocollante installée sur le site sur le mur de fondation.
3. Solin à membrane traversant le mur, installé sur place et collé au solin. Calfeutrage et bague d'appui avec trous d'évacuation intermittents.
4. La membrane de champ installée sur le site est posée sur la membrane de solin de mur traversant et taraudée au niveau des joints. (AB/WRB)
5. Déflecteur en mousse d'air réticulée.
6. Clips de panneaux SIFE fixés à l'assemblage existant.
7. Assemblage des murs SIFE.

### Détail A.5-01 | Base du mur à la fondation

Mur REEEP A.5 – Panneau SIFE

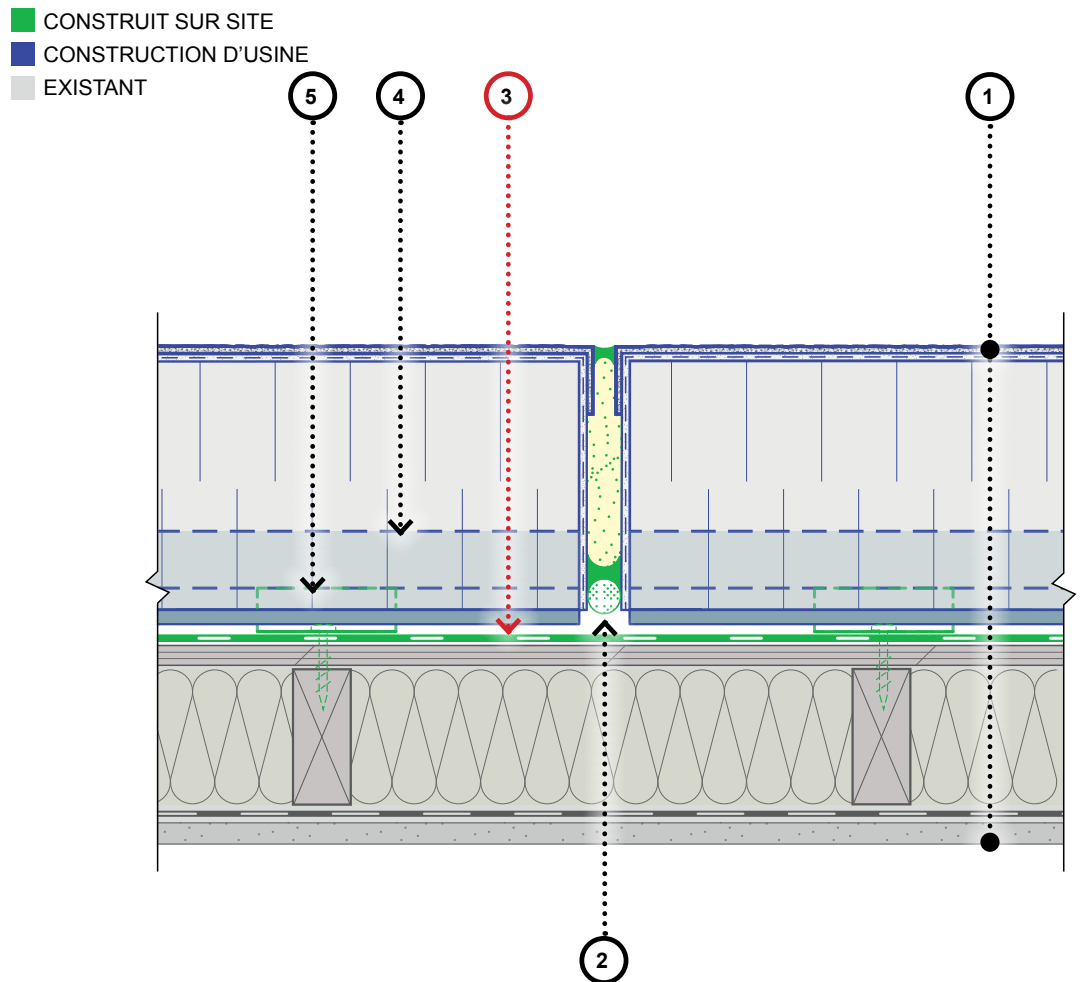


## LÉGENDE

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Assemblage des murs SIFE.</li> <li>2. Clips de panneaux SIFE fixés à l'assemblage existant.</li> <li>3. Membrane de champ installée sur le site. (AB/WRB)</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>4. Canal de drainage à deux étages avec des suintements intermittents à travers le calfeutrage.</li> <li>5. Clips de panneaux SIFE fixés à l'assemblage existant.</li> </ol> |
|--|---|

### Détail A.5-02 | Joint de panneau horizontal

Mur REEEP A.5 – Panneau SIFE



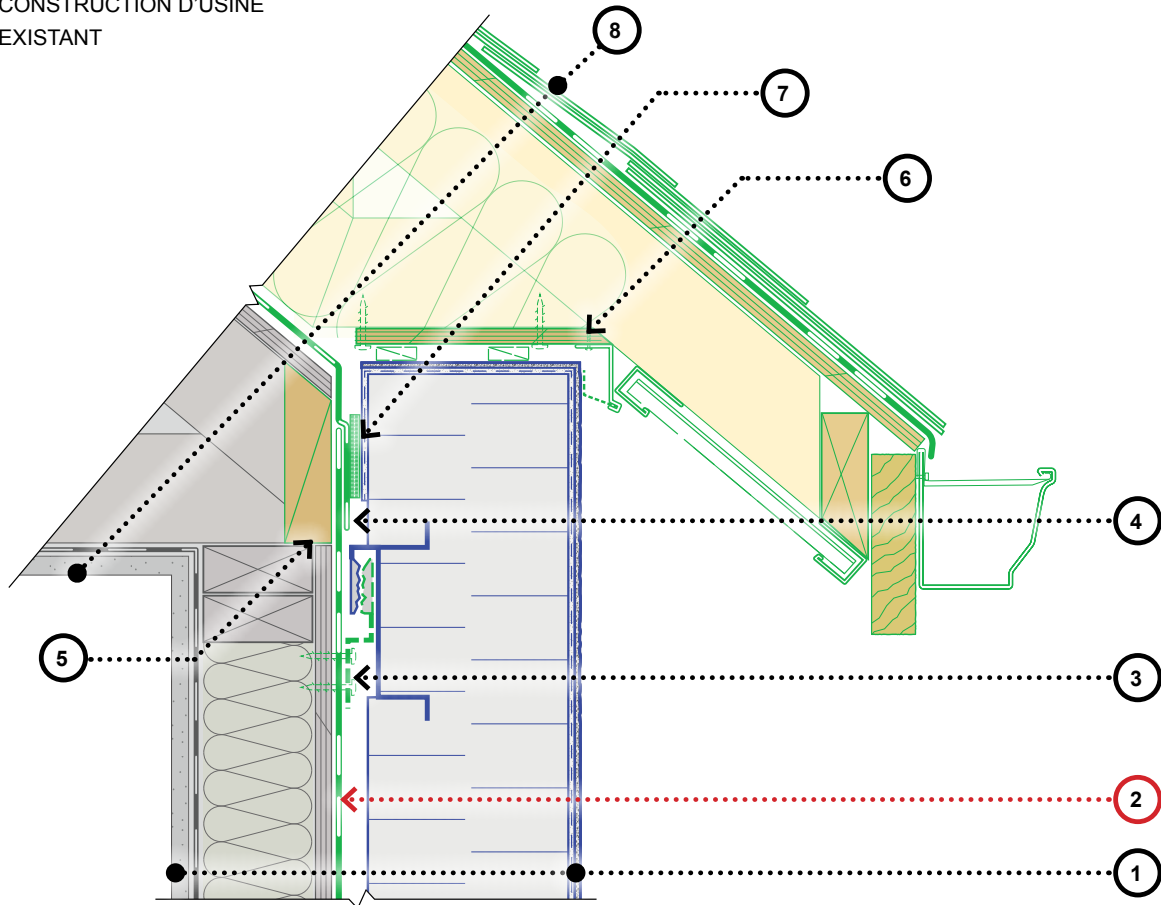
## LÉGENDE

- |   |  |
|---|--|
| <p>1. Assemblage des murs SIFE.</p> <p>2. Mousse d'étanchéité auto-expansive utilisée comme support pour le calfeutrage à l'extérieur. Une baguette d'appui est utilisée du côté intérieur.</p> | <p>3. Membrane de champ installée sur le site. (AB/WRB)</p> <p>4. Le canal de clips SIFE est fixé aux clips installés sur le site.</p> <p>5. Clips installés sur le site et fixés à l'assemblage existant.</p> |
|---|--|

### Détail A.5-03 | Joint de panneau vertical

Mur REEEP A.5 – Panneau SIFE

- CONSTRUIT SUR SITE
- CONSTRUCTION D'USINE
- EXISTANT

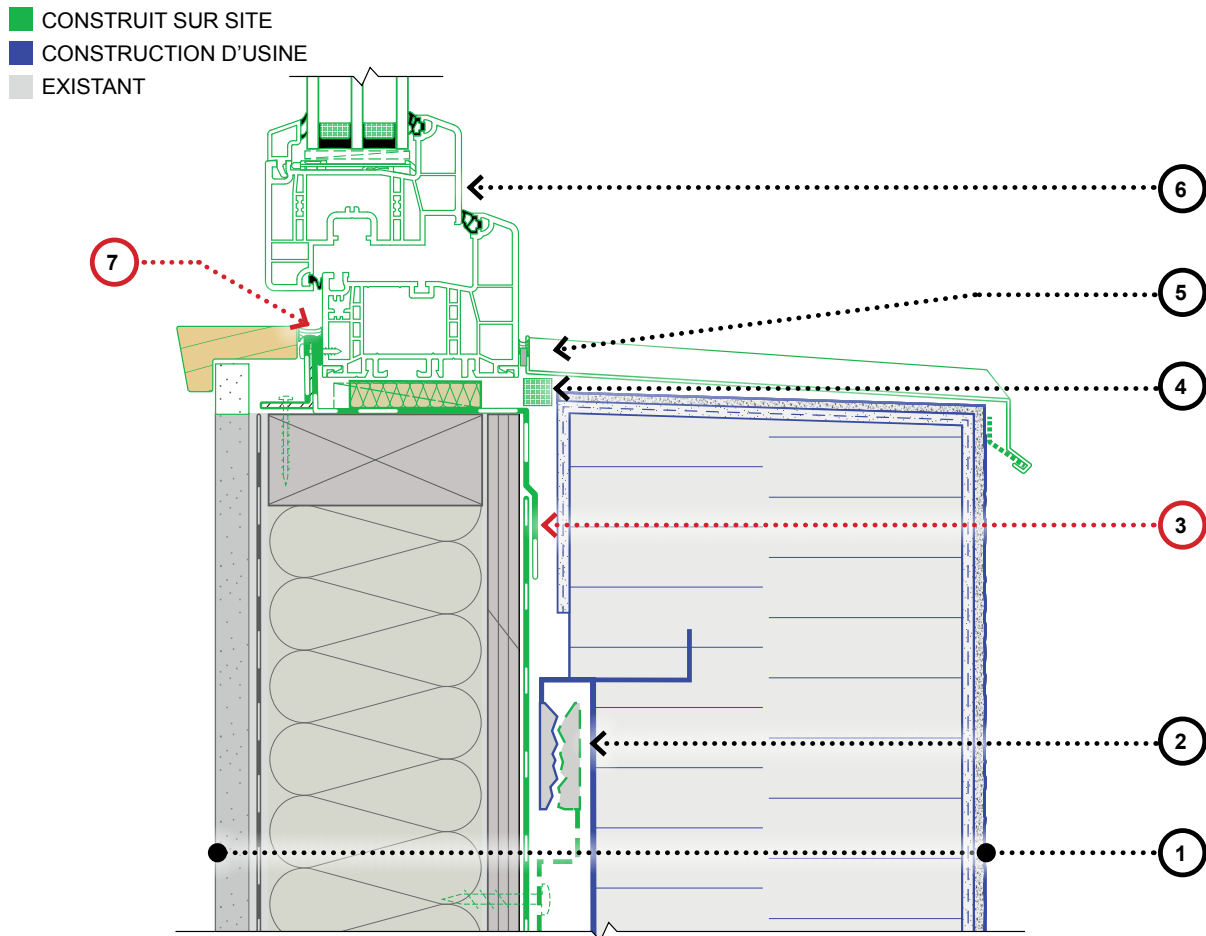


## LÉGENDE

- |  |   |
|--|---|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Assemblage des murs SIFE.</li> <li>2. Membrane de champ installée sur le site.<br/>(AB/WRB)(AB/WRB)</li> <li>3. Clips de panneaux SIFE fixés à l'assemblage existant.</li> <li>4. Membrane de toiture posée sur la membrane de champ fixée et collée au niveau des joints. (AB/WRB)</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Blocage en bois installé sur le site pour recevoir la membrane de la toiture.</li> <li>6. Cale en contreplaqué fixée à la structure du toit installée sur le site afin de dégager l'espace ventilé derrière le panneau SIFE.</li> <li>7. Délecteur en mousse d'air réticulée.</li> <li>8. Assemblage de toit de rénovation réalisé à la tronçonneuse</li> </ol> |
|--|---|

### Détail A.5-04 | Haut du mur

Mur REEEP A.5 – Panneau SIFE

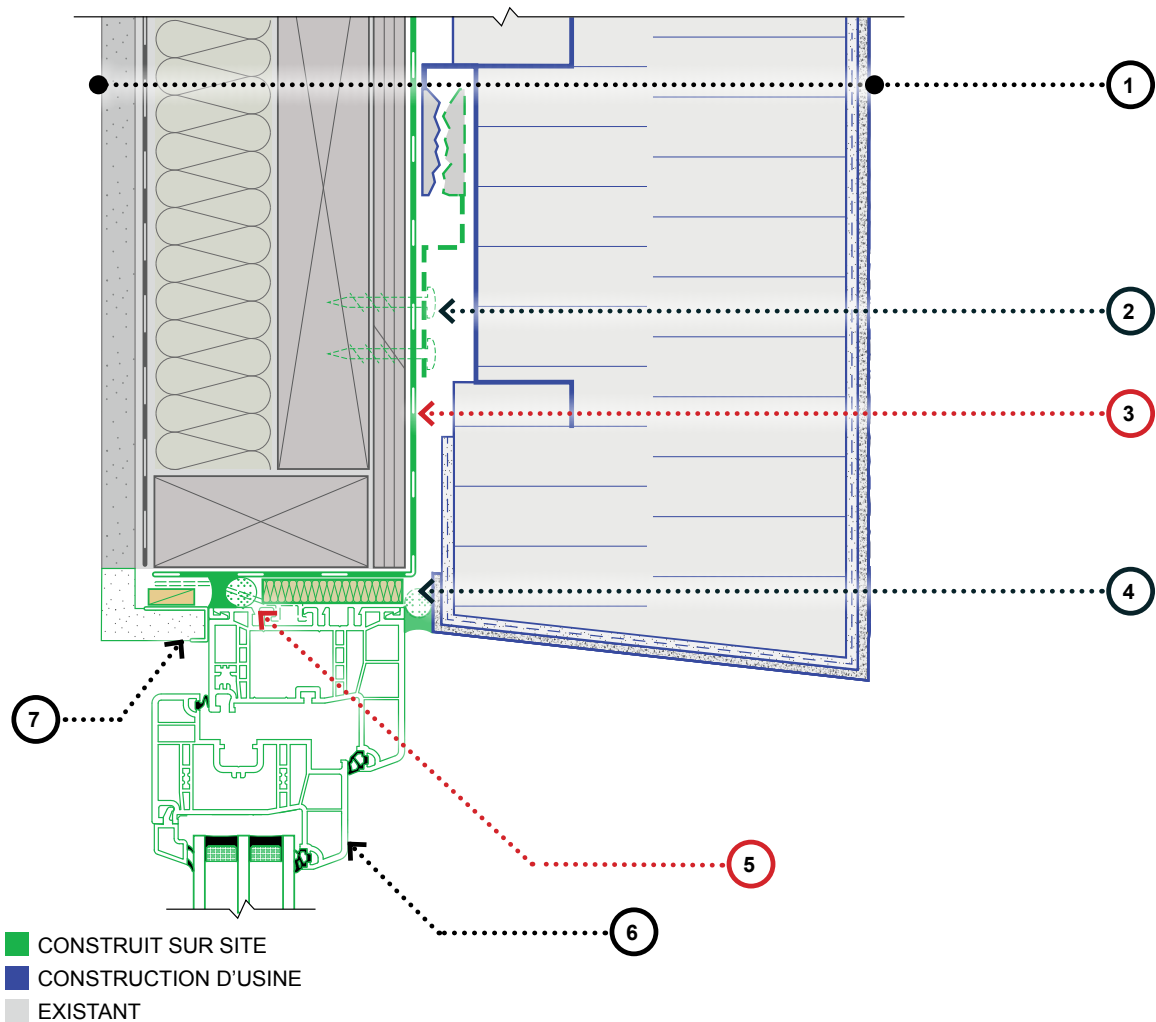


## LÉGENDE

1. Assemblage des murs SIFE.
2. Clips de panneaux SIFE fixés à l'assemblage existant.
3. La membrane d'appui autocollante installée sur le chantier est posée sur l'angle de l'appui et chevauchée sur la membrane de chantier. La transition de la membrane semble collée. (AB/WRB)
4. Déflecteur en mousse d'air réticulée.
5. Le solin d'appui de fenêtre est fixé à l'appui de fenêtre à l'aide d'un récepteur métallique perforé et collé à la face du cadre de la fenêtre à l'aide d'un ruban adhésif en mousse et d'un produit d'étanchéité.
6. Installation sur site d'une nouvelle fenêtre à triple vitrage fixée en place à l'aide d'une cornière d'appui sur l'appui.
7. La fenêtre installée sur le chantier est placée dans un joint continu sur l'angle de l'appui et fixée avec des vis. (AB/WRB)

### Détail A.5-05 | Appui de fenêtre

Mur REEEP A.5 – Panneau SIFE



## LÉGENDE

- |   |  |
|---|--|
| <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Assemblage des murs SIFE.</li> <li>2. Clips de panneaux SIFE fixés à l'assemblage existant.</li> <li>3. Membrane de champ installée sur site et posée par recouvrement sur l'assemblage existant. (AB/WRB)</li> <li>4. La barre d'appui et le calfeutrage installés sur place présentent des suintements intermittents entre la nouvelle fenêtre et le panneau SIFE.</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>5. Un scellant d'étanchéité continu est installé entre l'ouverture brute et la tête/les montants de la fenêtre. (AB/WRB)</li> <li>6. Installation sur place d'une nouvelle fenêtre à triple vitrage ixée par des clips au niveau de la tête et des montants.</li> <li>7. Plâtre intérieur.</li> </ol> |
|---|--|

### Détail A.5-06 | Tête de fenêtre

Mur REEEP A.5 – Panneau SIFE



---

# ANNEXE B : LES VALEURS R, LE CARBONE INCORPORÉ ET LES TABLES DE CORRESPONDANCE DES POIDS DES PANNEAUX REEEP

**Résumé** : Le tableau B-1 résume la valeur R, le carbone incorporé et la masse pour diverses permutations des prototypes de panneaux REEEP.

**Champ d'application** : Le projet est limité à la construction du panneau mural lui-même. L'écran pare-pluie est inclus mais le bardage est exclu. Le mur d'appui du bâtiment existant est exclu. La démolition est exclue. Les autres composants de l'enveloppe du bâtiment (toit, fondation, fenestration) sont également exclus.

**Méthode** : On a supposé que les matériaux nécessaires à la fabrication d'un panneau type de 26x9' (234ft<sup>2</sup> ou 21,74m<sup>2</sup>) étaient nécessaires. Les émissions associées ont été estimées à l'aide du calculateur d'émissions de matériaux de RNCAN (V1.0). Elles ont ensuite été normalisées sur une base de pi2 (m<sup>2</sup>). La résistance thermique en champ libre a été calculée à l'aide de la méthode des plans isothermes<sup>3</sup>.

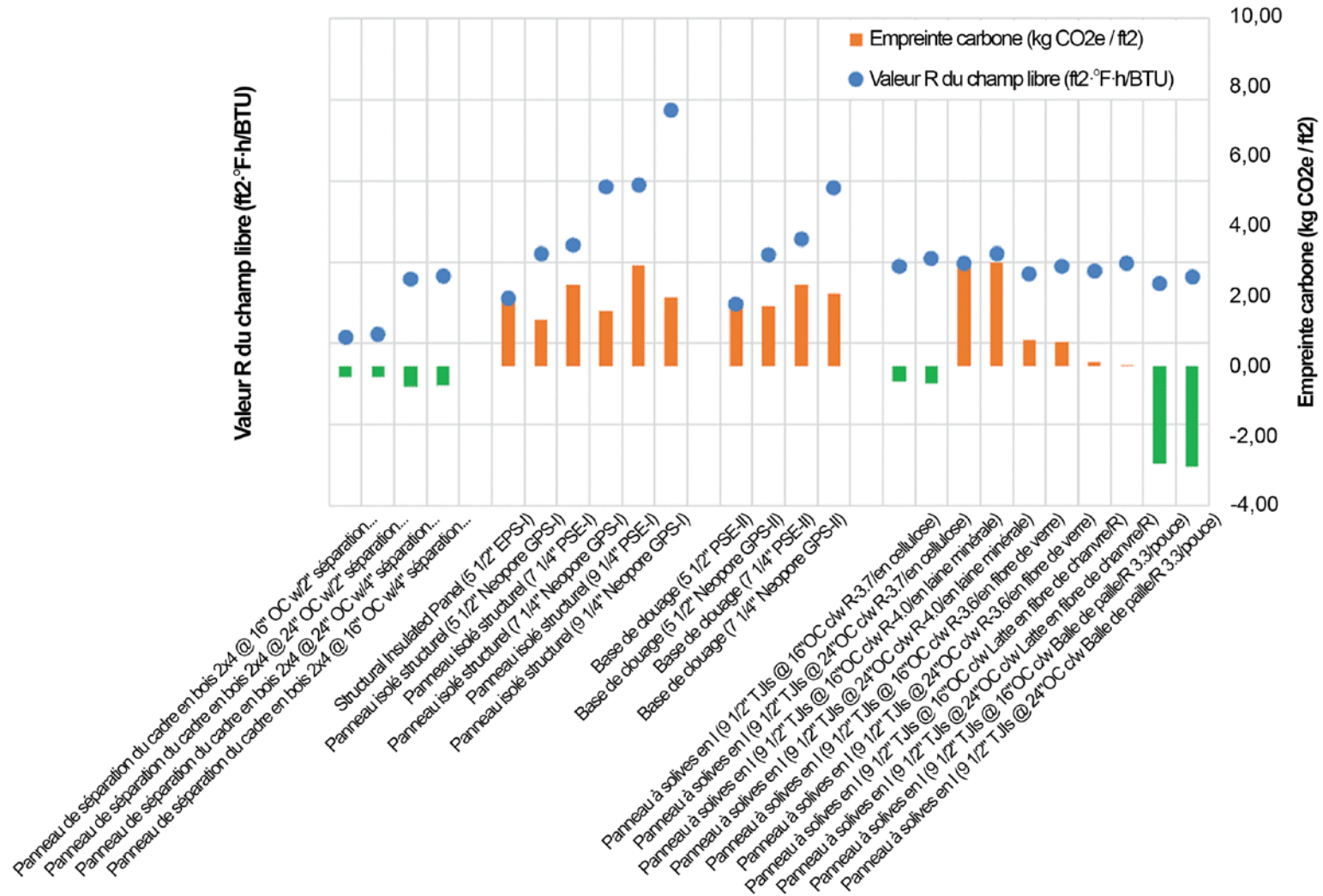
---

3 2021 ASHRAE Handbook-Fundamentals-Chapter 25 (F25.8), American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineers, Inc, Atlanta, GA.

Système de panneaux	Revêtement	Épaisseur du panneau		Valeur R de Clear Field (plans isothermes)		Empreinte carbone nette spécifique		Masse spécifique	
		(in)	(mm)	(RIP)	(RSI)	(kg CO <sub>2</sub> e / ft <sup>2</sup> )	(kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> )	(lb/ft <sup>2</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )
Panneau de séparation à ossature bois 2x4 @ 16" OC avec séparation de 2" isolée en cellulose dense	1/2" OSB	6 3/4	171.5	20.7	3.65	0	-3	4.97	24.28
Panneau de séparation à ossature bois 2x4 @ 24" OC avec séparation de 2" isolée en cellulose dense	1/2" OSB	6 3/4	171.5	21.1	3.72	0	-3	4.76	23.23
Panneau de séparation à ossature bois 2x4 @ 24" OC avec séparation de 4" isolée en cellulose dense	1/2" OSB	8 3/4	222.3	28.0	4.92	-1	-6	5.56	27.14
Panneau de séparation à ossature bois 2x4 @ 16" OC avec séparation de 4" isolée en cellulose dense	1/2" OSB	8 3/4	222.3	28.3	4.99	-1	-6	5.34	26.08
Panneau structurel isolé (5 1/2" PSE-I)	1/2" OSB (x2)	8 1/4	209.6	25.6	4.51	2	21	4.43	21.63
Panneau structurel isolé (5 1/2" Neopore GPS-I)	1/2" OSB (x2)	8 1/4	209.6	31.0	5.47	1	15	4.43	21.63
Panneau structurel isolé (7 1/4" PSE-I)	1/2" OSB (x2)	10	254.0	32.1	5.65	2	25	4.64	22.64
Panneau structurel isolé (7 1/4" Neopore GPS-I)	1/2" OSB (x2)	10	254.0	39.3	6.92	2	17	4.64	22.64
Panneau structurel isolé (9 1/4" PSE-I)	1/2" OSB (x2)	12	304.8	39.5	6.96	3	31	4.89	23.87
Panneau structurel isolé (9 1/4" Neopore GPS-I)	1/2" OSB (x2)	12	304.8	48.7	8.58	2	21	4.89	23.87
Base de clouage (5-1/2" PSE-II)	3/4" OSB	8	203.2	24.8	4.38	2	21	3.35	16.37
Base de clouage (5-1/2" Neopore GPS-II)	3/4" OSB	8	203.2	30.9	5.44	2	19	3.35	16.37
Base de clouage (7-1/4" EPS-II)	3/4" OSB	9 3/4	247.7	32.9	5.79	2	25	3.35	16.37

Système de panneaux	Revêtement	Épaisseur du panneau		Valeur R de Clear Field (plans isothermes)		Empreinte carbone nette spécifique		Masse spécifique	
		(in)	(mm)	(RIP)	(RSI)	(kg CO <sub>2</sub> e / ft <sup>2</sup> )	(kg CO <sub>2</sub> e / m <sup>2</sup> )	(lb/ft <sup>2</sup> )	(kg/m <sup>2</sup> )
Base de clouage (7-1/4" Neopore GPS-II)	3/4" OSB	9 3/4	247.7	39.1	6.89	2	23	3.35	16.37
Panneau à solives (9-1/2" TJIs @ 16"OC c/w R-3.7/in cellulose)	1/2" OSB (x2)	12 1/4	311.2	29.5	5.19	0	-5	10.42	50.86
Panneau à solives (9-1/2" TJIs @ 24"OC c/w R-3.7/in cellulose)	1/2" OSB (x2)	12 1/4	311.2	30.5	5.37	0	-5	9.83	48.01
Panneau à solives (9-1/2" TJIs @ 16"OC c/w R-4.0/in laine minérale)	1/2" Gypsum	11 3/4	298.5	29.8	5.26	3	33	8.52	41.62
Panneau à solives (9-1/2" TJIs @ 24"OC c/w R-4.0/in laine minérale)	1/2" Gypsum	11 3/4	298.5	31.0	5.46	3	32	7.91	38.62
Panneau à solives (9-1/2" TJIs @ 16"OC c/w R-3.6/in fibre de verre)	1/2" OSB	11 3/4	298.5	28.5	5.02	1	8	7.16	34.95
Panneau à solives (9-1/2" TJIs @ 24"OC c/w R-3.6/in fibre de verre)	1/2" OSB	11 3/4	298.5	29.5	5.19	1	7	6.51	31.76
Panneau à solives (9-1/2" TJIs @ 16"OC c/w fibre de chanvre / R 3.7/inch)	1/2" OSB	11 3/4	298.5	28.8	5.08	0	1	7.96	38.88
Panneau à solives (9-1/2" TJIs @ 24"OC c/w fibre de chanvre / R 3.7/inch)	1/2" OSB	11 3/4	298.5	29.9	5.26	0	0	7.34	35.85
Panneau à solives (9-1/2" TJIs @ 16"OC c/w Paille / R 3.3/ inch)	1/2" OSB	11 3/4	298.5	27.4	4.82	-3	-30	10.63	51.87
Panneau à solives (9-1/2" TJIs @ 24"OC c/w Paille / R 3.3/ inch)	1/2" OSB	11 3/4	298.5	28.2	4.97	-3	-31	10.11	49.34

Tableau B-1 : Valeur R en champ libre, estimation du carbone incorporé et masse de diverses variantes de conception des panneaux REEEP



**Figure B-1 :** Estimation de la valeur R du champ libre et du contenu en carbone incorporé des variantes des panneaux REEEP décrits à l'Annexe A. Les points bleus représentent la valeur R, les barres orange représentent le contenu en carbone incorporé par pi2, les barres vertes représentent les panneaux qui stockent du carbone net. Note : le bardage n'est pas pris en compte dans les estimations de la valeur R et du contenu en carbone incorporé.

# ANNEXE C: CARACTÉRISTIQUES DU PARC IMMOBILIER CANADIEN

Les graphiques suivants présentent les caractéristiques thermiques typiques du parc immobilier canadien, par époque et par province ou territoire. Les données proviennent d'évaluations énergétiques effectuées sur des habitations de faible hauteur dans le cadre du Système de cote ÉnerGuide (SCE), le système national de cotation énergétique des habitations du Canada. L'ensemble des données du SCE représente environ 5 % du parc immobilier canadien et donne un aperçu de la performance actuelle du parc.

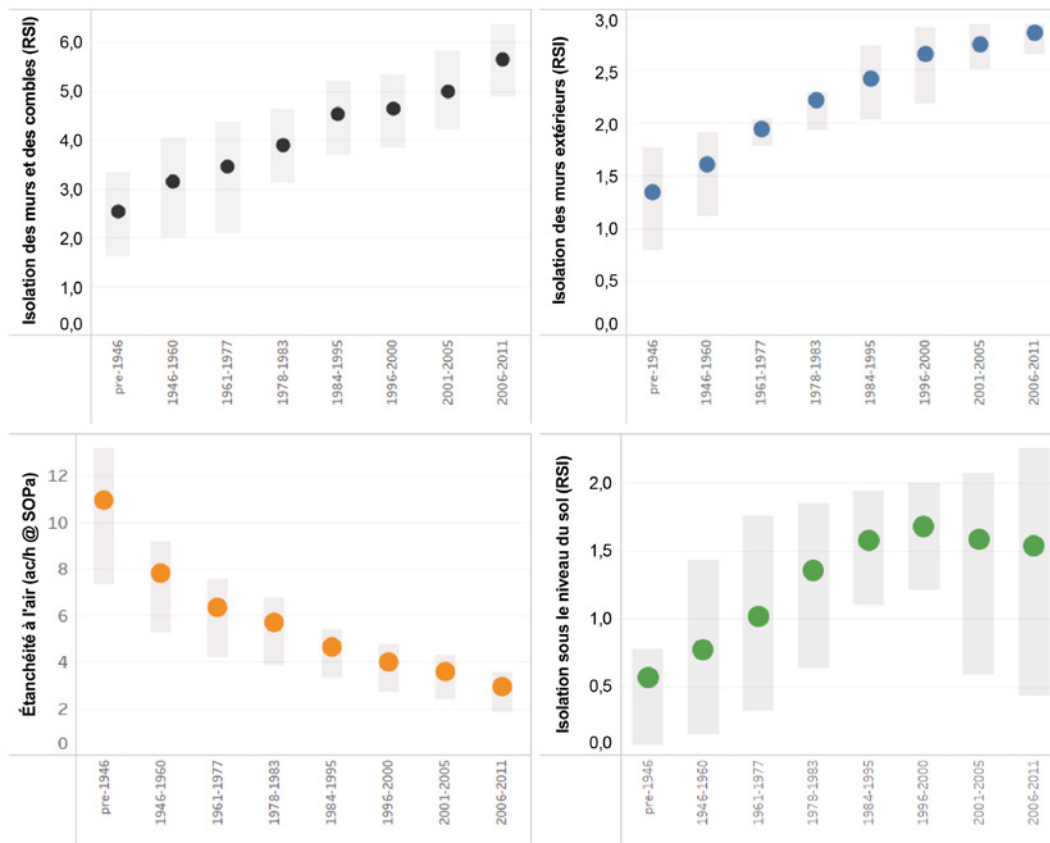


Figure C.1 : Caractéristiques thermiques des logements canadiens par millésime

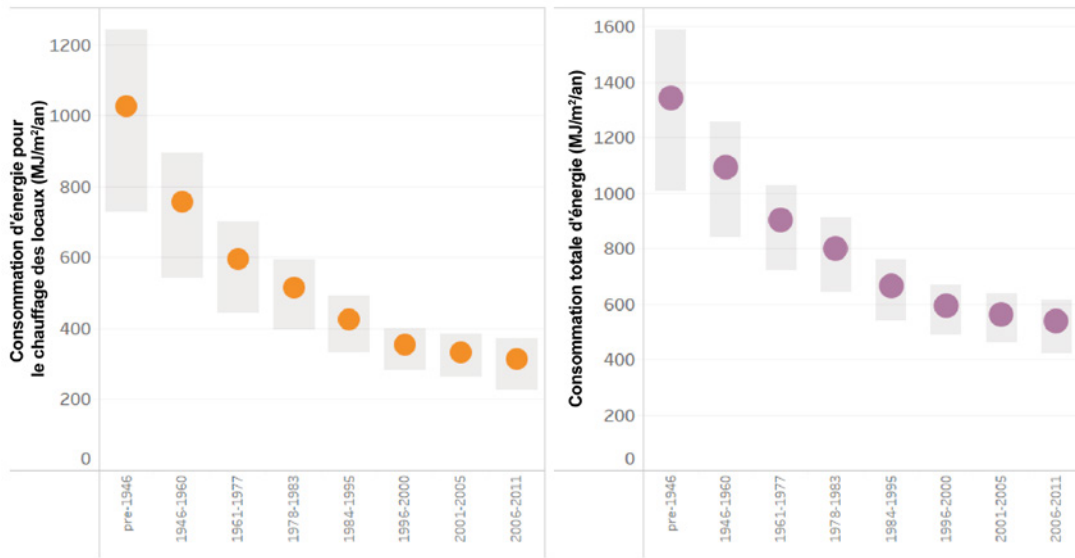


Figure C.2 : Chauffage des locaux et consommation totale d'énergie par millésime

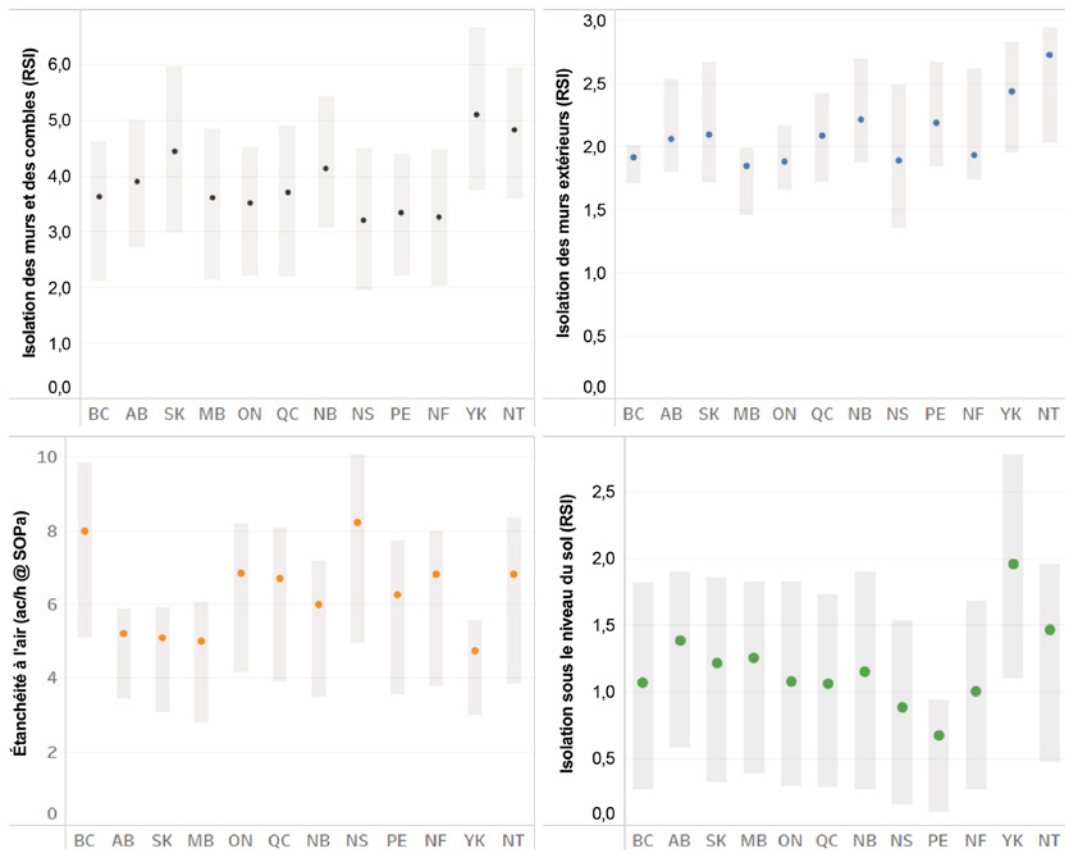


Figure C.3 : Caractéristiques thermiques par province ou territoire

---

# ANNEXE D: EXEMPLES DE COMMUNICATIONS AUX LOCATAIRES

## Le projet REEEP – rénover l’extérieur de votre maison pour réduire vos coûts énergétiques et améliorer votre confort

Le bâtiment dans lequel se trouve votre maison a été identifié comme un emplacement (potentiel) pour une transformation passionnante de la Rénovation énergétique extérieure préfabriquée (REEEP). Cette fiche d’information vous indique ce que vous devez savoir sur le projet.

### Qu’est-ce qu’une Rénovation énergétique extérieure préfabriquée ?

L’enveloppe du bâtiment est un terme utilisé pour décrire tous les éléments d’une maison qui gardent la chaleur à l’intérieur et les intempéries à l’extérieur. L’enveloppe est constituée des murs, des fenêtres, des portes, du toit et des fondations. Les maisons anciennes ont tendance à avoir des enveloppes mal isolées et non étanches. Cela se traduit par des factures de chauffage élevées, un manque de confort et un risque de condensation, qui peut entraîner la formation de moisissures.

Une rénovation énergétique extérieure préfabriquée consiste à envelopper l’ensemble de la maison dans une nouvelle enceinte. Il s’agit de panneaux isolés fabriqués en usine, comprenant de nouvelles fenêtres et de nouvelles portes, construits sur mesure pour être fixés à l’extérieur du bâtiment. Les panneaux seront mis en place à l’aide d’une grue. Cela permet d’achever rapidement l’ensemble du projet en limitant au maximum les perturbations. Des travaux supplémentaires seront effectués pour enlever les fenêtres et les portes existantes et s’assurer que la ventilation est correcte (échange d’air entre l’intérieur de la maison et l’extérieur pour favoriser une bonne qualité de l’air intérieur).

### Quels sont les avantages pour moi ?

- **Vous pouvez continuer à vivre normalement dans votre maison pendant les travaux.** Avec un minimum de perturbations.
- **Vous économiserez sur vos factures d’électricité.** La nouvelle enveloppe du bâtiment (murs, fenêtres, portes et toit) réduira considérablement les pertes de chaleur et les courants d’air de votre maison. Vous économiserez ainsi de l’argent sur votre facture de chauffage.
- **Vous serez plus à l’aise.** Après la rénovation, votre maison sera moins sujette aux courants d’air et la qualité de l’air intérieur sera meilleure.
- **Vous aiderez l’environnement en contribuant moins au changement climatique.** Les nouveaux murs vous permettront de consommer moins d’énergie pour chauffer votre maison.
- **Votre maison sera plus belle.** La rénovation permettra de donner un « coup de jeune » à la maison et de moderniser son aspect.

## À quoi les locataires doivent-ils s'attendre ?

Au cours de [période], le bâtiment sera mesuré et son état sera évalué.

- Les techniciens de terrain seront présents dans la région pendant 1 à 2 jours pour prendre les mesures des bâtiments depuis l'extérieur à l'aide d'instruments d'enquête.
- L'équipement d'enquête comprendra la technologie laser (LiDAR – Light, Imaging, Detection, and Ranging) et des caméras. Le LiDAR mesure la distance des objets environnants en envoyant des impulsions laser et en mesurant le temps de retour de la lumière réfléchiée. Des caméras infrarouges seront utilisées pour capturer les signatures thermiques afin d'identifier les fuites de chaleur de votre maison.



Figure : Scanner LiDAR et caméra infrarouge

- Ces techniciens installeront leur équipement à différents endroits du bâtiment (y compris dans les cours avant et arrière). Chaque mesure peut durer de 10 à 20 minutes.
- Les données seront utilisées pour prendre des mesures précises afin de concevoir et de fabriquer des panneaux sur mesure qui seront installés à l'extérieur de votre maison.

Le [insérer la date], un technicien viendra effectuer **un test d'infiltrométrie** pour mesurer la quantité d'air qui s'échappe de votre maison, ainsi que d'autres aspects de la performance énergétique de votre maison, tels que le type de chaudière et la quantité d'isolation dans les murs. Pour ce test, le technicien devra avoir accès à l'intérieur de votre maison pendant quelques heures.

Après les analyses et les tests, l'équipe utilisera les informations recueillies pour évaluer la faisabilité du projet et éventuellement concevoir et construire les panneaux. Nous vous informerons à nouveau de la date prévue pour le début de la CONSTRUIT SUR SITE. Elle ne devrait alors durer que quelques semaines.



## Que dois-je faire ?

Pour contribuer à ce projet, nous aimerions que vous répondiez à quelques questions concernant votre niveau de confort dans votre maison et vos habitudes de consommation d'énergie. Nous vous demanderons également votre accord pour consulter vos factures de gaz naturel et d'électricité des deux dernières années. Cela nous aidera à prévoir et à mesurer les économies d'énergie et d'argent réalisées grâce à la rénovation. Un représentant vous posera des questions spécifiques et vous remettra un formulaire de consentement.

Comme la plupart des travaux seront effectués de l'extérieur, vous ne subirez qu'un minimum de perturbations. Vous n'aurez pas, par exemple, à déménager ou à vous absenter de votre domicile pendant un certain temps.

## Si vous avez des questions ou des inquiétudes, n'hésitez pas à nous en faire part

Pour plus d'informations,



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

**Contact :**

Mark Carver  
Buildings and Renewables Group  
Ressources naturelles Canada, CanmetÉNERGIE  
[mark.carver@nrcan-rncan.gc.ca](mailto:mark.carver@nrcan-rncan.gc.ca)

**À propos de CanmetÉNERGIE**

CanmetÉNERGIE de Ressources naturelles Canada est le chef de file canadien de la recherche et du développement technologique en matière d'énergie propre. Nos experts travaillent dans les domaines de l'approvisionnement en énergie propre à partir de combustibles fossiles et de sources renouvelables, des systèmes de gestion et de distribution de l'énergie, et des technologies et procédés avancés d'utilisation finale. En veillant à ce que le Canada soit à la pointe des technologies d'énergie propre, nous améliorons la qualité de vie des Canadiens en créant un avantage en matière de ressources durables.

# CanmetENERGY

*Leadership in ecoInnovation*

**Siège social**

580 Booth Street  
Ottawa, ON  
Canada  
K1A 0E4

**Devon, Alberta**

1 Oil Patch Drive  
Devon, AB  
Canada  
T9G 1A8

**Ottawa, Ontario**

1 Haanel Drive  
Ottawa, ON  
Canada  
K1A 1M1

**Varenes, Quebec**

1615 Lionel-Boulet  
Boulevard  
Varenes, QC  
Canada  
J3X 1S6

Canada