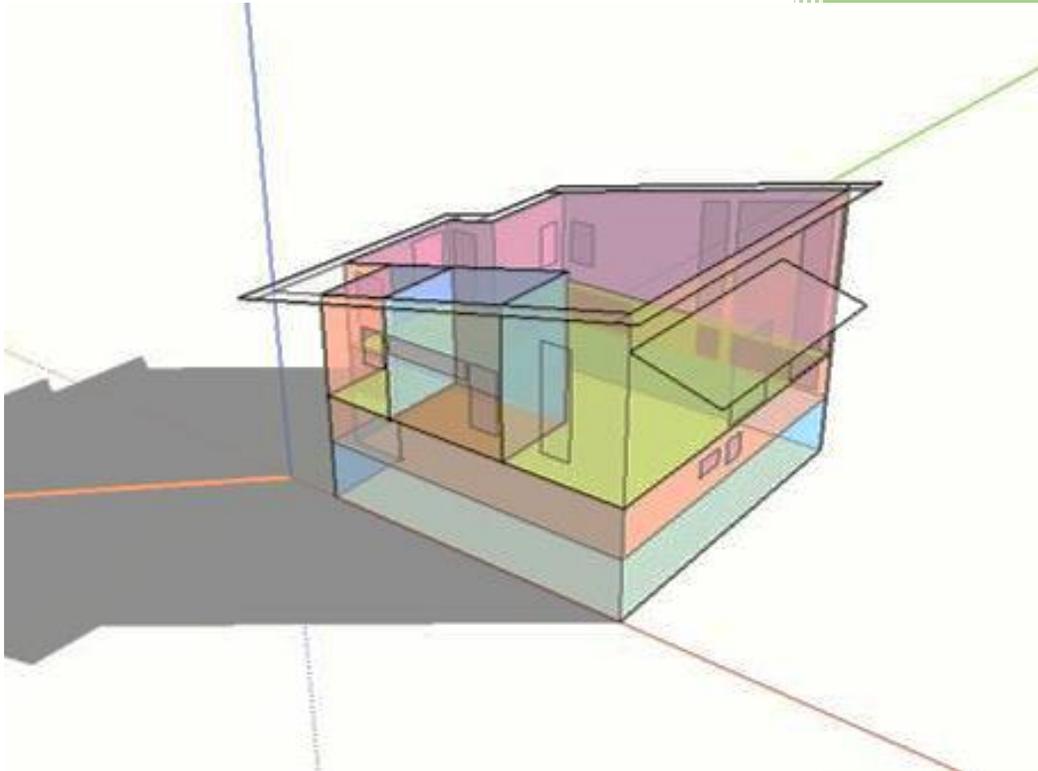


Programme d'appui au développement de l'industrie  
québécoise de l'habitation

PADIQH

**Auvergne Laboratoire vivant :  
Application et monitoring d'enveloppes résidentielles haute-performance**



Richard Trempe, Architecte

Zetco Inc.

23/03/2020

## AVANT-PROPOS

En décembre 2019, Zetco Inc. signait une entente de partenariat avec la Société d'habitation du Québec pour réaliser une étude visant à expérimenter la performance de l'enveloppe de bâtiment dans le cadre d'un projet de développement d'ensembles haute-performance.

Le présent document constitue une synthèse d'une première démarche d'analyse réalisée sur le site d'*Auvergne laboratoire vivant*, conformément à l'entente signée entre la Société et Zetco Inc.

Crédit image de la page titre : Modélisation du pavillon d'Auvergne pour étude, Denis Bourgeois, rd2

## TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	5
1.1 Auvergne laboratoire vivant : présentation du projet global .....	5
1.2 Mission.....	5
1.3 Déploiement du projet .....	6
1.4 Retombées dans l'industrie et résultats attendus .....	8
2. OBJET ET MÉTHODOLOGIE .....	9
2.1 Objet de ce rapport .....	9
2.2 Objectifs recherchés .....	9
2.3 Présentation du rapport.....	9
2.4 Phases de l'étude et plan de réalisation .....	11
2.5 Équipe de travail .....	13
3. LES APPROCHES TECHNIQUES.....	14
3.1 Rappel des principes de base et le choix d'un mur à écran pare-pluie .....	14
3.1.1 L'écran pare-pluie.....	14
3.1.2 L'étanchéité de surface et le mur hybride.....	15
3.2 Le système d'étanchéité : les options.....	16
3.2.1 Le système conventionnel SIPE.....	17
3.2.2 Le système « perfect wall » SITE.....	18
3.2.3 Le système à double ossature SIDO.....	19
3.2.4 Le système à double-peau .....	20
3.3 Analyse et choix du système d'étanchéité.....	20
3.4 Référence techniques .....	23
3.4.1 Guide de BC Hydro.....	23
3.4.2 Guide de l'Association des entrepreneurs en revêtements muraux du Québec 23	
3.4.3 La norme A440 (NAF101) .....	24
3.4.4 Les catalogues de ponts thermiques.....	25
3.4.5 Les codes et normes.....	25
3.4.6 Les guides des plans de garantie et des associations d'entrepreneurs ....	26

4. LA RÉALISATION DU PROJET .....	27
4.1 La haute-performance de l'enveloppe .....	27
4.2 L'intégration au projet .....	28
4.3 Les détails typiques .....	29
4.4 Calcul des résistances thermiques.....	32
4.5 Simulation des détails .....	33
4.5.1 Description et propriétés des matériaux utilisés .....	34
4.5.2 Analyse du rapport de simulation .....	34
4.6 Les travaux .....	38
5. LA PERFORMANCE EN SERVICE.....	40
5.1 Test d'infiltrométrie .....	40
5.2 Thermographie.....	41
5.3 Monitoring .....	44
5.3.1 Zones d'analyse ciblées .....	45
5.3.2 Évaluation des conditions générales .....	46
5.3.3 Commentaire général .....	49
5.3.4 Considérations supplémentaires .....	49
6. L'EFFICACITÉ : COÛTS ET EXPLOITATION .....	50
6.1 Coûts de construction .....	51
6.1.1 Mur typique .....	51
6.1.2 Toiture.....	53
6.1.3 Murs de fondations.....	54
6.2 Exploitation .....	54
6.2.1 Orientation et configuration des lieux.....	55
6.2.2 Portait de la consommation attendue .....	56
7 CONCLUSION .....	59
7.1 Sommaire des résultats.....	59
7.2 Pour une définition de la haute-performance.....	60
7.3 Cadre méthodologique de l'analyse de haute-performance.....	62
7.4 Recommandations générales.....	62

- ANNEXE 1 Tableaux, schémas et analyses
- ANNEXE 2 Documentation photographique
- ANNEXE 3 Considérations administratives en lien avec le projet
  - 3.1 Tableau sommaire des coûts en lien avec les étapes
  - 3.2 Pièces justificatives
  - 3.3 Feuille de temps
- ANNEXE 4 Étude de simulation information, UL CLEB, 13 décembre 2019
- ANNEXE 5 Étude d'efficacité énergétique, rd2, mars 2020
- ANNEXE 6 Rapport d'infiltrométrie, Réseau De Vinci, 12 septembre 2019
- ANNEXE 7 Thermographie
  - 7.1 Thermographie de l'enveloppe verticale, UL CLEB et R. Trempe, 2 mars 2020
  - 7.2 Procédures de thermographie
- ANNEXE 8 Étude de monitoring électronique, UL CLEB, 2 mars 2020

## 1. INTRODUCTION

### 1.1 Auvergne laboratoire vivant : présentation du projet global

Dans la mouvance des changements climatiques et énergétiques marquant ce début de XXI<sup>e</sup> siècle, le domaine de la construction au Québec doit répondre à de nombreux défis, en quête d'une nouvelle pratique du bâtiment intégrant à la fois performance, durabilité et bien-être, en plus d'être économiquement viable.

On dénombre à ce sujet plusieurs études actuellement réalisées<sup>1</sup>. Ces études proposent de nouveaux systèmes, des détails plus performants, des méthodes d'essais innovantes et des calculs plus efficaces.

Ces études permettent certes de documenter plusieurs aspects de la science du bâtiment, sans toutefois en vérifier les performances *in situ*, ni la détérioration en service. Au surplus, si des assemblages sont réalisés, ils se font dans un contexte non-représentatif de la *construction masse*, et sans tenir compte des contraintes de chantier habituelles, avec tous les défis que cela comporte.

Plusieurs constructions résidentielles se targuent d'être écologiques, éco-performantes, ... alors que, trop souvent, les principes mêmes de base en bioclimatique<sup>2</sup> ne sont pas pris en considération. Parfois même, des principes élémentaires qui assurent la durabilité (gestion de l'eau, transferts hygrothermiques, assèchement dans les assemblages, ...) sont ignorés ou mis de côté, pour des questions formelles.

### 1.2 Mission

En réponse à ces carences, *Auvergne laboratoire vivant* s'est donné comme mission de contribuer activement à ces nouveaux défis, en créant un site d'expérimentation permettant la réalisation, la diffusion et l'analyse critique de méthodes de construction qui pourraient être mieux adaptées au contexte québécois, dans des conditions réalistes de construction.

*Auvergne laboratoire vivant* veut ainsi participer à l'avancement et le rayonnement des connaissances dans l'industrie. Le projet global vise donc à :

- Documenter sur le terrain la performance de nouvelles approches techniques dans des lieux monitorés et habités ;
- Promouvoir une approche plus analytique de l'enveloppe de bâtiments dans le domaine résidentiel, dans des perspectives environnementale, économique et de

---

<sup>1</sup> Ce type d'étude se retrouve via des organismes comme TEQ, APCHQ ou BC Hydro, dans le milieu universitaire comme au CIRCEB (Université Laval) et à la chaire Fayolle-Magil (Université de Montréal) ou encore au sein de laboratoires spécialisés en science du bâtiment tels que UL CLEB ou Morrison Hershfield.

<sup>2</sup> On pourrait définir la bioclimatique comme étant une adaptation de l'architecture et des techniques de construction aux caractéristiques propres au lieu et aux conditions d'implantation, permettant d'en tirer le bénéfice des avantages et de se prémunir des désavantages et contraintes, le tout en vue d'obtenir des conditions de vie et de confort d'ambiance de manière la plus naturelle et économiquement possible.

- bien-être, tout en tenant compte de l'expectative climatique, en s'inspirant des recherches sur le sujet, venant d'ici et ailleurs ;
- Favoriser la multidisciplinarité en impliquant dans le projet de construction et de recherche concepteurs, fabricants et entrepreneurs dans le développement d'assemblages *haute-performance* ;
  - Développer des outils de communication pour assurer la diffusion de l'information.

L'organigramme suivant montre la mission globale d'*Auvergne laboratoire vivant*, mission qui se déploie sous trois grands axes : comprendre, expérimenter, communiquer.

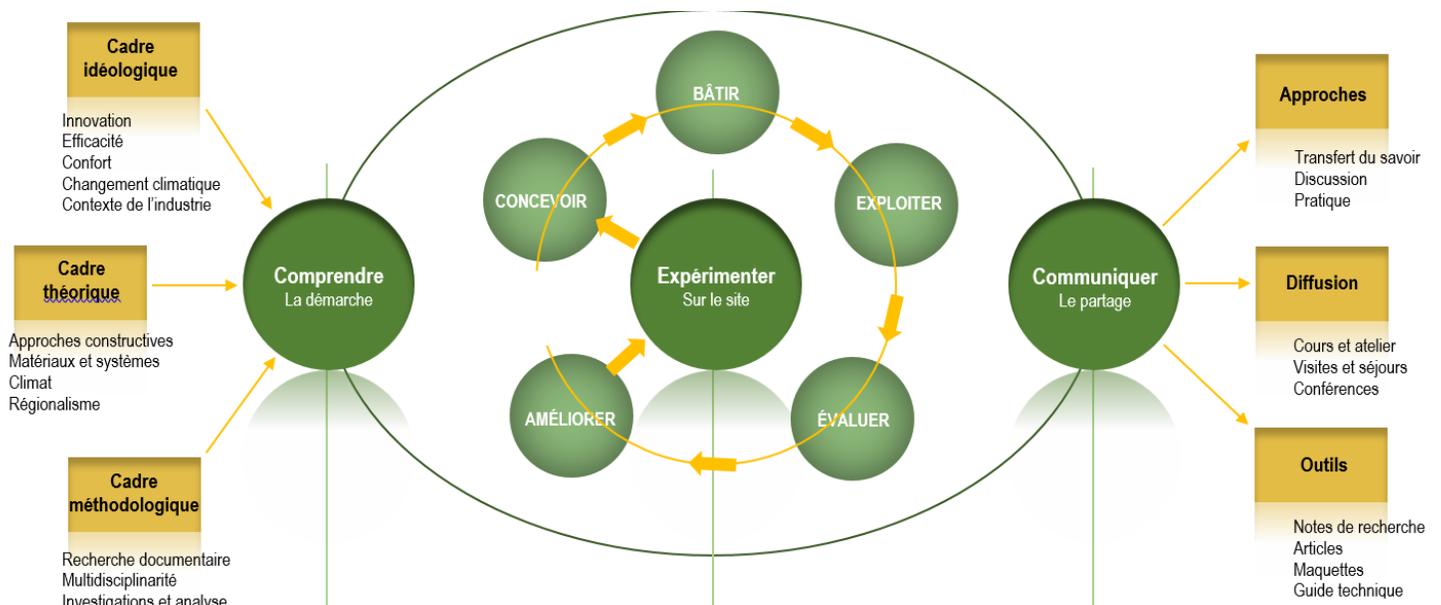


Figure 1 - Mission Auvergne laboratoire vivant (R.Trempe)

### 1.3 Déploiement du projet

*Auvergne laboratoire vivant* s'établit sur un vaste terrain boisé, dans Portneuf, près de Québec<sup>3</sup>. Le site comprendra des pavillons habités, dont le premier, finalisé en août 2019, fait l'objet de cette étude et intègre divers assemblages innovants de murs et de toit, basés sur des stratégies bioclimatiques et énergétiques.

Deux autres bâtiments sont en programmation et leur construction est prévue en 2021.

<sup>3</sup> Zetco Inc. est propriétaire du terrain situé à Ste-Christine-d'Auvergne, près de Québec.

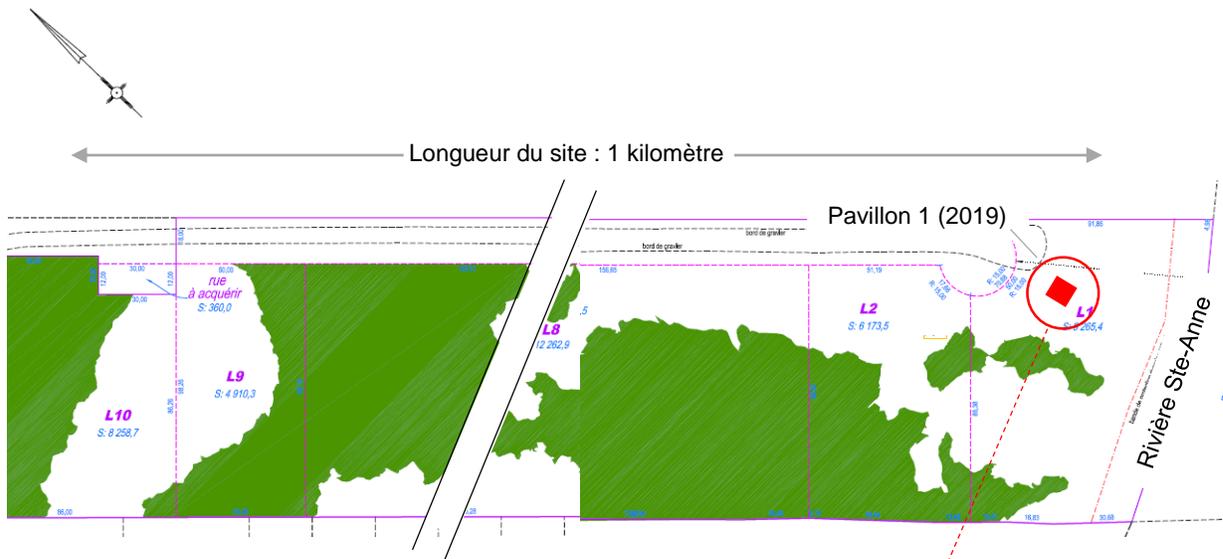


Figure 2A  
Vue partielle du lot  
Les zones en vert sont des milieux humides

Source : VRSB arpenteurs

Figure 2B  
Extrait d'un vidéo promotionnel  
Montrant le pavillon 1

Source : Site web  
Trempe architecte



Les assemblages du premier pavillon sont instrumentés au moyen de plusieurs capteurs de température et d'humidité, afin d'en évaluer la performance sur une base continue et d'en communiquer les résultats par la suite.



Vue du pavillon 1 d'Auvergne, entrée façade nord-est et vue vers la rivière façade Sud (SSE)

## 1.4 Retombées dans l'industrie et résultats attendus

*Auvergne laboratoire vivant* repose sur des hypothèses développées à partir de détails d'enveloppe *haute-performance* et de modélisation par simulation informatique. Peu importe les résultats, ceux-ci ne sont n'être que bénéfiques pour la science du bâtiment appliquée ici au domaine résidentiel.

Les retombées de cette recherche permettront éventuellement de juxtaposer et croiser les différentes études déjà entreprises par d'autres instances<sup>4</sup>.

*Auvergne laboratoire vivant* s'inscrit donc comme un outil technique et pédagogique aligné aux préoccupations sociales et gouvernementales de développement durable et d'efficacité énergétique.

---

<sup>4</sup> Étude à faire dans une étape ultérieure, lorsque au moins trois pavillons pourront permettre de raffiner les grandes orientations qui pourraient être promues dans l'industrie.

## 2. OBJET ET MÉTHODOLOGIE

### 2.1 Objet de ce rapport

Ce rapport propose une synthèse des actions prises lors de la conception et la construction du pavillon et des analyses qui suivirent au moment de la mise en service, soit au cours de l'automne et de l'hiver 2019-2020.

Ce rapport comprend aussi les études spécifiques respectives réalisées par les différents collaborateurs dont les services avaient été retenus par Zetco Inc. et dont on retrouve les analyses en annexe.

### 2.2 Objectifs recherchés

Les objectifs d'*Auvergne laboratoire vivant* s'inscrivent dans un processus d'intégration et de diffusion des nouvelles connaissances au moyen de réels bâtiments en opération, pour tenir compte de la performance en service et la durabilité dans le temps. Ces objectifs cherchent à

- Développer une méthodologie d'évaluation de performance simple et reproductible sur d'autres bâtiments résidentiels, méthodologie devant comprendre entre autres éléments :
  1. Modélisation des détails d'assemblage et calcul théorique d'efficacité ;
  2. Vérification des données mesurées et comparaison avec d'autres références et avec les modèles obtenus pas modélisation ;
  3. Évaluation de la rentabilité/efficacité des détails de construction ;
  4. Élaboration de modifications et d'amélioration à faire, le cas échéant ;
  5. Optimisation de chacune des étapes de réalisation.
- Communiquer les résultats du projet de recherche au profit des professionnels de la construction en développant des outils de communication appropriés :
  1. Mise en contexte des approches et résultats aux différentes étapes de conception, réalisation et utilisation.
  2. Stratégie de transfert des connaissances (tableaux, détails des principes, documentation photographique, maquettes, etc.).

### 2.3 Présentation du rapport

Ce rapport constitue une étape dans le développement général du projet d'*Auvergne laboratoire vivant*, dont l'étude actuelle se prolongera, en fait, au-delà de la fin du programme d'aide 2019-2020, soit jusqu' à la fin de la saison hivernale. L'étude se poursuivra aussi pour une deuxième année, afin de valider, après un hiver complet, les résultats obtenus à ce jour et présentés dans ce rapport.<sup>5</sup>

---

<sup>5</sup> Cette étude couvre un premier pavillon. Deux autres pavillons sont actuellement en phase de programmation et sont prévus être construits simultanément en 2021, pour permettre de comparer différentes approches techniques et mettre en application les hypothèses et recommandations qui sont à élaborer suite à cette étude.

Ce document traite des différentes analyses effectuées à ce jour, directement en lien avec la demande d'aide financière.<sup>6</sup> Plusieurs documents complémentaires sont regroupée en annexe 1, soit :

Annexe 1.1	Extraits des plans et élévations tirés des documents qui ont servis à la construction
Annexe 1.2	Évolution du détail de mur type
Annexe 1.3	Détails tels que construits sélectionnés
Annexe 1.4	Calcul des résistances nominales et effectives des assemblages
Annexe 1.5	Estimations comparatives de divers systèmes constructifs
Annexe 1.6	Identification des approches à caractère bioclimatique envisagées lors de la conception
Annexe 1.7	Monitoring électronique : localisation des zones d'enregistrement
Annexe 1.8	Monitoring électronique : localisation des enregistreurs de données
Annexe 1.9	Diagramme d'occupation des lieux de novembre 2019 à février 2020
Annexe 1.10	Évaluation des températures intérieures ressenties
Annexe 1.11	Projection du soleil dans les aires de vie
Annexe 1.12	Températures intérieures dans les aires de vie : impact du soleil

Une documentation photographique est reproduite en **annexe 2**, alors que toute la partie des frais et honoraires en lien avec le projet est comptabilisé en **annexe 3**.

Sont aussi reproduits aux annexes suivantes les rapports effectués dans le cadre de cette étude par les collaborateurs au projet, en collaboration avec le soussigné, soit :

Annexe 4	Étude de simulation information, UL CLEB, 13 décembre 2019
Annexe 5	Étude d'efficacité énergétique, rd2, mars 2020
Annexe 6	Rapport d'infiltrométrie, Réseau De Vinci, 12 septembre 2019

<sup>6</sup> Des relevés d'autres natures sont en cours de réalisation, plus spécifiquement en lien avec différents aspects bioclimatiques, touchant entre autres à l'implantation, l'orientation et les accumulations de neige et de glace. Ces relevés supplémentaires feront l'objet d'analyses parallèles sous peu, suivant cette première phase de programme, analyses qui auront aussi un impact sur l'analyse globale de performance.

- Annexe 7                      Thermographie de l'enveloppe verticale, UL CLEB et R. Trempe, 2 mars 2020
- Annexe 8                      Étude de monitoring électronique, UL CLEB, 2 mars 2020

## 2.4 Phases de l'étude et plan de réalisation

Le tableau suivant reprend les différentes phases de l'étude tel qu'énoncé au montage financier, en annexe à l'entente signée avec la SHQ (première colonne). Il réfère aussi aux parties du rapport et des annexes où les sujets sont traités. Les étapes et la nature des études énoncées dans le rapport (deuxième colonne) reprennent quant à elles les étapes qui avaient été indiquées dans la demande d'aide financière.

Prendre note qu'un tableau similaire à celui-ci est utilisé en annexe 3 pour les considérations administratives.

**TABLEAU 1**  
**Identification des études réalisées et traitées dans le rapport**

Items en référence avec le plan de réalisation initial Référence Montage financier	Étapes et nature des études Référence demande d'aide	Sujet traité dans ce document	Sujet traité dans les annexes
Analyse des concepts, modélisation, optimisation des détails de construction et méthode de recherche	Élaboration de détails de construction <i>haute-performance</i>	Partie 3.1 Partie 4.3 Partie 7	Dessins Annexe 1.2 Dessins Annexe 1.3
	Simulation hygrothermique pour optimiser les détails	Partie 4.5	Rapport Annexe 4
	Calcul des résistances thermiques	Partie 4.4 Partie 6.1	Annexe 1.4 Annexe 1.5
	Modélisation / efficacité énergétique	Partie 6.2 Partie 7	Rapport Annexe 5
	Études des fiches techniques et sélection finale des matériaux	Partie 6.1 Partie 7	
Adaptation au chantier pour réaliser des détails haute-performance	Révision et adaptation des détails avant travaux en fonction des coûts de construction	Partie 3.4 Partie 4.2 Partie 4.3 Partie 7	Tableau annexe 1.5
	Construction et adaptation	Partie 6.1	Annexe 1.5 Annexe 2- doc photo
Fourniture et stratégie de mise en place des enregistreurs de données et essai en infiltrométrie	Méthodologie de recherche et échanges avec les partenaires, concernant la prise de données	Partie 5.3.1	Zonage et localisation Annexe 1.7 et Annexe 1.8
	Installation et mise en place des enregistreurs de données	Partie 5.3.1	Zonage et localisation Annexe 1.7 et Annexe 1.8 Photos Annexe 1.8
	Essai en infiltrométrie	Partie 5.1	Rapport Annexe 6

Items en référence avec le plan de réalisation initial Référence Montage financier	Étapes et nature des études Référence demande d'aide	Sujet traité dans ce document	Sujet traité dans les annexes
Recension des références techniques et synthèse des approches et guides disponibles	Références techniques synthèse des approches constructives	Partie 3.4	
Suivi périodique monitoring électronique année 1 et thermographie	Monitoring électronique et consommation énergétique	Partie 5.3 Partie 6.2	Rapport Annexe 5 Rapport Annexe 8
	Thermographie et vérifications connexes	Partie 5.2	Rapport Annexe 7
Analyse post-construction des coûts	coûts et stratégies d'amélioration	Partie 6	Tableau Annexe 1.5
Compilation et analyse du projet et séances de travail avec les partenaires	Compilation et étude des résultats du monitoring	Partie 5.3	Rapport annexe 8
	Analyse comparative avec le modèle théorique	Partie 6 Partie 7	
	Séances de travail	Séances pour simulation, monitoring, thermographie et modélisation énergétique tenues tout au long des étapes de l'étude	
Rapport de recherche : hypothèses, résultats, analyse, comparatifs, conclusion et recommandation	Objet du présent rapport		
Développement des outils de diffusion : sommaire, tableaux, dessins, photos, etc.	Préparation de la documentation de présentation et des outils de promotion (annonces) <sup>7</sup>	Article et annonce dans Esquisse, parution du 11 mars 2020	Les documents en annexe 1 et en annexe 2
Construction de maquettes explicatives pouvant être transportées	Maquette typique de mur et matériel pour la réalisation de maquette de mur innovant en atelier		Vue de la maquette annexe 2 – doc photo

<sup>7</sup> Une partie seulement des outils de diffusion était incluse dans la demande de subvention, la majeure partie de cette étape, de même que la préparation et la réalisation d'ateliers et de visites guidées seront réalisées au cours du printemps 2020, donc après la date du 30 mars 2021. Cette étape indiquée comme « étape 5 » dans la demande d'aide, constitue la suite à ce projet.

## 2.5 Équipe de travail

Les personnes suivantes ont été impliqués à l'une ou l'autre des phases du projet :

Charles Beaulé, ing.	UL CLEB	Simulation - monitoring
Jerry Lapointe T.E	Groupe de Vinci	Infiltrométrie
Denis Bourgeois, PhD	rd2	Étude énergétique
Simon Bélanger, T.P.	UL CLEB	Thermographie
Maxime Simard	Carsim	Estimés et maquette
Alexis Ruelland, arch	Ruelland architecte	Dessins CAD
Richard Trempe, arch M.Sc	Trempe architecte	Plans et devis - mise en service - Relevés – monitoring - Analyse et rapport – Coordination générale

L'auteur tient aussi à remercier Pierre-Alexandre Rhéaume, Dominique St-Pierre, Claude Bisson Dany Plamondon et Stéphane Gagné, de l'équipe de professionnels enseignants au département de technique d'architecture du Cégep du Vieux-Montréal, qui ont accepté de réviser ce document.

### 3. LES APPROCHES TECHNIQUES

L'élaboration d'enveloppes d'un bâtiment impose une réflexion non seulement sur les détails à développer, mais aussi sur le principe et le système de mur et toiture qui seront choisis. De nombreux principes ont été développés au cours des décennies, toujours en constante évolution, comme le montre cette image inspirante qui illustre cette mutation de la grotte vers l'écran pare-pluie à double peau, en passant par les divers murs massifs et murs creux, qui deviennent progressivement isolés.

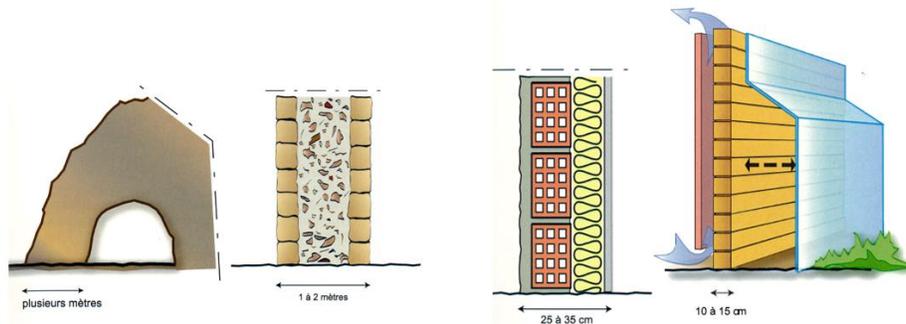


Figure 3 - Évolution des ensembles constructifs  
Source : Les cahiers de Cantercel

Cette présente partie traite de certaines des différentes approches techniques qui existent, de certains documents de référence en lien avec le projet, et propose une synthèse de la démarche menant aux choix techniques qui ont été faits.

#### 3.1 Rappel des principes de base et le choix d'un mur à écran pare-pluie

Le principe des murs massifs ayant été d'office mis de côté dans le cadre du projet, ceux qui sont utilisés actuellement au Québec et qui pouvaient être retenus étaient donc l'écran pare-pluie, l'étanchéité de surface et le mur hybride.

##### 3.1.1 L'écran pare-pluie

Le *mur à écran pare-pluie* constitue le principe le plus utilisé au Québec, et particulièrement dans le domaine résidentiel. Il se caractérise par :

- Un parement extérieur servant de *pare-pluie*, le premier niveau de protection contre la pénétration d'eau, qui est pourvu d'orifices de drainage pour assurer l'évacuation d'eau et l'aération de la cavité, favorisant ainsi l'assèchement de la cavité et des matériaux<sup>8</sup>. Le *pare-pluie* (parement extérieur) doit limiter au maximum l'eau de pluie, la neige et autres précipitations ;

<sup>8</sup> Dans les plus gros bâtiments, résidentiels et autres, l'*écran pare-pluie à pression équilibrée* (EPPE) vise en plus un équilibrage des pressions de part et d'autre du parement extérieur, en compartimentant la cavité murale. Dans le cas de petits bâtiments, moins sollicités par le vent, ce sont surtout les écrans pare-pluie standards que l'on utilise.

- Une lame d'air : la cavité murale qui communique avec l'extérieur ;
- Des moyens d'écoulement assurés par les solins pour rediriger l'eau vers l'extérieur ;
- Un *pare-eau*<sup>9</sup> continu, soit le deuxième niveau d'étanchéité contre la pénétration d'eau, pour stopper toute pénétration d'eau qu'aurait laissé passer le parement *pare-pluie* ;
- Un *pare-air* continu qui offrira une résistance mécanique suffisante pour résister aux mouvements d'air à travers l'enveloppe ;
- Une *barrière thermique* fait d'une ou plusieurs couches isolantes ;
- Un *pare-vapeur* pour limiter la diffusion de vapeur contenue dans l'air intérieur.

L'écran pare-pluie est en fait une évolution du « mur à cavité » des années 1960-1980 en y intégrant un plan d'étanchéité à l'air maintenant requis depuis plus de 30 ans.

Alors que le pare-pluie est évidemment situé du côté extérieur, les plans d'étanchéité pare-eau et pare-air peuvent se situer à différents endroits dans l'enveloppe et peuvent aussi être combinés en un seul matériau, tel que la pellicule d'oléfine de type « tyvek » largement utilisée dans la construction résidentielle.

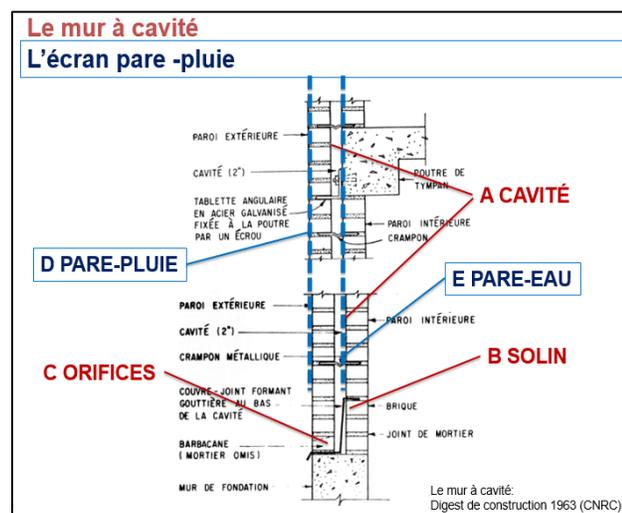


Figure 4 – CNRC (1964)  
Évolution du mur à cavité vers l'écran pare-pluie  
Source : Formation R Trempe

### 3.1.2 L'étanchéité de surface et le mur hybride

L'approche du principe d'*étanchéité de surface*, aussi appelé *étanchéité de façade* ou *murs sandwich*, s'appuie une seule barrière contre la pénétration d'eau, donc sur une obturation de toutes les ouvertures de la face extérieure des murs à travers lesquelles l'eau pourrait s'infiltrer. Le parement extérieur joue à la fois le rôle d'étanchéité à l'eau et d'étanchéité à l'air<sup>10</sup>. Il doit offrir une résistance mécanique pour contrer les charges de vents et toutes les contraintes extérieures. En fait le parement joue habituellement à la fois le rôle de *pare-pluie*, *pare-eau* et *pare-air*. Les murs de certaines nouvelles maisons utilisent encore, totalement ou partiellement, ce principe, en dépit des nombreuses défaillances qui affectent de telles installations, et des poursuites judiciaires qui s'ensuivent<sup>11</sup>.

<sup>9</sup> Parfois appelé « pare-intempérie » dans l'industrie. Les termes donnés à chaque plan d'étanchéité diffèrent dans l'industrie, et une nomenclature uniformisée est plus que souhaitable.

<sup>10</sup> On retrouve aussi parfois ce qu'on nomme une « membrane dissimulée » de type Tyvek derrière le système scellé.

<sup>11</sup> Le soussigné a expertisé depuis le début des années 1990 plusieurs enveloppes avec une étanchéité de surface, et particulièrement celles en enduit acrylique avec isolant extérieur (SIFE). Les risques de désordres sont exacerbés par un seul et unique plan d'étanchéité posé à l'extérieur.

Depuis quelques années des fabricants de murs à étanchéité de surface ont développé des systèmes qu'on dit *murs hybrides* en ce sens qu'il y aurait une possibilité d'évacuation d'eau via des zones de compensation créées dans le profilé d'isolation intra-murale. Des recherches menées entre autres par la SCHL considèrent néanmoins que dans notre climat, un tel principe, qu'il soit scellé totalement ou hybride, est à proscrire.

Catégorie d'exposition	Étanchéisation de façade	Membrane dissimulée	Cavité d'évacuation	Écran pare-pluie ordinaire	Écran pare-pluie à pression équilibrée
<b>Elevée</b>	Médiocre	Médiocre	Médiocre	Passable	Bonne
<b>Moyenne</b>	Médiocre	Médiocre	Passable	Bonne	Bonne
<b>Faible</b>	Passable	Passable	Bonne	Bonne	Bonne
<b>Nulle</b>	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne	Bonne

Figure 4 - Performance attendue des techniques de maîtrise de l'humidité adoptée à l'égard des murs extérieurs  
Source : Comment conserver les murs sec (Dale Keer, SCHL) – Ligne rose / exposition au Québec

Le principe de l'écran-pluie<sup>12</sup>, avec des variantes tel qu'il sera discuté ultérieurement, a été choisi pour le pavillon d'Auvergne.

### 3.2 Le système d'étanchéité : les options

L'enveloppe doit répondre à plusieurs contraintes et c'est le type de système qui assurera ou non une performance à l'ensemble, elle-même tributaire de l'environnement extérieur et autres agressions. Le tableau suivant, tiré d'un mémoire universitaire traitant du détail en architecture, présente un portrait général de certains des objectifs liés aux systèmes de l'enveloppe.

**TABLEAU 2 – Les objectifs d'assemblage**

Source : Laferrière (2007) d'après Allen (1993)

Général	Objectif technique		Exemples d'assemblage
	Particulier		
Contrôler les infiltrations d'eau	1. Éliminer les ouvertures dans les assemblages du bâtiment		Scellant
	2. Garder l'eau loin des ouvertures		Pente d'égouttement Goutte et solin Chantepleure
	3. Neutraliser les forces qui peuvent déplacer l'eau à travers les ouvertures		Brisure capillaire Écran pare-pluie Seuil
Contrôler les infiltrations d'air			Surface pare-air Joint de dilatation Scellant
Contrôler les courants de chaleur	1. Contrôler la conduction de la chaleur		Isolation thermique Bris thermique Vitrage multiple
	2. Contrôler la radiation de la chaleur		Surface réfléchissante Espace d'air Masse thermique
Contrôler la vapeur d'eau			Surfaces intérieures chaudes Ventilation de la vapeur Drainage de la condensation
Contrôler le son			Partition étanche à l'air Plancher coussiné Attaches silencieuses

<sup>12</sup> Rappelons encore qu'il existe aussi aujourd'hui les *écrans pare-pluie à pression équilibrée*, encore plus performants, mais rarement utilisés le cas d'un petit bâtiment d'un seul étage ou deux.

Accommoder le mouvement	1. Fabrication et configuration des matériaux	Séchage et traitement Bois d'oeuvre à grain vertical Dos de pièce qui évite la distorsion
	2. Séparation des éléments qui bouge de manière différente	Joint structure/ enveloppe Joint de butée
	3. Diviser les larges surfaces qui peuvent craquer, se froisser ou se tordre	Joint d'expansion Joint de contrôle Joint de glissement
	4. Diviser un grand bâtiment	Joint de séparation
Procurer un support structural		Petits assemblages
Procurer des passages pour les services mécaniques et électriques		Chasse verticale Espace horizontal
Santé et sécurité		Chamfrains sécuritaires Assemblages résistants au feu Conception sans obstacles
Contrôler le vieillissement du bâtiment		Surfaces lavables Accès pour l'entretien Surfaces qui vieillissent bien

On se rappellera que l'enveloppe se définit comme étant la paroi séparatrice entre des milieux différents. Et c'est le système d'étanchéité qui gèrera la façon dont tous les transferts hygrothermiques se feront.

C'est ainsi que le détail commence à se développer, en fonction de chaque projet, chaque usage. Le détail agit comme le lien et le tissage entre les divers éléments du système d'enveloppe.

De multiples systèmes d'étanchéité existent dans le marché de la construction. Quatre sont ici présentés, en lien avec ce qui aurait pu être choisi pour le projet d'*Auvergne laboratoire vivant*. Les quatre reposent sur le principe de l'écran pare-pluie.

### 3.2.1 Le système conventionnel SIPE

Le système conventionnel SIPE<sup>13</sup> est celui qui est le plus utilisé dans l'habitation au Québec. Il est structuré au moyen de montants 2x4 ou 2x6, avec un revêtement mural intermédiaire fait généralement de panneaux OSB.

Le *pare-eau* joue habituellement aussi le rôle de *pare-air*. Il est situé devant ou laminé à un panneau rigide isolant, lui-même adossé, dans la cavité murale, au panneau OSB. La pellicule d'oléfine de type *Tyvek* est largement utilisée, en raison de ses propriétés pare-air et pare-eau, tout en étant perméable à la vapeur d'eau.

La résistance thermique du SIPE se trouve partagée entre ledit panneau isolant donnant dans la cavité murale, dénommé *recouvrement des ponts thermiques*, et la laine isolante entre les montants de bois. Un pare-vapeur est installé du côté intérieur.

Les dessins de la page suivante montrent aussi la possibilité d'un recouvrement des ponts thermiques par l'intérieur, situation qui devrait pourtant être évitée, car elle reporte toute la charpente dans une zone plus froide.

<sup>13</sup> Acronyme donné par le soussigné : SIPE Système avec isolation partiellement à l'extérieur de la charpente.

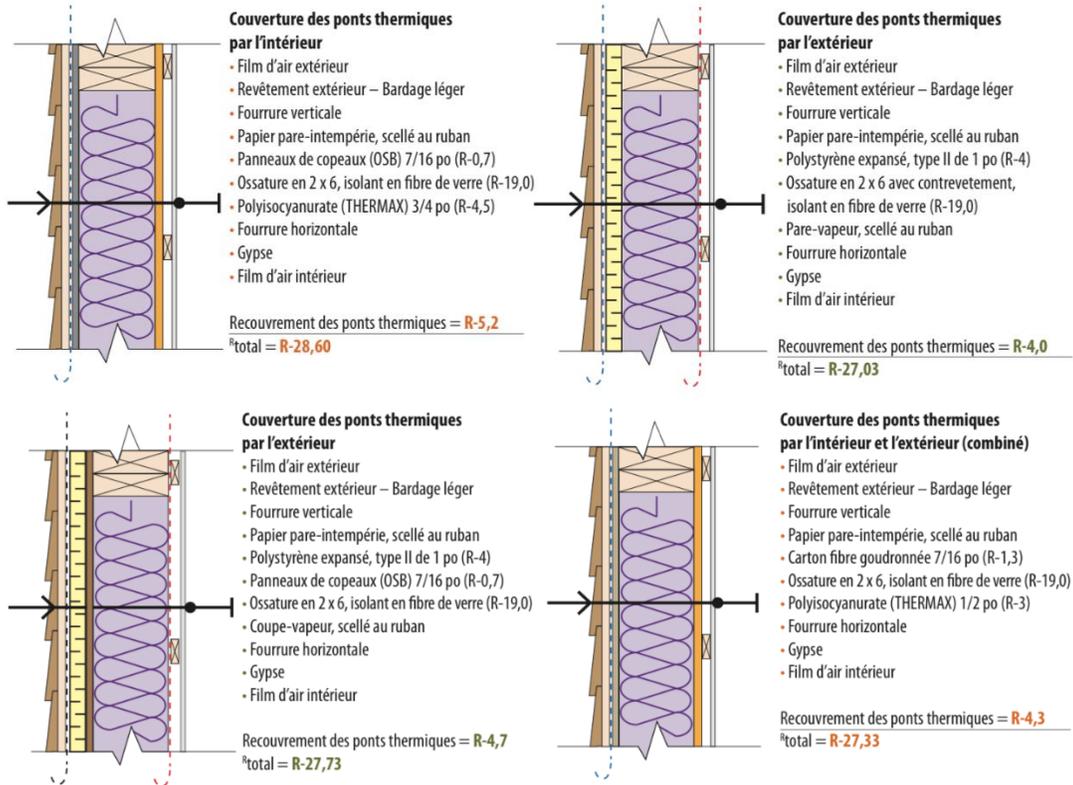


Figure 5 - Coupes de murs de type conventionnel, tels que celles proposées par l'APCHQ  
Source : Guide à l'intention de l'entrepreneur (APCHQ)

### 3.2.2 Le système « perfect wall » SITE

Le système *perfect wall* SITE<sup>14</sup> n'est pas vraiment utilisé dans le domaine résidentiel<sup>15</sup> mais courant dans l'institutionnel. Il se distingue du système conventionnel SIPE par la conservation au chaud des montants dénudés de toute isolation, alors que l'ensemble de l'isolation se retrouve au-delà de la charpente du panneau de revêtement intermédiaire. Les plans d'étanchéité se retrouvent habituellement entre le revêtement mural intermédiaire et l'isolation. Ce système est aussi connu sous le nom de *Remote wall* et a été entre autres développé pour les milieux très froids, en raison du recouvrement extérieur de toute la charpente par l'isolant, en tous points de l'assemblage.

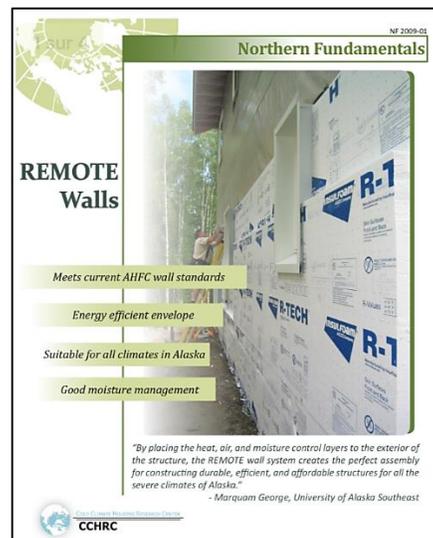


Figure 6 -Publication du CCHRC expliquant Le « Remote wall » en condition nordique

<sup>14</sup> Acronyme donné par le soussigné : SITE Système avec isolation totale du côté extérieur de la charpente.

<sup>15</sup> L'APCHQ a néanmoins monté un comité technique sur le sujet il y a quelques années et le CIRCEB (Université Laval) s'intéresse aussi à la question.

*“By placing the heat, air, and moisture control layers to the exterior of the structure, the REMOTE wall system creates layers the perfect assembly for constructing durable, efficient and affordable structures for all the severe climates of Alaska”*

M. Grange, University of Alaska Southeast

Le système a été médiatisé dans les années 2000 par le chercheur Joseph Lstiburek (ASHRAE) bien qu'il soit depuis longtemps utilisé avec succès, entre autres, dans le cas du soussigné, sur des bâtiments réhabilités, avec réfection complète de l'enveloppe (dessin et photo ici-bas).

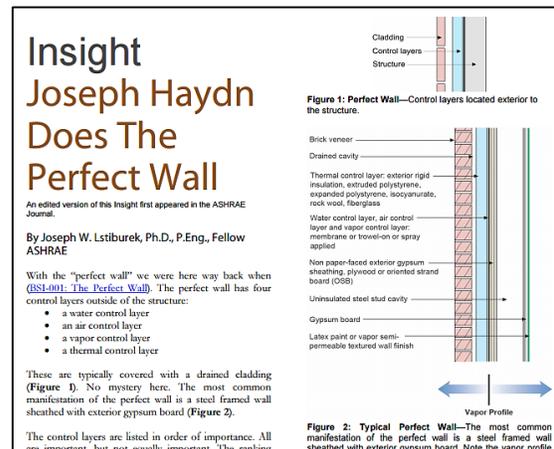
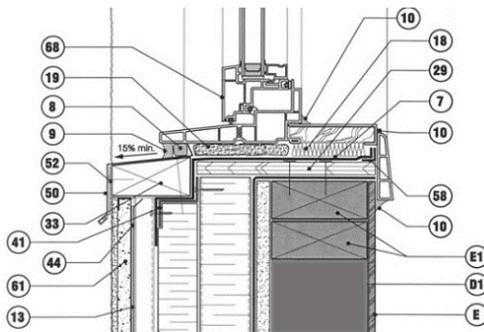


Figure 7 -Article scientifique portant sur le « Perfect wall » Source : BSC Consultants



Réfection d'enveloppe, Villa des jeunes Richard Trempe, arch. (2001)

### 3.2.3 Le système à double ossature SIDO

Le système SIDO<sup>16</sup> repose sur l'installation de deux rangées de montants de bois afin de minimiser les ponts thermiques et maximiser le potentiel d'isolation, par l'élargissement des murs. Il est employé occasionnellement, dans le marché résidentiel.

*« Le mur double ossature est le nec plus ultra des charpentes de maisons puisque sa construction est simple en plus d'être abordable, et il peut facilement accueillir une hyper-isolation (de l'ordre de R-70), pour ceux qui désirent rendre leur maison autonome sur le plan énergétique<sup>17</sup> ».*

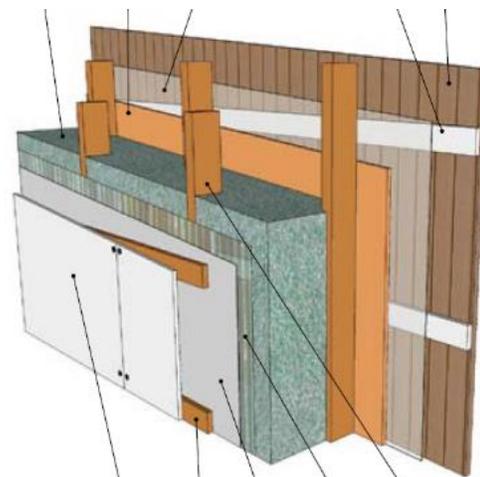


Figure 8 Promotion du mur à double-ossature Source : La ruche, cahier de projet no3

<sup>16</sup> Acronyme donné par le soussigné : SIDO Système à double ossature de bois.

<sup>17</sup> L'opinion émise dans cette référence quant aux moyens proposés pour obtenir l'autonomie n'est pas nécessairement partagée par le soussigné et il en sera plus amplement discuté en parties 6 et 7 de ce rapport.

Le système à double-ossature a fait l'objet de recherches pour le projet, mais n'a pas été retenu, à tout le moins pour la construction du premier pavillon.

### 3.2.4 Le système à double-peau

En fait il s'agit d'une variante d'un écran pare-pluie, avec une protection supplémentaire extérieure, créant ainsi des espaces transitoires pouvant être utilisés comme zones de transfert de chaleur, circulation et échange d'air, etc...

Les « double-peau » sont utilisées dans les grands bâtiments en Europe depuis 60 ans, et ils émergent progressivement au Canada. L'application résidentielle est rare, bien que des expérimentations soient faites, en France notamment, sur le site expérimental de Cantercel.

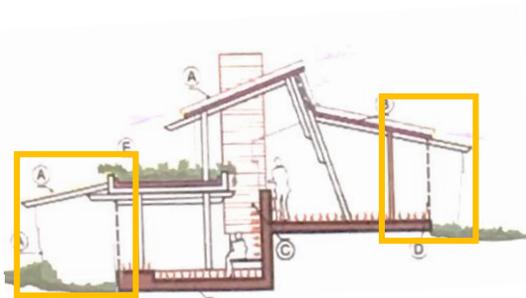


Figure 9 -Vue d'un pavillon avec double peau  
Source : Cahiers de Cantercel



Photo du pavillon principal de Cantercel  
(Photo R.Trempe)

## 3.3 Analyse et choix du système d'étanchéité

Peu importe le système utilisé, on doit se rappeler l'importance d'assurer une étanchéité optimale, afin de réduire les risques de condensation dans l'enveloppe, mieux contrôler la qualité de l'air intérieur, améliorer le confort et le bien-être, assurer une bonne isolation acoustique, réduire les coûts de chauffage et de climatisation, créer des bâtiments plus écologiques et plus durables, etc. L'optimisation désirée passera aussi, inévitablement, par toutes les considérations mécaniques du bâtiment.

L'analyse des choix de système dans le présent cas a été établi tel qu'indiqué ci-après.

Bien que prometteur, le manque de connaissance et d'expérience pour le système à double ossature SIDO nous a incité à choisir, adapter et maximiser le potentiel du mur SITE « perfect wall ».

Le diagramme de la page suivante illustre les différences majeures d'implantation des plans d'étanchéité entre le SIPE (traditionnel) et le SITE (perfect wall), d'où le choix d'utiliser le SITE, dont l'une des caractéristiques majeures est la concentration avantageuse, en un seul endroit, des plans d'étanchéité, et avec un seul matériau.

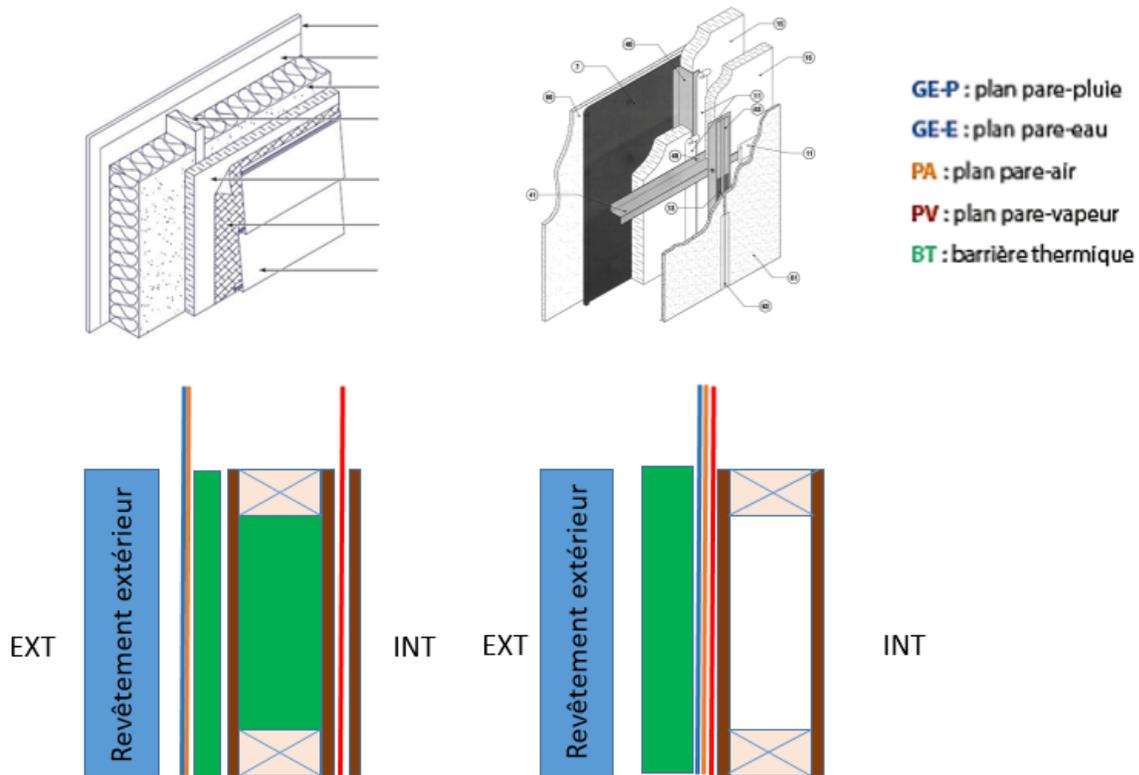


Figure 10 -Comparaison entre les plans d'étanchéité systèmes SIPE (traditionnel) et SITE (perfect wall)  
Source : R Trempe – Notes de cours données pour l'OAQ

Le choix du système SITE a été établi en considérant entre autres les critères suivants :

- Aucun plan d'étanchéité, mis à part le pare-pluie évidemment, n'est soumis aux conditions froides et humides, la membrane étant située derrière l'isolant, contrairement au SIPE. Les plans sont donc à l'abri et au chaud ;
- Aucune matière principale putrescible ne se retrouve trappée entre deux plans d'étanchéité, toute humidité ou eau peut facilement se gérer. Au niveau du SIPE, les montants de bois, et pire encore le panneau d'OSB se retrouvent entre le plan d'étanchéité à l'air et celui à la vapeur d'eau. Le panneaux OSB, avec ses propriétés pare-vapeur qui limitent la diffusion de l'humidité potentiellement emprisonnée, est au-surplus positionné dans une zone à risque de condensation. Dans ces conditions, le potentiel d'assèchement pourtant crucial peut difficilement être atteint.
- Le recouvrement des ponts thermiques est maximisé dans le SITE, alors que toute la charpente sera conservée au chaud ;

- Les opérations de pose des plans d'étanchéité sont simplifiées, il n'y en qu'un seul, assuré par une membrane<sup>18</sup> ;
- La pose de la membrane, toujours dans le SITE, se fait aisément directement sur le panneau de revêtement intermédiaire<sup>19</sup>, et la membrane pourra servir de protection de l'ensemble rapidement, durant les travaux ;
- L'espace entre les montants est laissé libre pour le passage de la mécanique et de l'électricité, et il n'y a aucun risque non plus de perforation du pare-vapeur, tel que souvent constaté dans les murs SIPE ;
- En raison des montants laissés libres et où une circulation de l'air intérieur se fera, la température des parois risque d'être légèrement plus élevée, ce qui accroît sensiblement la température de confort, sans engendrer aucune énergie supplémentaire<sup>20</sup> .

Le choix d'un mur « perfect wall » SITE amène néanmoins des défis eu égard à la position des ouvertures, à l'élargissement du mur par rapport au SIPE, aux fixations du parement extérieur qui se trouvent plus éloignées de la charpente (bras de levier), sans compter qu'il s'agit d'un assemblage novateur pour les entrepreneurs. La « faisabilité » des détails constituent ainsi un défi lors d'une construction aussi complexe que le résidentiel<sup>21</sup>.

Au-delà de toute ces considérations, l'expérience vécue par le soussigné dans le cadre d'expertises sur des systèmes conventionnels résidentiels non performants (voir photos) incitait fortement à mettre de l'avant une façon différente de penser l'enveloppe.



Assemblages types vulnérable aux dommages dus à l'eau ou aux fuites d'air  
Source : R Trempe

<sup>18</sup> La pose parfaite de la membrane constituera un gage de succès ou non, tel qu'il sera vu dans la partie portant sur la construction.

<sup>19</sup> De par sa position vers l'intérieur par rapport à l'isolant, le choix du type de revêtement intermédiaire n'est plus soumis aux risques de condensation et de contamination fongique.

<sup>20</sup> Élément qui sera discuté lors du monitoring en usage.

<sup>21</sup> La construction résidentielle, contrairement au commercial, impose toujours des charges mécaniques d'usages très lourdes, et la bonne mise en place de l'étanchéité, appuyée par des détails constructibles, est essentielle.

### 3.4 Référence techniques

L'élaboration des détails s'est appuyée sur l'expérience puisée dans d'autres projets, d'une part, mais aussi sur quelques références techniques dont certaines sont décrites ci-après et peuvent servir de repères pour réaliser des enveloppes haute-performance.

#### 3.4.1 Guide de BC Hydro

Ce guide réfère à toutes les étapes de conception, réalisation et essais des plans d'étanchéité. Souvent par le contre-exemple, il montre les pièges à éviter. Il y a très peu de détails, misant plutôt sur les objectifs à atteindre.



Figure 11- Références dans l'industrie (sources diverses)

#### 3.4.2 Guide de l'Association des entrepreneurs en revêtements muraux du Québec

Le document décrit les agencements de plans d'étanchéité possibles, leur combinaison et, par des exemples et contre-exemples, ils propose des façons de faire nouvelles appliquées à des assemblages typiques de l'industrie<sup>22</sup>.

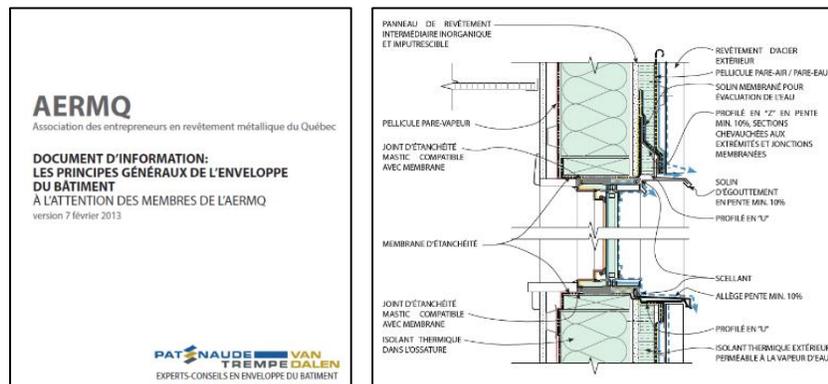


Figure 12 – Guide informatif AERMQ – Patenaude-Trempe  
Source : R.Trempe

<sup>22</sup> Le document s'adresse surtout au marché commercial mais ses propositions sont valables pour réfléchir à l'amélioration des détails de la construction en générale.

### 3.4.3 La norme A440 (NAF101)

Le guide de l'utilisateur de la norme d'installation des fenêtres permet d'aider non seulement à identifier la bonne façon de poser les éléments, par étape, mais aussi de sélectionner le type d'enveloppe en fonction des indices d'humidité, par région, tout en constituant aussi un outil d'aide à la conception, entre autres pour la disposition des plans d'étanchéité et les projections d'avant-toits.

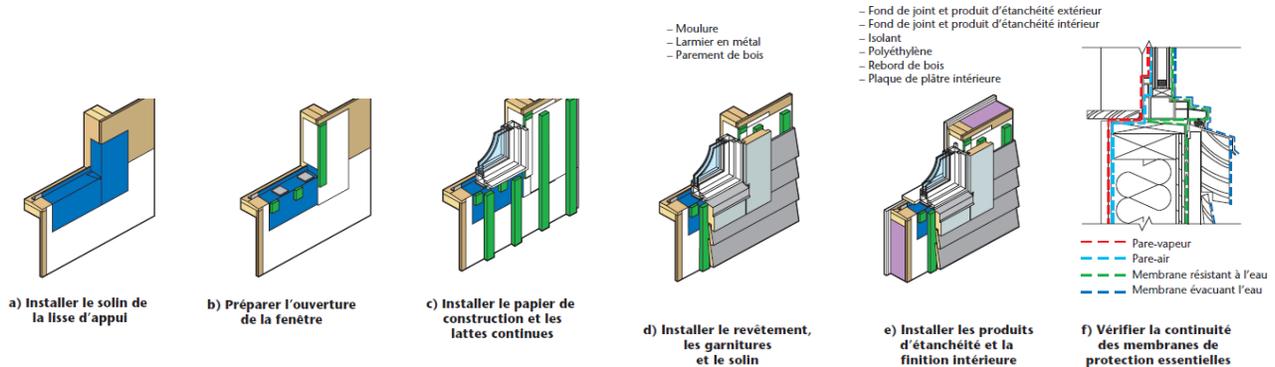


Figure A.4  
Exemple de méthode de construction d'un écran pare-pluie :  
détails d'exécution de l'appui/du jambage

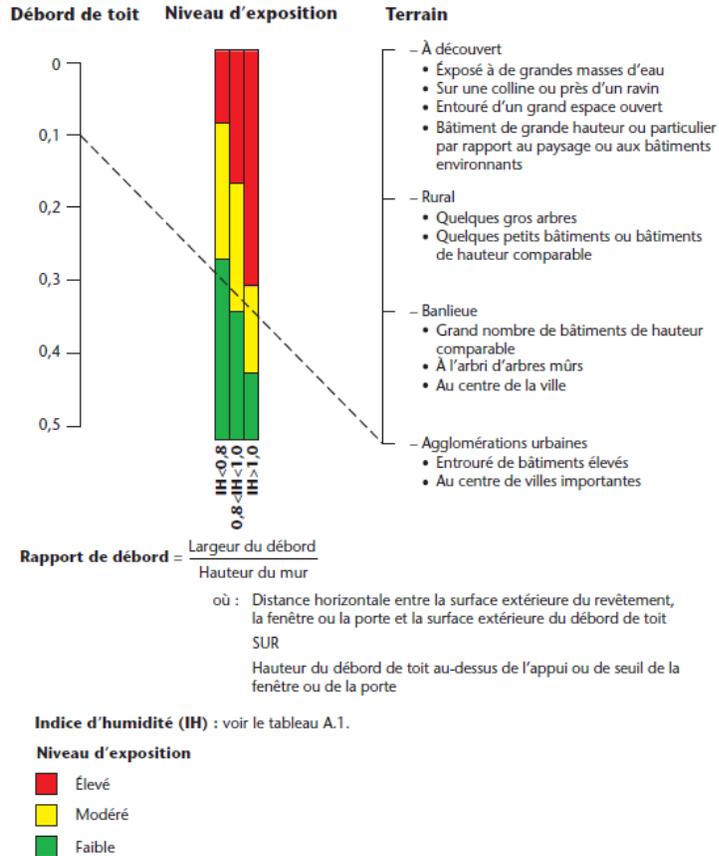


Figure 13 – Outils d'aide à la décision – Source : Guide de l'utilisateur, norme A440

### 3.4.4 Les catalogues de ponts thermiques

De nombreux organismes et entreprises ont publié ces dernières années des documents de référence proposant des assemblages pourvus de bris thermiques ou dont les séquences d'installation minimisent les ponts thermiques. Entre autres documents essentiels à l'aide à la conception :

- Cladding attachment solutions for exterior insulated commercial wall (Roxul)
- Building envelope thermal bridging guide (BC Hydro, Forintek, Morrison Hershfield)

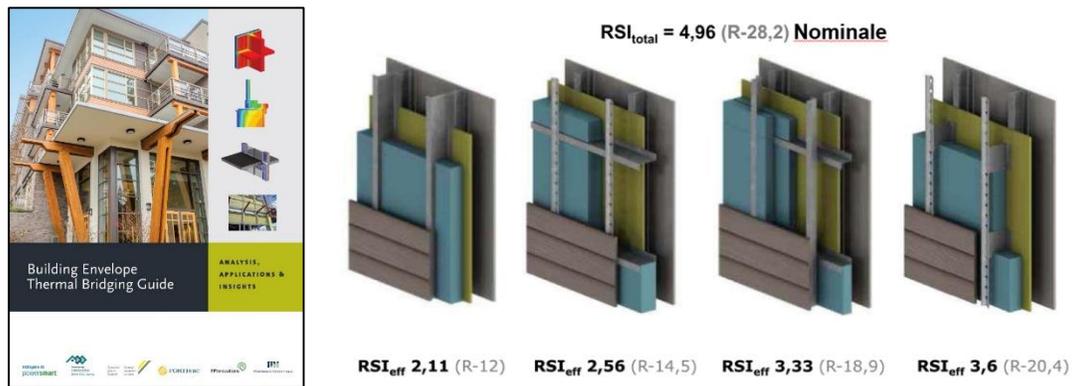
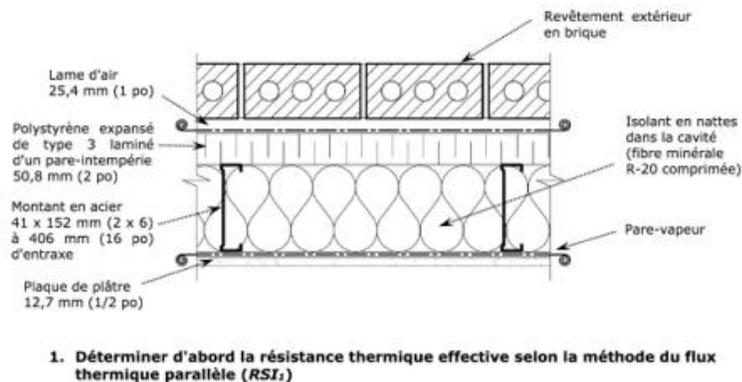


Figure 14 – Catalogue de ponts thermiques – Source : BC Hydro et als

### 3.4.5 Les codes et normes

L'élaboration des détails prend racine dans les codes et normes. A ce niveau, le code nationale canadien de l'énergie pour les bâtiments 2017<sup>23</sup> et le guide de l'utilisateur 2014 sont des repères essentiels. Au Québec, Novoclimat propose des détails et explique de façon détaillée et illustrée la démarche des résistances thermiques effectives (voir ici-bas). La Régie du bâtiment du Québec a aussi publié des guides explicatifs et autres informations en lien avec l'efficacité énergétique.



<sup>23</sup> Non en application au Québec, mais une ressource essentielle dans l'attente du code québécois actuellement en fin de révision.

Matériaux	Épaisseur * (RSI / mm)	RSI (aligné avec l'ossature)	RSI (aligné avec la cavité isolée)
Film d'air extérieur	---	0,03	0,03
Revêtement de brique (100 mm)	---	0,07	0,07
Lame d'air (25,4 mm)	---	0,18	0,18
Membrane pare-intempérie	---	---	---
Polystyrène expansé type 3 (50,8 mm)	50,8 mm * 0,030	1,52	1,52
Montants 2 x 6 en acier (152 mm)	152 mm * 0,0000161	<b>0,0024</b>	---
Fibre minérale en nattes (R-20, 152 mm)	---	---	<b>3,52</b>
Polyéthylène (pare-vapeur)	---	---	---
Plaque de plâtre (12,7 mm)	12,7 mm * 0,0061	0,08	0,08
Film d'air intérieur	---	0,12	0,12
<b>Total</b>		<b>2,00</b>	<b>5,52</b>

On obtient ainsi les valeurs suivantes :

$$RSI_{AO} = RSI 2,00 (R-11,4)$$

$$RSI_{AC} = RSI 5,52 (R-31,3)$$

Établir les pourcentages d'aire occupés par l'ossature et par la cavité isolée à l'aide du tableau 5 de l'annexe C :

$$\% \text{ aire}_{AO} = 0,77 \%$$

$$\% \text{ aire}_{AC} = 99,23 \%$$

Calculer la résistance thermique effective à l'aide de la formule du flux thermique parallèle ( $RSI_1$ ) :

$$RSI_1 = \frac{100}{\frac{0,77}{2,00} + \frac{99,23}{5,52}} = RSI 5,45 (R-31,0)$$

Figure 15 – Exemples de calcul des résistance effectives – Source : Programme Novoclimat

### 3.4.6 Les guides des plans de garantie et des associations d'entrepreneurs

Ces guides proposent de multiples détails d'assemblage, suivant le système conventionnel SIPE. Les illustrations peuvent inspirer, mais l'adaptation des détails montrés est souvent requise, car difficiles à réaliser.

L'exemple à droite montre par exemple l'enveloppement de solives au moyen de membrane textile et de scellant, ce qui apparaît être un défi difficile à réaliser au chantier. Il n'en demeure pas moins qu'il s'agit là d'illustrations fort utiles, qui servent à comprendre comment se fait la construction masse dans le résidentiel.

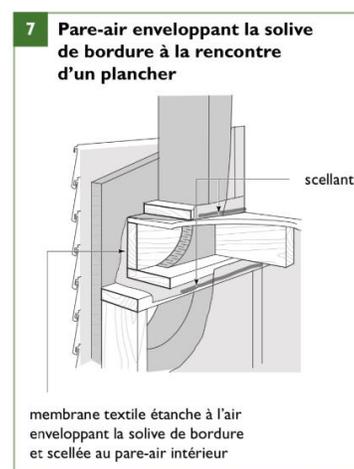


Figure 16 – Extrait de détail problématique  
Source : Association d'entrepreneurs

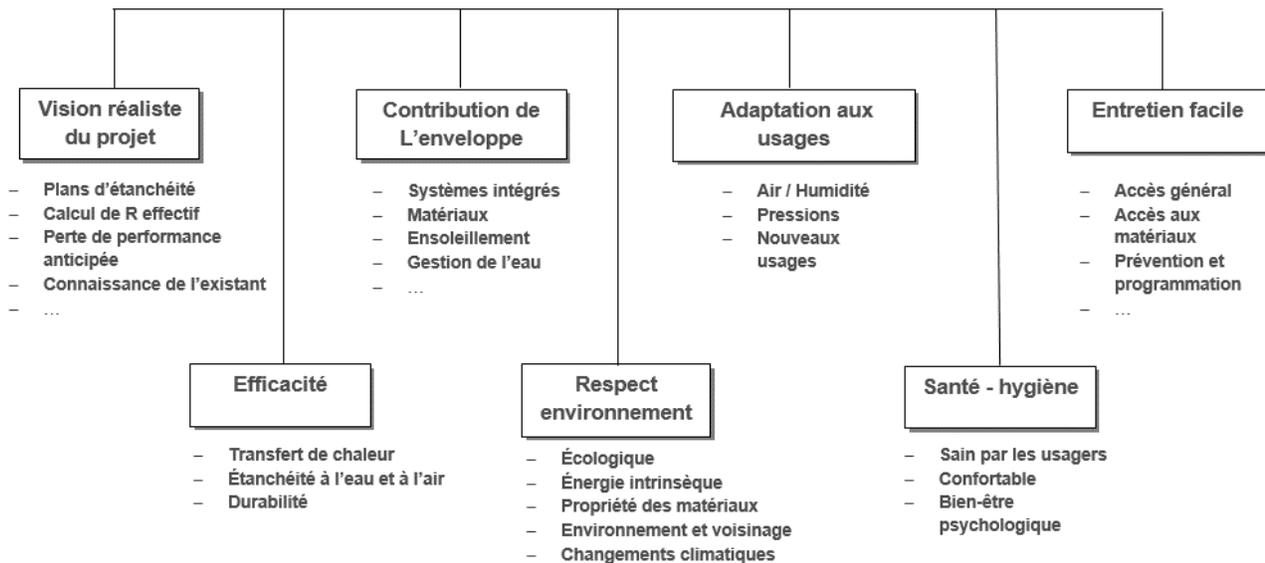
## 4. LA RÉALISATION DU PROJET

### 4.1 La haute-performance de l'enveloppe

Pour le projet d'*Auvergne laboratoire vivant*, une enveloppe SITE (perfect wall) basée sur le principe de l'écran pare-pluie a été privilégiée. L'objectif du projet était ensuite de réaliser une enveloppe haute-performance et d'en vérifier sa performance en service. De l'avis de l'auteur, la haute-performance peut être établie suivant les repères du diagramme suivant<sup>24</sup> :

**TABLEAU 3 - QU'EST-CE QUE LA HAUTE-PERFORMANCE ?**

Source : Cours CPCI par Richard Trempe



Dans le cadre du projet d'Auvergne, les attentes spécifiques quant à la performance reposaient essentiellement sur les éléments suivants :

- S'intégrer au lieu ;
- Paramétrer l'efficacité énergétique et le coût global avec comparatifs ;
- Surpasser les exigences en matière d'efficacité énergétique ;
- Assurer d'adapter le mode de vie au bâtiment (et non le contraire) ;
- Tendre, dans la mesure du possible, vers une économie ou une rentabilité eu égard à la durabilité ;
- Procurer un environnement sain ;
- Intégrer des stratégies bioclimatiques<sup>25</sup> ;
- Sélectionner si possible des matériaux écologiques, efficaces et performants ;
- Construire dans un environnement standard du marché de la construction ;
- Réaliser des assemblages résilients (capacité à surmonter les désordres) ;
- Assurer la bonne tenue de l'enveloppe en permettant la gestion de l'assèchement, par l'enveloppe elle-même, suite à des accidents, des bris ou des défaillances.

<sup>24</sup> Cours développé par le soussigné sur la performance de l'enveloppe, pour le compte du Canadian Precast Prestressed Concrete.

<sup>25</sup> L'annexe 1.6 montre certaines des stratégies bioclimatiques mises de l'avant dans le cadre de ce projet.

## 4.2 L'intégration au projet

Les actions suivantes ont été entreprises<sup>26</sup> dans l'élaboration du projet, en vue de répondre le mieux possible aux objectifs de la haute performance :

**TABLEAU 4 – INTÉGRATION DE CRITÈRES DE PERFORMANCE DANS LE PROJET**

Critères de performance identifiés	Actions entreprises
Implantation du bâtiment	- Le pavillon est implanté sur une partie en pente du terrain, permettant d'optimiser les superficies de façades du côté sud (2 étages) et minimiser l'exposition du côté nord
Orientation du bâtiment	- Orientation SSE soit l'exposition considérée comme optimale <sup>27</sup> pour les gains solaires en période hivernale
Volume du bâtiment	- Compacité optimale (forme carrée), diminuant la superficie de façade par volume intérieur <sup>28</sup>
Hauteur et profondeur des aires de vie	- Optimisation afin de pouvoir emmagasiner le maximum de gain solaire en hiver <sup>29</sup>
Séparation des aires de jour et de nuit selon l'orientation	- Aires de nuit et utilités localisées le long de la façade nord
Entrée du pavillon à l'abri du vent	- Entrée protégée, côté Est, à l'abri des vents dominants de l'Ouest
Protection contre la surchauffe et optimisation des gains solaires l'hiver	- Conservation maximale des feuillus du côté sud - Incorporation de bordure d'avant-toit empêchant le soleil de pénétrer dans les aires de vies l'été, et ce jusqu'à la mi-août (stratégie d'occultation) - Isolation optimisée et continue (régulation des ambiances intérieures)
Rentabilisation des gains solaires et efficacité des ouvertures	- Pourcentage d'ouvertures de 30%, avec concentration (plus de la moitié) sur les façades sud et ouest - Verre tripe, deux pellicule Low-e, cadrages hybrides PVC (bris thermique) recouvert d'aluminium
Aération naturelle	- Position des volets ouvrant aux endroits permettant un renouvellement d'air naturel traversant
Protection des façades contre l'eau	- Protection maximale par les bordures d'avant-toit. Aucune tête de fenêtre du rez-de-chaussée n'est exposée à la pluie, même lors de fortes pluies poussées par le vent

<sup>26</sup> Les actions indiquées ici sont de type « Low tech ». En effet, aucune dispositions active telle que le photovoltaïque, l'Éolien ou autre système de récupération d'énergie ou d'eau n'a été intégré au projet.

<sup>27</sup> Élément qui sera rediscuté lors de la modélisation énergétique (partie 6).

<sup>28</sup> Il y aurait lieu éventuellement de se questionner sur la plus-value de la compacité dans les bâtiments très étanches, d'autant plus que la compacité limite la surface d'exposition de la façade sud, qui devrait être plus élancée.

<sup>29</sup> Le projet n'a pas incorporé le concept de l'inertie thermique dans le choix des matériaux, ce point pourrait être intégré aux prochains projets, pour en vérifier l'efficacité.

### 4.3 Les détails typiques

L'annexe 1.3 reproduit quelques un des détails qui ont servis à la construction du pavillon. On notera que l'assemblage de mur a été révisé suite aux premières soumission (annexe 1.2) pour une question de coût :

- La première version comprenait une surépaisseur d'isolation du côté extérieur et une mince couche isolante acoustique entre les montants du côté intérieur. Elle offrait une Reff de 32.75 (RSI 5.78), pour un coût unitaire de 30.81\$ ;
- La version finale qui fut construite, retranchée d'un partie isolante, offre une Reff de 25.58 (RSI 4.51) représentant 22% de réduction de valeur isolante, pour un coût unitaire de 24.75\$ (réduction de 19%)<sup>30</sup>.

Tous les détails de murs de rez-de-chaussée et de fondation ont été réalisés tels que prévus sur les plans selon le système SITE, assurant ainsi une barrière continue complètement alignée, de la toiture jusqu'aux fondations. L'axonométrie qui suit montre l'assemblage (annexe 1.3), avec fixations intégrant des bris thermiques réalisés *in situ* au moyen de sections d'isolant polyisocyanurate et de pièces de bois, discontinues aux endroits stratégiques.

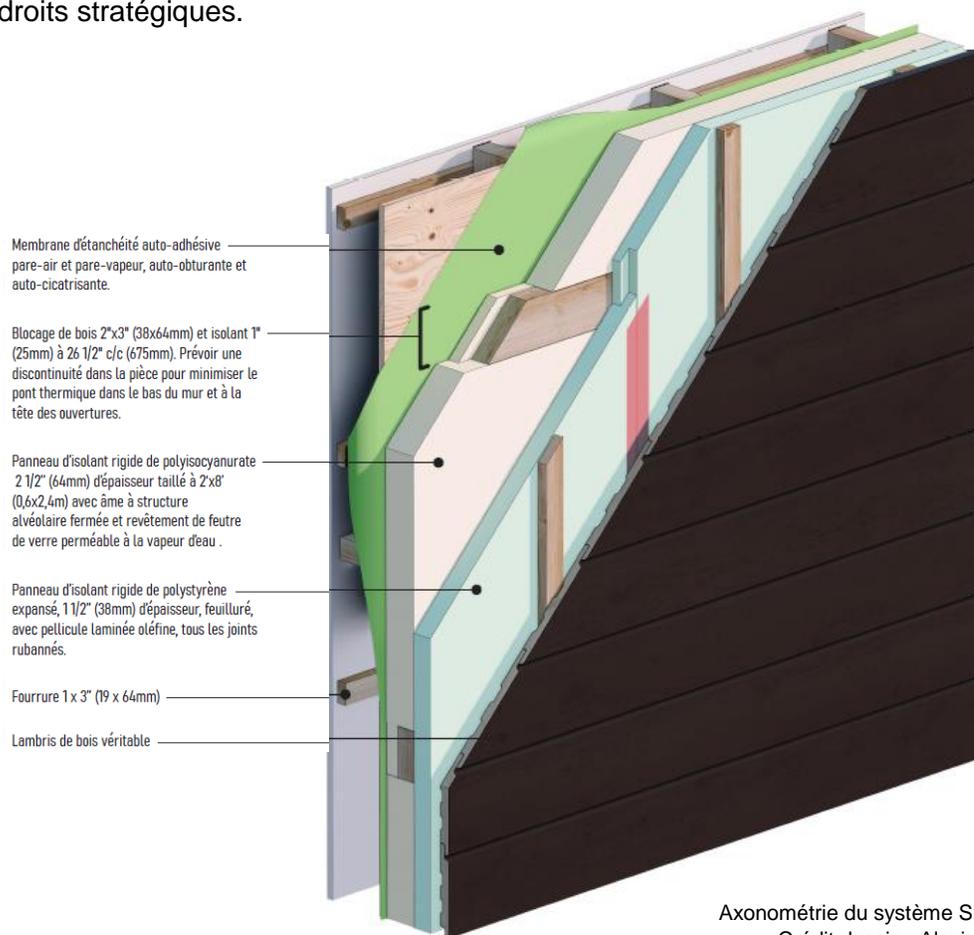


Figure 18  
Axonométrie du système SITE utilisé  
Crédit dessin : Alexis Ruelland

<sup>30</sup> On verra qu'en fait, lorsque nous incorporons l'ensemble des coûts de la construction (annexe 1.5), l'économie est négligeable par rapport à la perte d'isolation engendrée par cette décision, mais le gain énergétique n'est pas non-plus significatif si on compare avec la version initiale pourvue de la couche supplémentaire d'isolation (discuté en partie 6).

Le développement des détails a été fait en prévoyant des assemblages simples à faire, avec le moins de matériaux différents possibles (moins de pertes). Bien que des ajustements mineurs aient été faits sur place, l'ensemble fut réalisé tel que prévu.

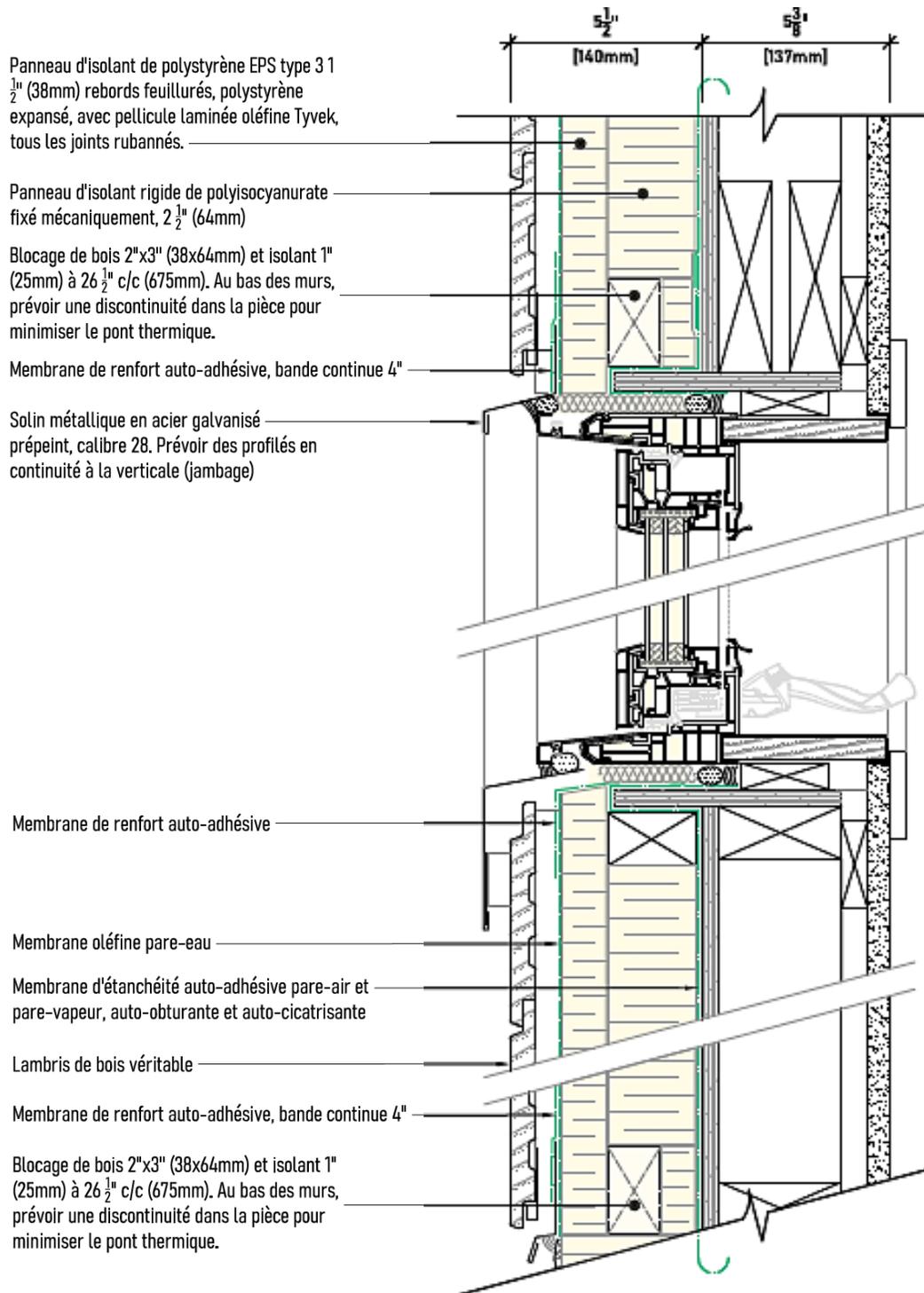


Figure 19  
Coupe de mir générale du système SITE utilisé  
Crédit dessin : Alexis Ruelland

Les éléments suivants sont à noter sur le détail :

- La fenêtre est positionnée vers l'extérieur par rapport au milieu du mur, soit dans le plan le plus important de la résistance à la chaleur donné par l'isolant, donc à l'endroit le plus optimal pour éviter de la condensation superficielle sur les vitrages intérieurs et des pertes de chaleur en son périmètre<sup>31</sup> ;
- La pose d'une membrane d'oléfine *pare-intempérie* sur la face donnant vers l'intérieur de la cavité murale agit comme protection supplémentaire en plus du *pare-eau* dissimulé derrière l'isolation ;
- Les bris thermiques sont prévus partout où des supports en bois sont requis pour reprendre les charges de cisaillement du parement extérieur ;
- La continuité de l'étanchéité autour de la fenêtre est assurée par de l'uréthane à faible coefficient d'expansion, mais aussi par un scellant du côté intérieur de l'assemblage.

Les plans d'étanchéité du système développé ont été dessinés sur le croquis suivant et permettent de mieux saisir la simplicité de l'installation et du fonctionnement. On prendra note du 3<sup>e</sup> éléments ajouté au niveau de l'étanchéité à l'eau, le « pare-intempérie » pour protéger l'assemblage de toute incursion d'humidité.

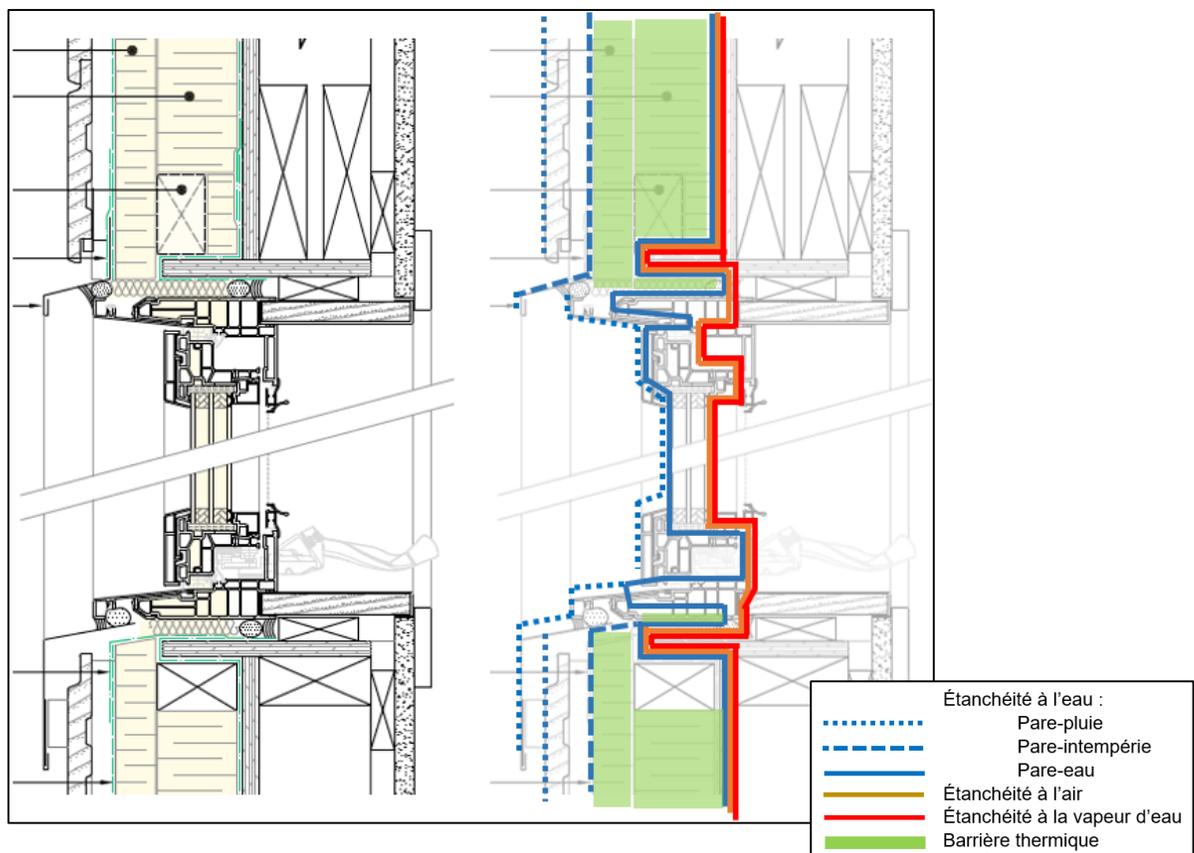


Figure 20 - Localisation des plans d'étanchéité sur la coupe de mur typique (R.Trempe)

<sup>31</sup> Élément vérifié au monitoring électronique.

Le détail de toiture est quant à lui basé sur un système « sandwich » sans aucune aération. La décision de ne pas aérer la partie supérieure froide fut prise pour éviter une surépaisseur de la toiture, après s'être assuré au moyen de simulations qu'un tel système était viable. La bonne performance était entre autres autre assurée par une membrane bicouche et un pare-vapeur auto-cicatrisant en bitume modifié<sup>32</sup>.

Les bordures de toits ont été isolées pour minimiser les pertes de chaleur, et par endroits, des quantités supplémentaires d'isolant ont été posés (couleur jaune sur le détail ici-bas) afin d'en comparer la performance, à l'étape du monitoring électronique.

On pourra se référer à l'annexe 1.3 pour une vue agrandie des détails qui ont servis à la construction.

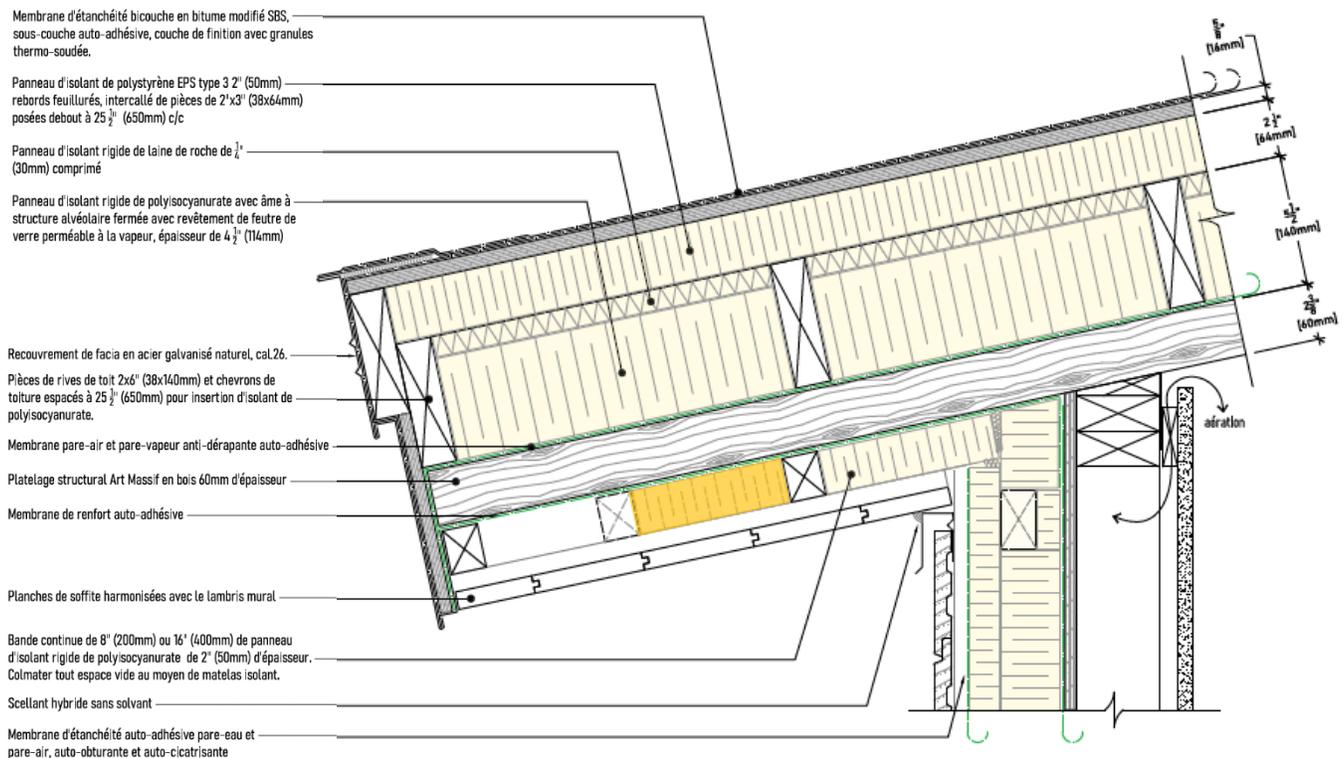


Figure 21 -Détail de toiture à la rive et jonction avec le mur  
Crédit dessin : Alexis Ruelland

#### 4.4 Calcul des résistances thermiques

On trouvera en annexe 1.4 les tables complètes de calcul des résistances thermiques, avec identification des matériaux. Le tableau de la page suivante dresse un sommaire des résistances calculées.

<sup>32</sup> Le choix du type de toiture n'a pas fait l'objet d'analyses comparatives aussi poussées que pour les murs. Le monitoring en service a permis de constater certaines faiblesses d'un tel système quant à la gestion des eaux et de la glace en période hivernal, éléments qui seront discutées aux parties 4 et 5.

**TABLEAU 5**  
**Résistances thermiques des composantes de l'enveloppe**

		Résistances thermiques		
		Plans et construction	Référence RBQ Partie 11	Référence Novoclimat (actuel)
<b>MURS HORS SOL</b> <sup>33</sup>	R <sub>nominal</sub>	4,67	4,31	-
	R <sub>effectif</sub>	4,51	3,70	4,14
<b>MURS FONDATIONS</b>	R <sub>nominal</sub>	3,25	2,99	-
	R <sub>effectif</sub>	3,25	2,82	3,17
<b>TOITURE</b>	R <sub>nominal</sub>	8,21	7,22	-
	R <sub>effectif</sub>	6,97	-	7,22

Bien que les assemblages, au niveau de l'isolation, rencontrent les exigences RBQ en matière de résistance effective, c'est-à-dire qui tient compte de la présence des ponts thermiques<sup>34</sup> dans l'assemblage, il y aurait lieu de se questionner sur la plus-value d'ajouter ou non encore plus d'isolant.

En effet, les estimés contenus dans l'annexe 1.5 montre une augmentation des coûts unitaires au pi<sup>2</sup> du système, plus isolé (comme prévu initialement) de 24.73\$ à 30.31\$. Cette augmentation de 20%, lorsqu'intégrée au projet global, est toutefois réduite considérablement, soit 3% d'augmentation.

#### 4.5 Simulation des détails

La vérification du bon fonctionnement théorique a été faite au moyen d'un logiciel permettant d'évaluer le potentiel de condensation, de mouillage et de dégradation dans une durée de temps. Le logiciel en question, WUFI PRO 6.3, peut ainsi anticiper les risques au courant des années suivant la construction<sup>35</sup>, et non pas seulement de façon simultanée comme les logiciels de base couramment utilisés (Condense, Ham,...). Dans le présent cas, l'analyse a simulé le comportement sur une période de 10 ans suivant la construction.

On trouvera en annexe 4 le rapport préparé à cet effet par l'ingénieur Charles Beaulé.

<sup>33</sup> On notera que le détail initial, qui comprenait une surépaisseur d'isolation, aurait largement dépasser la résistance nominale en référence.

<sup>34</sup> Un pont thermique est une zone ponctuelle ou linéaire qui, dans l'enveloppe d'un bâtiment, présente une variation de résistance thermique. Il s'agit d'un point de la construction où la barrière isolante est rompue. Un pont thermique est entre autre créé s'il y a changement de la géométrie de l'enveloppe, s'il y a changement de matériaux et ou de résistance thermique, ou s'il y a une discontinuité de l'isolant à travers la paroi ou la jonction mur-sol / mur-toiture (source Wikipédia).

<sup>35</sup> Le logiciel WUFI PRO permet de simuler, sur plusieurs années, le transfert transitoire unidimensionnel de chaleur et d'humidité dans une composition d'enveloppe modélisée.

#### 4.5.1 Description et propriétés des matériaux utilisés

Les matériaux utilisés pour la simulation reprennent ceux prescrits sur les plans et qui furent utilisés lors de la construction, avec les précisions suivantes, de l'extérieur vers l'intérieur :

- Parement de bois massif (pin blanc de l'est) d'une épaisseur de 20 mm, protégé par une teinture hydrofuge appliquée en face extérieure ;
- Espace d'air d'une profondeur de 20 mm (cavité murale extérieure), drainé et ventilé (ventilation avec de l'air venant de l'extérieur, à un taux fixé à 5 changements d'air à l'heure pour les simulations) ;
- Panneau isolant de type Isoclad comprenant :
  - o Une membrane pare-intempéries de type TYVEK (pare-vent/pare pluie, ce qui représente une perméance à la vapeur d'eau de l'ordre de 2000 ng/Pa.s.m<sup>2</sup>). Cette membrane est laminée en face extérieure du panneau d'isolant ;
  - o Un panneau de polystyrène expansé EPS d'une épaisseur de 38,1 mm ;
- Isolation de polyisocyanurate, d'une épaisseur de 63,5 mm ;
- Membrane d'étanchéité autocollante de bitume élastomère pare-air/pare vapeur (frein vapeur 0,1 perm, ce qui représente une perméance à la vapeur d'eau de 5.7 ng/Pa.s.m<sup>2</sup>) ;
- Revêtement intermédiaire composé d'un panneau de contreplaqué de 13mm ;
- Espace d'air d'une profondeur de 140 mm ;
- Panneau de gypse intérieur de 12,7 mm d'épaisseur.

La toiture tel que montrée à la section 4.3 a été modélisée comme suit :

- Membrane bicouche de bitume élastomère ;
- Panneau de support en contreplaqué de grade extérieur, d'une épaisseur de 16 mm ;
- Isolant rigide de polystyrène expansé d'une épaisseur de 63,5 mm<sup>36</sup> ;
- Isolant de laine de roche (CONFORBOARD 110 de Rockwool) d'une épaisseur de 31,8mm ;
- Isolant de polyisocyanurate d'une épaisseur de 114,3 mm ;
- Membrane d'étanchéité autocollante de bitume élastomère pare-vapeur de type LASTOBOND (membrane freine-vapeur d'une perméance de 2,1ng/Pa.S.m<sup>2</sup>)
- Pontage structural CLT Art Massif (pin blanc de l'est) d'une épaisseur de 60 mm.

L'inclinaison de la composition de toiture a été fixée à 11° pour la modélisation et correspond à ce qui a été construit.

#### 4.5.2 Analyse du rapport de simulation

Les tableaux 1 et 2 du rapport de simulation (annexe 4) montrent, pour chaque matériau, et selon chaque condition météorologique, La captation et l'assèchement de l'humidité,

---

<sup>36</sup> Remplacé au chantier pour des raisons d'approvisionnement de laine de roche, La densité et la résistance thermique sont similaires, pour les fins de la simulation.

de même que le risque de croissance fongique, et ce au fil des saisons (cycles de mouillage / assèchement et chaud / froid).

Cas	Composantes	Maximum atteint de la moyenne sur 30 jours de l'humidité relative, et nombre de jours où cette moyenne sur 30 jours dépasse 80%				Indice fongique maximale calculé	
		Face extérieure		Face intérieure		Face extérieure	Face intérieure
		%	Nombre de jours	%	Nombre de jours		
Humidité initiale : <u>EMC80</u> Sans infiltration d'eau dans la cavité	Parement de bois	83,8	49 jours / an (490 jours total)	79,6	0	0	0
	Membrane Tyvek	76,4	0	77,2	0	0	0
	Polystyrène expansé	77,3	0	73,7	0	0	0
	Polysocyanurate	71,7	0	63,4	0	0	0
	Pare-air / Pare-vapeur	64,7	0	76,4	0	0	0
	Contreplaqué	77,3	0	72,2	0	0	0
	Gypse intérieur	71,0	0	70,8	0	0	0

Figure 22 – Exemple d'évaluation de l'Indice de contamination fongique, extrait tableau 1  
Source : Rapport préparé par Charles Beaulé (annexe 4)

On trouvera aussi en annexe au rapport de simulation plusieurs diagrammes qui aident à comprendre les variations des températures et d'humidité à la première année (alors que les matériaux habituellement sont plus humides), puis sur dix ans. Les diagrammes reproduits ici-bas relèvent d'une période d'un an.

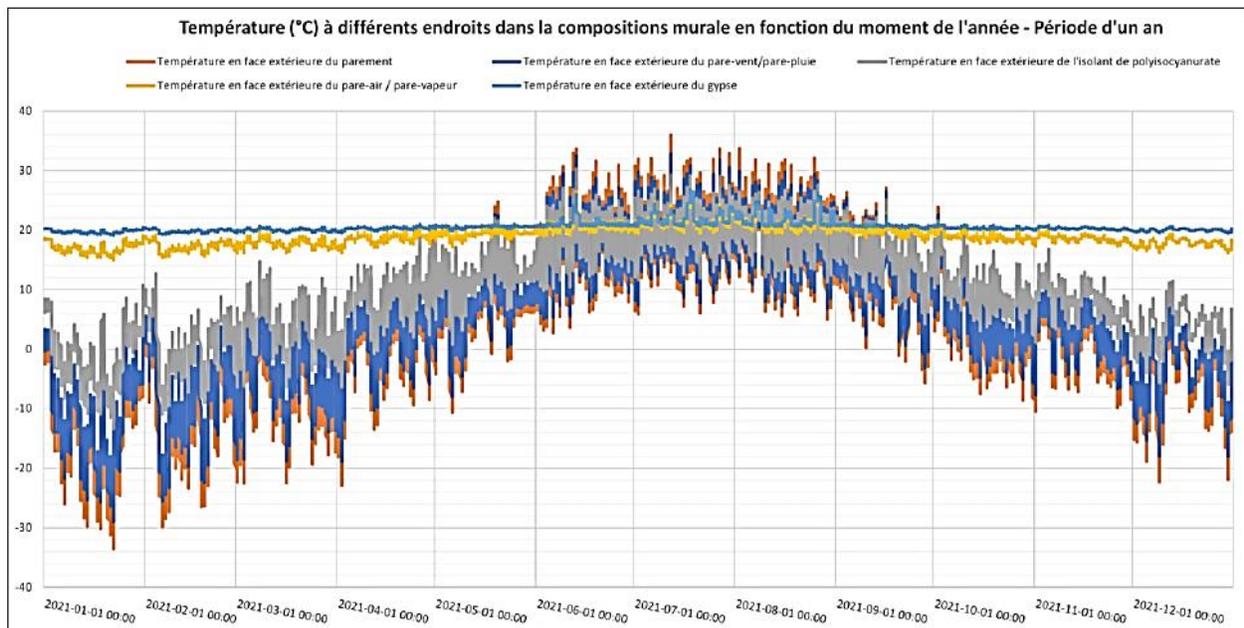


Figure 23 – Diagramme des températures dans les murs  
Source : Rapport préparé par Charles Beaulé (annexe 4)

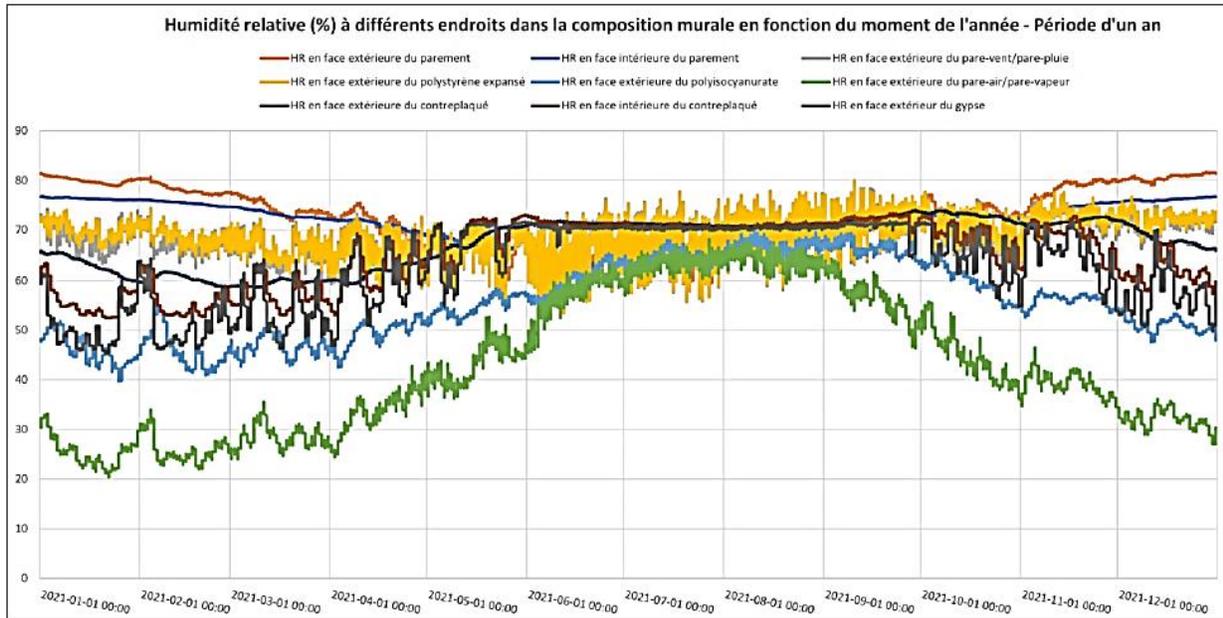


Figure 24 – Diagramme des humidités relatives dans les murs  
Source : Rapport préparé par Charles Beaulé (annexe 4)

La teneur en eau dans les matériaux susceptibles d'être affectés fait aussi l'objet de l'étude, tel que montré ici.

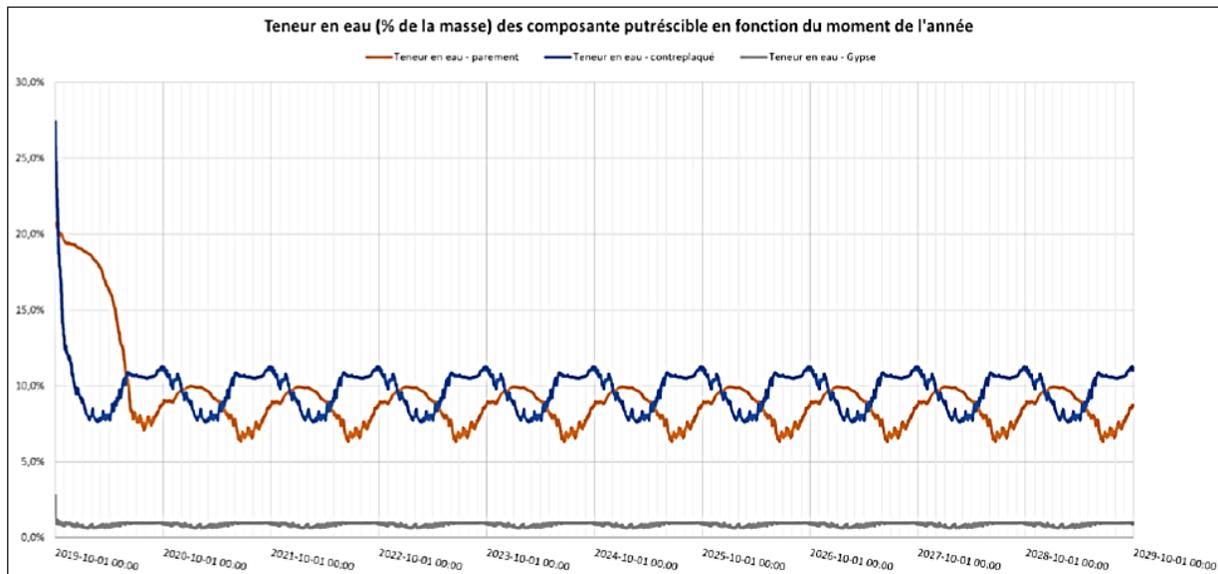


Figure 25 – teneur en eau des composants putrescibles  
Source : Rapport préparé par Charles Beaulé (annexe 4)

Suite aux simulations du mur et de la toiture typique du pavillon d'Auvergne, le rapport conclut à une bonne performance attendue du système, particulièrement au niveau du mur, en raison du positionnement vers l'extérieur de l'isolation, donc de toute matière principale putrescible conservées dans des zones chaudes, du côté « intérieur » par

rapport à la température théorique de rosée. Quant à la toiture, des risques inhérents à la composition en sandwich sont indiqués, tel que stipulé ci-après.

### .1 Le mur typique

*« Les résultats des simulations ont démontré que la composition murale typique offre théoriquement de bonnes performances hygrothermiques. Les composantes intra murales sont efficacement protégées des sources d'humidité venant de l'intérieur (charge d'humidité maintenue dans les ambiances intérieures) et de l'extérieur (charge d'humidité ambiante et intempéries) et les risques de problèmes d'humidité sont faibles.*

*La composition murale possède un bon pouvoir d'assèchement<sup>37</sup>, ce qui permet de limiter les risques associés à une humidité initiale de construction élevée dans les matériaux de même que les risques associés à toute source d'humidité supplémentaire dans la composition, qu'elle soit entraînée par des mouvements d'air humide au travers de l'enveloppe ou par des infiltrations d'eau.*

*Le positionnement du plan d'isolation, puis de l'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau sur un même plan, entièrement du côté extérieur du revêtement intermédiaire et de l'ossature murale, fait en sorte que l'essentiel du mur est en permanence au chaud, a la possibilité de s'assécher facilement vers l'intérieur et est bien protégé des sources d'humidité venant de l'extérieur.*

*Du côté extérieur du plan d'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau, les matériaux sont protégés par un pare-intempéries offrant une bonne perméance à la vapeur d'eau, donc qui permet un certain assèchement de ces matériaux vers l'extérieur. En présence d'une cavité murale bien drainée et ventilée et d'un parement en bonne condition (incluant la teinture extérieure), les risques de problèmes d'humidité y sont aussi faibles.*

*Cependant, considérant que les parements extérieurs sont exposés aux intempéries, que la présence d'eau est possible dans la cavité murale et que les taux d'humidité relative dans le plan d'isolation sont plus élevés sur de plus longues périodes de temps et plus on se déplace vers l'extérieur de la composition, les risques de problèmes d'humidité sont plus élevés du côté extérieur du plan d'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau qu'ils le sont de son côté intérieur.*

*Il est donc de bonne pratique d'utiliser des matériaux résistants à l'humidité au niveau des parements extérieurs, de la cavité murale extérieure et du plan d'isolation. L'utilisation d'éléments métalliques (essentiellement vis et clous) traités contre la corrosion et d'éléments de bois traités contre la moisissure limiterait donc davantage les risques de problèmes d'humidité. »*

---

<sup>37</sup> Les passages soulignés sont du soussigné.

## .2 La toiture

« La capacité d'assèchement [...] est très faible. Par conséquent, l'utilisation de matériaux humides et/ou la manifestation d'infiltrations d'eau lors de la construction de l'ouvrage peuvent entraîner des problèmes d'humidité importants, dont la pourriture du panneau de support en contreplaqué.

Par contre, si l'humidité initiale de construction demeure faible (EMC80), les risques de croissance fongique sont faibles dans la composition de toiture. De plus, si les fixations et autres éléments métalliques utilisés dans la composition sont traités contre la corrosion, les risques de corrosion sont aussi faibles. Lors de la construction d'un tel assemblage, une attention particulière doit donc être portée à l'utilisation de matériaux qui soient les plus secs possible et à la protection des ouvrages contre les intempéries, et ce, pendant toute la durée des travaux. »<sup>38</sup>

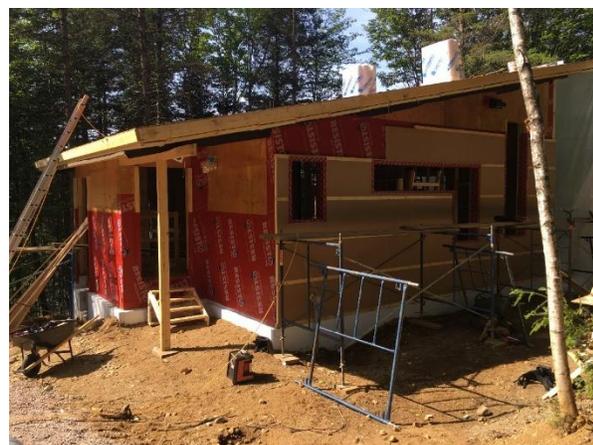
## 4.6 Les travaux

Les travaux ont été réalisés au cours du printemps et de l'été 2019. L'annexe 2 montre certaines photographies, dont celles montrées ici-bas ont été tirées.

Façade nord : panneaux de revêtement intermédiaires (contreplaqué) finalisés et pose du système SITE en fondation, soit une membrane élastomère auto-adhésive sur le béton, et panneau isolant 100mm EPS (polystyrène contenant 95% d'air et gonflé à l'eau).



Même façade, alors que la membrane pare-air/vapeur (étanche aussi à l'eau) sert de protection au bâti durant les travaux. La pose de l'isolant de polyisocyanurate a débuté, de même que l'intégration des bris thermiques horizontaux.



<sup>38</sup> Voir conclusion du rapport de simulation de l'ingénieur Charles Beaulé (annexe 4) pages 18-19

Coin nord-ouest, une vue agrandie de l'installation :

- Périmètre de fenêtre ressorti par rapport au contreplaqué mural et continuité totale des membranes pare-air / vapeur (rouge) ;
- Pose graduelle de l'isolant, avec bris thermique (bandes d'isolant) derrière les fonds de clouage en bois pour l'isolant final et le parement ;
- Derrière l'isolant des fondations, la membrane d'étanchéité (non-visible ici) est en continuité totale avec celle des murs (rouge), le tout recouvert d'isolation, éliminant tout pont thermique au droit du plancher.



Ci-contre : protection temporaire du côté ouest, vents dominants. Ce type de précaution est rarement mis en place, et l'infiltration d'eau résultant des travaux de construction est dommageable lorsque l'assèchement est difficile.

A droite en bas, un étrier fabriqué sur mesure<sup>39</sup> pour limiter au maximum la surface d'appui en acier sur les fondations, et permettant d'éloigner le platelage des galeries du parement mural extérieur (circulation de l'air et de l'eau pour assurer une durabilité aux éléments).

A gauche en bas, application du scellant autour des ouvertures, par l'intérieur, faisant office de continuité pare-air et pare-vapeur

Jambage Fenêtre  
Scellant  
Membrane de jambage  
Mur



<sup>39</sup> Les étriers existants sur le marché ne répondaient pas aux exigences de coupure thermique et de distanciation des galeries par rapport aux murs (écoulement à la jonction avec les murs). Des recherches plus poussées sont nécessaires pour éventuellement trouver des éléments usinés, à moindre coût.

## 5. LA PERFORMANCE EN SERVICE

Suite à la construction, le projet de recherche s'est orienté vers l'analyse de la performance en service, afin de vérifier si la construction répondait bien aux attentes, et, le cas échéant, quelles pourraient être les améliorations à apporter. Cette étape majeure a pris forme au moyen de différents outils de vérifications, dont :

- Un essai en infiltrométrie pour quantifier le taux de fuite d'air par l'enveloppe ;
- Le suivi en continu des conditions hygrothermiques dans les murs et la toiture ;
- La vérification et la comparaison du comportement d'assemblages précis tels que les bris thermiques en bordure d'avant-toit ;
- Un relevé d'occupation des lieux et le suivi d'activités précises ;
- L'évaluation des températures ressenties et des températures des parois<sup>40</sup> ;
- L'étude de projection du soleil dans les aires de vie (en cours)<sup>41</sup> ;
- Une thermographie en hiver pour évaluer les pertes de chaleur et les fuites d'air ;
- Un suivi régulier des accumulations de neige, glace et glaçons au toit (en cours)<sup>42</sup>.

Le détail de ces vérifications a fait l'objet de rapports. Le sommaire de chacune d'elle sera présenté dans la présente partie.

### 5.1 Test d'infiltrométrie

Se référer à l'annexe 6. Le test a été réalisé le 12 septembre 2019<sup>43</sup>. Conformément aux procédures, le bâtiment a été mis sous pression négative de 50Pa (équivalant à des vents de l'ordre de 33km/heure). Le résultat, qui consiste à donner le taux de changement d'air impacté par les fuites à travers l'enveloppe, surpasse ici largement les exigences, comme le montre cet extrait tiré du rapport d'infiltrométrie :

Maintenant que la méthodologie est expliquée, voici les résultats obtenus. Lors de notre passage, nous avons mesuré un taux de :

**0.62 CAH@50Pa** (changement d'air à l'heure à 50 pascals).

Il faut comprendre que plus le taux est bas, plus la maison a une bonne étanchéité à l'air. Voici des moyennes pour comparer le taux de votre maison à celles de la province :

Maison Novoclimat 1 :	maximum 2,50 CAH@50Pa
<b>Maison Novoclimat 2.0 :</b>	<b>maximum 1,50 CAH@50Pa et jumelé 2,00 CAH@50Pa</b>
Maison récente :	3,57 CAH@50Pa
Maison :	4,55 CAH@50Pa
Maison ancienne :	supérieur à 6,00 CAH@50Pa

Figure 26 – Résultats de l'essai en infiltrométrie – Source rapport De Vinci (annexe 6)

<sup>40</sup> Étude complémentaire en réalisation, qui s'est ajoutée en cours d'analyse.

<sup>41</sup> Étude complémentaire en réalisation, qui s'est ajoutée en cours d'analyse.

<sup>42</sup> Étude non-prévue en cours de réalisation, qui s'est ajoutée en cours d'analyse

<sup>43</sup> Le foyer et la cheminée n'étaient pas encore installés à cette date.

Préalablement aux mesures finales, une tournée de l'ensemble des murs, de l'intérieur, avait été réalisée par l'évaluateur et le soussigné, afin de détecter toute fuite importante sous pression négative. Nous avons détecté une fuite significative à la base d'une porte extérieure au sous-sol<sup>44</sup>, fuite qui a été colmatée définitivement avant l'atteinte du niveau de 0,65CAH<sup>45</sup>.

L'évaluateur Jerry Lapointe a procédé à certaines simulations d'économie d'énergie au moyen du logiciel Hot-2000 afin de quantifier ce que pourrait représenter le coût d'énergie engendré par les fuites à 0,65CAH, soit 50.68\$ par années. Mais compte tenu que le taux de fuite est beaucoup plus bas que le taux maximal requise dans Novo climat<sup>46</sup>, il s'agirait en fait d'une économie d'environ 112.00\$ par année, en comparaison aux standards dans le marché actuel édictés par les critères de Novo climat.



Installation du ventilateur, porte principale  
12 septembre 2019 (photo R Trempe)

## 5.2 Thermographie

La thermographie a été réalisée dans la nuit du 11 au 12 février 2020, par Simon Bélanger, T.P. en collaboration avec le soussigné. S'inspirant des procédures DDN (voir annexe 7.2)<sup>47</sup>, elle constitue une appréciation qualitative qui se déroule en trois étapes : d'abord en condition normale, puis en dépressurisation, et enfin en pressurisation. Cette façon de faire, bien que très longue, permet de mieux cibler les faiblesses et distinguer clairement les fuites d'air des ponts thermiques.

L'ensemble des thermogrammes est reproduit en partie 7.1 de l'annexe 7.

*« De façon générale, l'ensemble des murs performe tel que prévu, sans fuite substantielle (confirmant les données obtenues en infiltrométrie) ni pont thermique récurrent sur les grandes surfaces de mur. Sur ce point, Il semble donc que les bris thermiques que l'on retrouve tout le long des murs extérieurs (bois sur bande de polysiocyanurate) soient*

<sup>44</sup> Avant de colmater cette fuite, le taux de renouvellement d'air a été mesuré à 0,73 CAH.

<sup>45</sup> Il apparaît très difficile d'atteindre un niveau plus bas, les fuites résiduelles provenant des portes et portes fenêtres proprement dites, ou encore des pourtours d'équipement.

<sup>46</sup> Le nombre obtenu, 0,65CAH se rapproche des critères de Passive Haus (0,60CAH).

<sup>47</sup> La première page de l'annexe 7.1 indique aussi les paramètres spécifiques dans lesquels la thermographie a été réalisée.

*satisfaisants*<sup>48</sup>. » Néanmoins, plusieurs anomalies ont été détectées. Certains thermogrammes tirés de l'annexe 7 sont reproduits à cet effet, ci-après :

#### T-11

La jonction poutre-mur performe bien sauf à quelques endroits où de l'air semble circuler. L'hypothèse de la forme du pontage de bois CLT, avec de minces encavures, qui empêcheraient sporadiquement la membrane d'épouser parfaitement cette forme, est avancée.

#### T-15

Sous la galerie de l'entrée principale, on note des anomalies aux joints d'isolant de fondation (les joints ne sont pas encore scellés et la finition extérieur reste à faire). L'air provient d'une exfiltration soit au niveau d'une grille de retour d'air à proximité ou d'une défaillance ponctuelle de jonction de membrane. On remarque aussi que les étriers métalliques, quoiqu'ayant fait l'objet d'une fabrication sensible aux pertes de chaleur par l'acier, constituent une faiblesse dans l'ensemble.

#### T-53

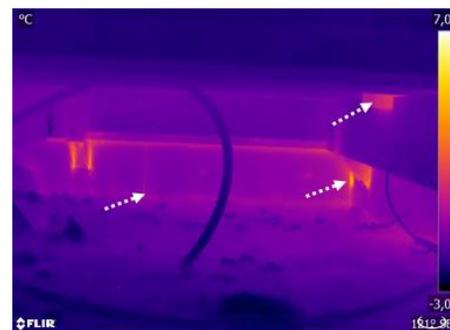
La jonction mur-toit, au retour d'angle de deux murs, est complexe à réaliser et la fuite d'air observée à cet endroit en est la démonstration. Dans le projet, la membrane qui fait l'étanchéité est très performante mais pas nécessairement facile à poser dans les angles (besoin de goussets, représentant une couche supplémentaire qui peut créer des pailles). Voir T-75 pour une vue intérieure (annexe 7).

#### T-67

La démarcation mur-plafond est en fait l'ouverture libre laissée volontairement au-dessus du gypse pour des raisons esthétiques. Ce secteur plus froid (1°C) peut être occasionné par l'air plus froid qui est contenu dans la cavité murale derrière le gypse, et/ou de l'air intérieur qui est habituellement plus stagnante au niveau des changements de plan dans l'enveloppe.



T-11: ( $\Delta P+$ ) Exfiltration d'air mineure à la jonction poutre/mur (voir aussi thermogrammes intérieurs T-63).



T-15: ( $\Delta P+$ ) Exfiltration d'air mineure entre les feuilles d'isolant rigide recouvrant le béton coulé de la fondation. L'air peut provenir d'un assemblage adjacent et sa provenance n'a pas été identifié sur place.



T-53: ( $\Delta P+$ ) Exfiltration d'air mineure à la jonction de l'enveloppe verticale et la toiture



T-67: ( $\Delta P-$ ) Mouvements d'air mineurs à la jonction de l'enveloppe verticale et la toiture.

<sup>48</sup> Cet élément sera documenté avec le monitoring électronique.

### T-71

Condition typique de fenêtre. Avec le triple verre et le type de fenêtre, aucune condensation n'a été observée de tout l'hiver, sauf dans la salle d'eau, lors de l'usage de la douche, sous une température extérieure de  $-18^{\circ}\text{C}$ . Les anomalies sont observables et elles contribuent au taux de 0,65CAH mesuré lors de l'infiltrométrie.

### T-75

Trois conditions observables sur cette photo :

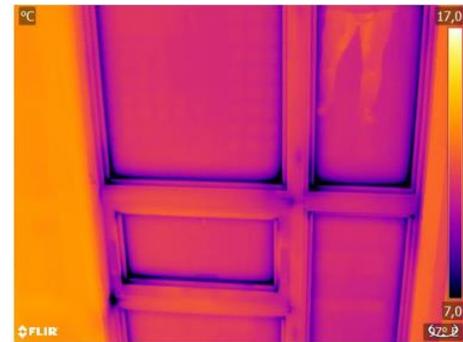
- la jonction mur-toit avec 2 angles de murs confirme le défi à étancher ces jonctions ;
- le coin supérieur d'une fenêtre fuit légèrement (étanchéité qui aurait dû être assurée par le cordon de scellement) ;
- démarcation linéaire le long du haut du mur, pouvant être causé par la configuration (T67) mais aussi par l'anomalie du coin d'angle de mur.

### T-129

La thermographie permet aussi de détecter des anomalies autres que celles recherchées dans l'investigation. Au droit du tuyau d'évent (cylindre foncé), à la jonction avec le plafond, on remarque une zone noire (refroidissement de l'évent) qui pourrait être dû à une discontinuité de la membrane pare-vapeur ou une de ses sections arrachées. Cette anomalie est à corriger car elle provoque des retours de mauvaise odeur lorsque la maison est mise en pression négative (séchoir, hotte de cuisine), et pourrait éventuellement être source de condensation.

### T-151

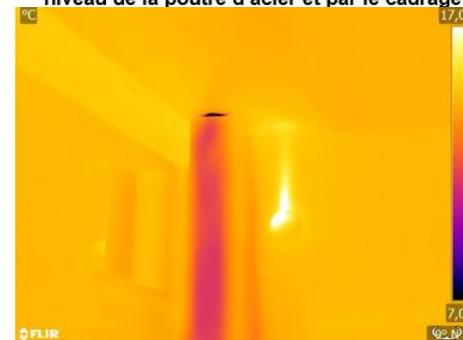
Fenêtre au sous-sol : anomalie au-dessus d'une fenêtre, dont le cause est inconnue et cadre supérieur qui fuit, à l'endroit où l'étanchéité est assurée par un cordon de scellement.



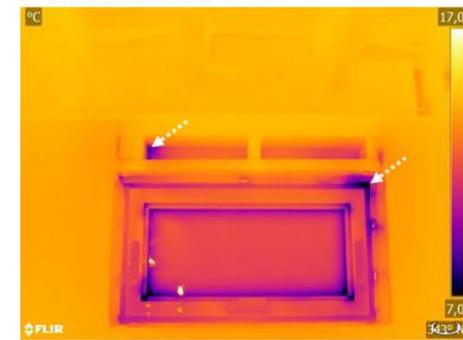
T-71: ( $\Delta P$ -) Mouvements d'air par l'assemblage du cadrage et par les coins des vitrages.



T-75: ( $\Delta P$ -) Mouvements d'air à la jonction de l'enveloppe verticale et de la toiture, au niveau de la poutre d'acier et par le cadrage



T-129: ( $\Delta P$ -) Mouvement d'air et/ou anomalie thermique au droit de l'évent de plomberie. Cause inconnue.



T-151: ( $\Delta P$ -) Mouvements d'air au périmètre et par le cadrage de fenêtre, ainsi qu'en partie courante de l'enveloppe au-dessus de celle-ci.

La thermographie a pu confirmer que les anomalies relevées, que ce soit des fuites d'air ou des ponts thermiques, sont ponctuelles. Elles sont ici mises en évidence sur les thermogrammes par l'échelle des températures calibrées sur les photos, permettant de mieux comprendre les phénomènes.

Quoi qu'il en soit, une réflexion se fera sur certaines façons de faire, qui pourraient être améliorées dans les projets futurs, notamment :

- Aux jonctions entre la toiture et les angles de murs ;
- A la jonction mur-toit, afin que l'étanchéité puisse parfaitement épouser les petites encavures du pontage de bois CLT ;
- Aux intersections cadre de fenêtre / murs, alors qu'un scellant (et de l'uréthane) assurent l'étanchéité actuellement mais avec des manques sporadiques ;
- Au périmètre des conduits traversant l'enveloppe (conduits de mécanique et de plomberie).

Quant aux ponts thermiques créés par les étriers, le nombre limité de ceux-ci ne justifierait pas nécessairement d'en augmenter les coûts de fabrication pour les améliorer encore, d'autant plus que les pertes de chaleur réelles semblent minimales par rapport à la tenue de l'ensemble des murs. De surcroît, des éléments préfabriqués seraient souhaitables.

### 5.3 Monitoring

Contrairement aux autres essais précités qui nous révèle un *état* (un relevé effectué dans un temps précis), le monitoring de l'enveloppe est enregistré en continu, et ce depuis le mois de septembre dernier. On parle alors d'une vérification de la *performance* car les conclusions que nous en tirons sont faites en lien avec les variations climatiques et d'occupation des lieux dans le temps<sup>49</sup>. Ces vérifications sont d'autant plus précises si des cycles complets de saison sont monitorés.

La période du programme de subvention de la SHQ, dont le rapport doit être déposé en mars, restreint quelque peu la portée des résultats actuels, sans avoir obtenu les résultats de la fin de l'hiver 2020. Le monitoring et les analyses se poursuivent toutefois au-delà de la subvention, afin d'obtenir au final des cycles saisonniers complets et compléter notre étude.

Le monitoring électronique a été réalisé conjointement par Charles Beulé, ing et le soussigné, et un rapport a été rédigé à cet effet par Charles Beulé, document reproduit en annexe 7.

On trouvera aussi toute l'information technique concernant la localisation des zones d'enregistrement et l'endroit spécifique des zones dans chaque partie des assemblages aux annexes 1.7 et 1.8.

---

<sup>49</sup> Pour illustrer cette distinction on peut prendre une lecture thermographique d'un point donné, qui nous révélera de façon précise, dans une condition spécifique, un rendement thermique, alors que le monitoring permette d'évaluer l'évolution des conditions de ce point précis, selon les températures et les conditions d'humidité sur une longue période de temps.

La présente section intègre les éléments marquants contenus dans le rapport de monitoring, dont plusieurs extraits y sont tirés, de même que les observations spécifiques faites par le soussigné en condition d'usage<sup>50</sup>.

### 5.3.1 Zones d'analyse ciblées

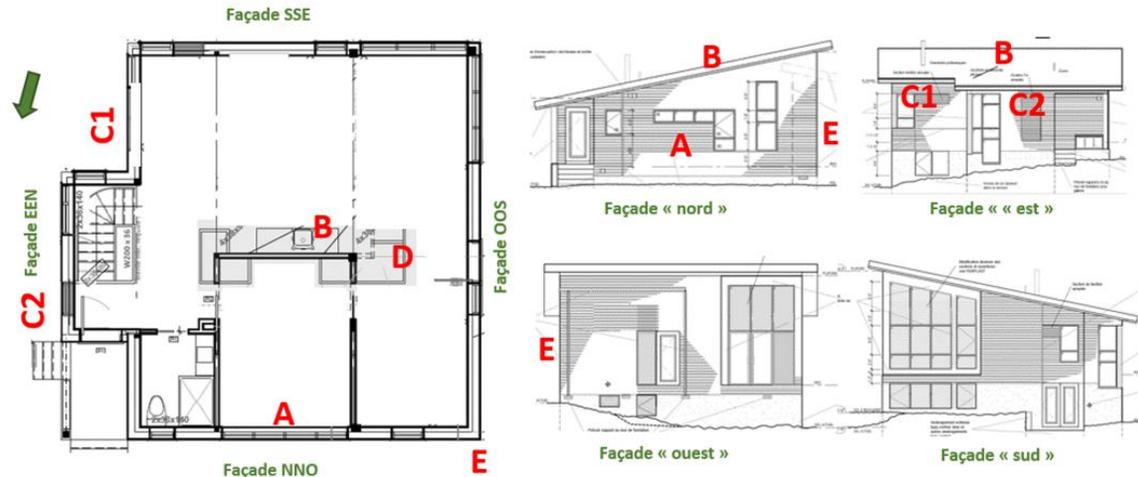


Figure 27 – Localisation des zones d'enregistreurs de données (sonde)

Chaque zone d'acquisition de données, avec leurs objectifs respectifs sont montrés aux annexe 1.7 (extrait ici-bas) et 1.8 (extrait ci-haut) Sommairement, on retrouve :

- Zone A : Sept (7) sondes de lecture des températures de surface (thermocouples) installées sur différents éléments de la composition murale, sur la façade nord-ouest, à mi-hauteur du mur ;
- Zone B : Sept (7) sondes de lecture des températures de surface (thermocouples) installées sur différents éléments de la composition de toiture ;
- Zone C1 : Sept (7) sondes de lecture des températures de surface (thermocouples) installées sur différents éléments à la jonction de la composition murale et de la toiture. À cet endroit, la bordure de toit comprend une bande d'isolant extérieur supplémentaire (bris thermique) ;
- Zone C2 : Six (6) sondes de lecture des températures de surface (thermocouples) installées sur différents éléments à la jonction de la composition murale et de la toiture. À cet endroit, la bordure de toit ne comprend pas de bande d'isolant extérieur supplémentaire (bris thermique) ;
- Zone D : Une (1) sonde de lecture de températures et d'humidité relative dans l'air ambiant à l'intérieur de l'habitation (conditions ambiantes)
- Zone E : Une (1) sonde de lecture de températures et d'humidité relative, air ambiant à l'extérieur.



Figure 28 - Extrait annexe 1.7 – Localisation des enregistreurs dans la Zone A

<sup>50</sup> Le pavillon a été habité en partie durant le monitoring, par 1 ou 2 personnes. Se référer à l'annexe 1.9 qui montre le diagramme d'occupation des lieux de novembre 2019 à février 2020.

### 5.3.2 Évaluation des conditions générales

Le rapport de monitoring et les tableaux qui y sont intégrés font état des constats suivants :

- « Les températures intérieures sont peu influencées par les températures extérieures : les conditions extérieures ne dictent pas de façon notable les variations de température à l'intérieur [...] ;
- [...] Les principaux pics d'humidité relative [intérieure] surviennent lors des périodes d'occupation de l'édifice. Par exemple, le taux maximum atteint en période froide (température extérieure de 0°C ou moins) est survenu le 26 décembre, alors que le taux d'occupation maximum de l'édifice a aussi été atteint à ce moment<sup>51</sup>.
- Les principaux creux d'humidité relative surviennent quant à eux lors des périodes d'inoccupation de l'édifice. Par conséquent, en période froide, il apparaît que la principale source d'humidité dans l'édifice provient de ses occupants et de leurs activités.

*Les taux d'humidité relative sont toutefois peu influencés par la descente rapide de la température ambiante intérieure qui survient à la fin de chaque période d'occupation.*

- *Aucune augmentation n'est remarquée lors de ces chutes de température. Cela démontre que la vapeur d'eau produite par les occupants est évacuée assez rapidement pour éviter les hausses des taux d'humidité relative pouvant survenir lors d'un abaissement de température.*

*Cela démontre également que la ventilation des espaces intérieurs, c'est-à-dire le taux de changement d'air, permet un bon synchronisme entre l'abaissement de la charge d'humidité intérieure et l'abaissement des consignes de chauffages survenant entre les périodes d'occupation et d'inoccupation de l'édifice.*

*Une telle ventilation limite les risques de condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant intérieur [...] ».*

Les deux graphiques suivants (annexe 7) montrent les conditions intérieures et extérieures et le renouvellement d'air.

---

<sup>51</sup> Fête de Noël, séjour de six personnes durant 2 à 3 jours.

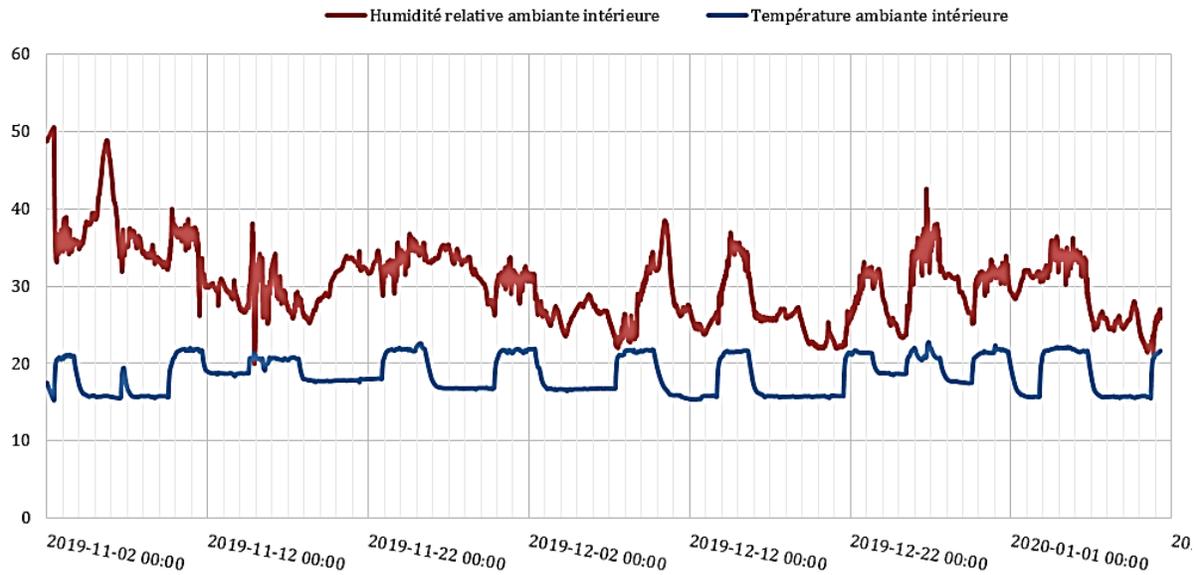


Figure 29 – Humidité relative intérieure comparée à la température intérieure  
Source : Rapport préparé par Charles Beulé (annexe 7, graphique 2)

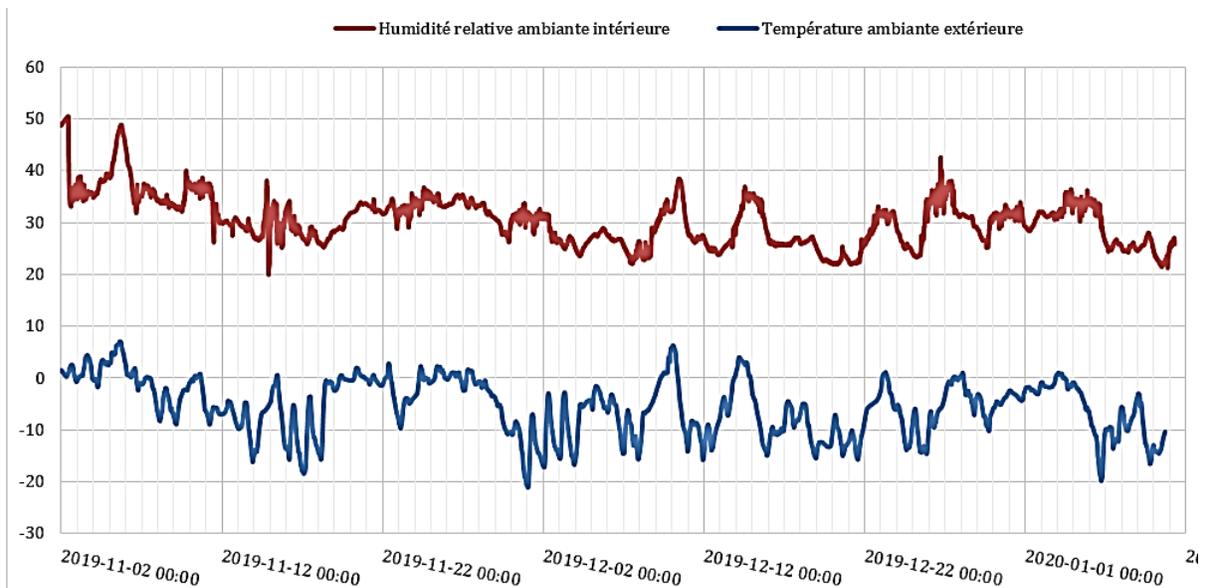


Figure 30 – Humidité relative intérieure comparée à la température extérieure  
Source : Rapport préparé par Charles Beulé (annexe 7, graphique 3)

Le rapport de monitoring traite de la possibilité ou non de condensation en surface et à l'intérieur des assemblages, et dresse un bilan de l'ensemble des températures relevées à chacune des zones, qui confirme que *« À aucun moment durant la période de monitoring les composantes d'enveloppe situées du côté intérieur du plan d'étanchéité à l'air et la vapeur d'eau n'ont été à une température égale ou inférieure au point de rosée correspondant aux conditions ambiantes intérieures »*.

Pour les murs extérieurs :

*« Les composantes à risque de condensation sont toutes situées à l'extérieur du plan d'étanchéité à l'air et à la vapeur d'eau de l'enveloppe, donc sont normalement protégées de la charge d'humidité intérieure.*

*Par conséquent, les risques de problèmes de condensation y sont possibles uniquement en cas d'une défektivité de l'étanchéité à l'air. Le cas échéant, la formation de condensation se ferait du côté extérieur du plan d'étanchéité à l'eau, à un endroit de la composition permettant un assèchement vers l'extérieur, donc les conséquences d'une telle condensation devraient être limitées ».*

Pour la toiture, les mêmes constats sont faits en précisant toutefois ceci :

*« Les risques de problèmes de condensation sont encore possibles, mais uniquement en cas d'une défektivité de l'étanchéité à l'air de la toiture. En cas d'une telle défektivité, en revanche, l'assèchement de l'eau produite par condensation serait difficile en raison de la présence de la membrane de toiture, située du côté extérieur des assemblages et très faiblement perméable à la vapeur d'eau. Notons toutefois que des déficiencies au niveau de la continuité du plan d'étanchéité à l'air de la toiture sont peu probables<sup>52</sup> ».*

Considérant les bris thermiques :

- Ceux qui sont intégrés sur l'ensemble des murs (bois horizontal 2x3 à plat sur bandes de polyisocyanurate) offrent certes une réduction de transfert thermique, mais leur efficacité doit surtout être considéré par le jumelage avec un deuxième rang supplémentaire extérieur, soit une combinaison *bris thermique + recouvrement de pont* thermique ;
- Pour la toiture, on note encore avec les températures qu'il y a, malgré l'attention donné, des déperditions thermiques observable via les pièces de bois. Le rapport de monitoring réitère encore ici l'intérêt des multiplications de couches : *« il y a un certain avantage à utiliser plusieurs plans d'isolation dans la composition de toiture, même si les éléments de la structure de la toiture sont en bois. »*
- Les zones de rive de toit du côté Est C1 et C2 vérifiaient entre autres la pertinence d'ajouter de l'isolant de l'extérieur, pour réduire le pont thermique crée par l'assemblage haut de mur / toit + pontage massif de bois. Le recouvrement important et généreux des ponts thermiques à la rive est une recommandation que

---

<sup>52</sup> La thermographie a pu identifier quelques zones plus faibles, dont l'ampleur ne justifie pas un correctif mais constitue une amélioration à développer.

l'on retrouve dans la littérature, sans toutefois connaître son impact positif réel. Dans le présent cas, avec les assemblages déjà bien isolés et des éléments peu conducteurs (par opposition à l'acier par exemple), l'impact positif de la sur-isolation ne semble pas significatif, voire inexistant lorsqu'on mesure les conditions intérieures. L'impact de cette isolation aurait peut-être une conséquence toutefois sur la gestion de la glace et des glaçons sur la rive de toit<sup>53</sup>.

### **5.3.3 Commentaire général**

Le rapport de monitoring conclut :

*« [...] la composition murale de l'édifice est peu à risque de problèmes de condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air ambiant intérieur. Comme le démontraient les simulations informatiques, les seules composantes dont la température descend sous le point de rosée correspondant aux conditions ambiantes intérieures sont situées du côté extérieur du plan d'étanchéité à l'air, à la vapeur d'eau et à l'eau de la composition murale.*

*Ces composantes sont donc normalement protégées de la charge d'humidité intérieure, et les conséquences en cas d'accident (fuite d'air humide, discontinuité du plan d'étanchéité à l'air) seront circonscrites aux composantes situées à l'extérieur du plan d'étanchéité à l'eau du mur ».*

Les conclusions de l'étude de monitoring, et plus spécifiquement au niveau du rendement de l'isolation et des bris thermique, doivent être mises en perspectives avec la question de l'efficacité énergétique et des coûts, qui sera traitée en partie 6 de ce document.

### **5.3.4 Considérations supplémentaires**

Les données de monitoring permettent, outre de répondre aux questionnements énoncés ci-haut et faisant l'objet de cette étude, d'identifier certains éléments qui mériteront d'être approfondis dans le cadre d'une étude rétroactive du projet, le tout en vue de développer d'autres enveloppes qui tiendront compte de l'expérience, bonne ou améliorable, de cette première construction.

---

<sup>53</sup> Un relevé complet et progressif des accumulations de neige, de glace et de glaçons est en cours de réalisation et les conclusions, prévues à la fin de la période hivernale et de fonte (avril 2020) pourraient avoir un impact sur la question de la sur-isolation des rives de toit, de même que la question de l'aération d'une toiture sandwich.

## 6. L'EFFICACITÉ : COÛTS ET EXPLOITATION

A l'instar de la plupart des études et des enseignements portant sur l'enveloppe<sup>54</sup>, cette recherche s'est concentrée sur les aspects techniques et constructifs. Mais un des objectifs ciblés portait aussi sur la question de la *rentabilité* (ou non) des efforts de haute performance, tel qu'énoncé en début de rapport : *Évaluation de la rentabilité/efficacité des détails de construction, mis en parallèle avec ceux développés par d'autres*<sup>55</sup>. Cette *rentabilité* de l'enveloppe peut toucher de nombreux aspects d'un bâtiment, dont entre autres :

- Le cadre et l'analyse de la performance (partie 5 de ce document) ;
- La durabilité des assemblages ;
- La gestion des « accidents » (bris, conséquences, contamination fongique) ;
- L'entretien requis en fonction de la nature des matériaux et de leur assemblage ;
- Le calcul du coût global<sup>56</sup>, en lien direct avec la durabilité et l'entretien ;
- La notion de confort thermique et l'ambiance ;
- Un milieu sain en fonction de tous les usages et charges d'humidité anticipés.

Le tableau suivant est tiré d'un mémoire portant sur la performance en réhabilitation des bâtiments<sup>57</sup>, qui reprends certains des éléments énoncés ci-haut .

**TABLEAU 6 – Identification de diverses contraintes exercées sur l'enveloppe**

Source : R.Trempe, (2016)

Type de contrainte	Identification de la contrainte	Source
Les considérations constructives	Les défauts d'origine	Joffroy et de Fleury, 1999.
	Les agrandissements et les autres interventions	Laferrière, 2007.
	La difficulté de remplacement de matériaux en raison de leur assemblage	Joffroy et de Fleury, 1999.
	Les modifications apportées suite aux révisions des normes en matière de sécurité ou de santé	Laferrière, 2007.
Le cycle de vie	La dégradation des assemblages et des matériaux	Joffroy et de Fleury, 1999; Latham, 2000; Perreault, 1984; Ross, 2010.
	Le mauvais état de la structure	Latham, 2000.
	La perte d'efficacité des matériaux	Laferrière, 2007; Perreault, 1984.
	L'agression par des agents chimiques ou biologiques	Lacasse, 2003; Perreault, 1984.

<sup>54</sup> Les ouvrages qui existent portent sur des propriétés et des états, sans nécessairement analyser la performance post-construction.

<sup>55</sup> Partie 2.2 de ce rapport.

<sup>56</sup> Le coût global comprend les dépenses liées à l'entretien et les frais de réparations attendus tout au long du cycle de vie de l'enveloppe.

<sup>57</sup> Tableau *Liste de certaines contraintes exercées compilées [...]*, Trempe (2016) page 51

Type de contrainte	Identification de la contrainte	Source
Le climat et autres événements naturels	Les conditions climatiques, inondations, mouvement des sols, etc.	Hartkopf et al., 1986; Hutcheon, 1980.
L'intervention humaine	Les changements d'usage	Blouin, 1985; Lacasse, 2003; Latham, 2000.
	Un manque d'entretien du bâtiment	Joffroy et de Fleury, 1999.

La *rentabilité*, dans le cadre de cette étude, se limite à la question de la durabilité des assemblages, de l'efficacité énergétiques et des coûts qui s'y rattachent, autant au niveau de la construction initiale que de l'exploitation.

À cette fin, l'entrepreneur du projet Maxime Simard, de Carsim, a estimé les différents coûts d'assemblages (annexe 1.5 de ce document), alors que Denis Bourgeois, de rd2 a évalué les coûts énergétiques en exploitation (annexe 5 de ce document).

## 6.1 Coûts de construction

### 6.1.1 Mur typique

Les estimations de l'annexe 1.5 comparent le coût de chacun des matériaux entre une enveloppe murale conventionnelle SIPE et l'enveloppe murale SITE construite au pavillon d'Auvergne. Seules les composantes murales proprement dites sont prises en considération pour la comparaison afin d'éviter de contaminer les résultats : finitions, revêtements extérieurs et fenêtres triples sont établis au même coût dans les deux systèmes.

L'enveloppe conventionnelle de référence SIPE référencée répond, comme souligné déjà, aux standards de la construction actuelle, soit un système à ossature de bois avec isolation entre les montants 2x6po, l'utilisation d'un panneau OSB comme revêtement mural intermédiaire, et avec un isolant R4 agissant comme recouvrement des ponts thermiques.

Le tableau suivant rappelle chacun des systèmes et suggère certains éléments qui distinguent le systèmes SITE, d'un projet conventionnel.

**TABLEAU 7 - Comparaison entre les systèmes SIPE et SITE**

<b>COMPOSANTES – RÉISTANCES THERMIQUES – COÛT</b> (Référence aux informations contenues en annexe 1.5 de ce rapport)		
<b>Système de référence conventionnel (SIPE)</b>	<b>Système constructif utilisé au pavillon d'Auvergne (SITE)</b>	<b>Particularités du SITE en lien avec la haute performance</b>
<p><u>Partie extérieur à la charpente</u></p> <p><b>Pare-pluie</b> déclin bois Fourrure verticale 1x3 (cavité) <b>Pare-eau Pare-air</b> (tyvek)</p> <p>Isolant EPS R4 Panneau OSB 1/2po</p>	<p><u>Partie extérieure à la charpente</u></p> <p><b>Pare-pluie</b> déclin bois Fourrure verticale 1x3 (cavité) <b>Pare-intempérie</b> (tyvek)</p> <p>Isolant EPS 1.5po Panneau ISO 2.5po avec bris thermique -bois isolant Iso-</p> <p><b>Pare-air Pare-eau Pare-vapeur</b> Membrane Panneau Contreplaqué 1/2po</p>	<p>En plus du pare-pluie et du pare-eau, ajout d'un <i>pare-intempérie</i> pour protéger de l'humidité et l'eau les parois isolantes donnant dans la cavité</p> <p>Ponts thermiques réduits considérablement en raison d'une isolation totalement à l'extérieur des montants de bois</p> <p>Aucun matériau putrescible emprisonné entre les plans d'étanchéité à l'air, à l'eau et à la vapeur d'eau, alors que dans le SIPE, l'OSB et les montants de bois sont entre les plans d'étanchéité</p>
<p>Périmètre fenêtre scellée standard</p> <p>Fenêtre PVC triple</p>	<p>Périmètre fenêtre membrane et cuvette (solinage cuvette sous fenêtre et double étanchéité au périmètre)</p> <p>Fenêtre PVC triple</p>	<p>Assèchement optimisé en cas d'humidité en fonction de la perméabilité à la vapeur d'eau des matériaux</p> <p>Pas de risque de condensation intramurale par diffusion. Le point de rosée est situé du côté extérieur aux plans eau/air/vapeur d'eau, alors que dans le SIPE il est situé entre le pare eau/air et le pare-vapeur</p>
<p><u>Charpente et finition intérieure</u></p> <p>Montants 2x6 à 16po c/c Isolant fibre de verre 5.5po</p> <p><b>Pare-vapeur</b> polyéthylène</p> <p>Fourrure horizontale 1x3 Gypse 0.5po</p>	<p><u>Charpente et finition intérieure</u></p> <p>Montants 2x4 (ou 2x6) à 12po ou à 16po c/c<sup>59</sup> Aucun isolant entre montants</p> <p>Fourrure horizontale 1x3 Gypse 0.5po</p>	<p>Pas d'usage de matériaux isolants reconnus comme moins résistant en présence d'eau<sup>58</sup></p> <p>Zone unique pour les plans stratégiques d'étanchéité (eau/air/vapeur d'eau), matériau optimisé et simplicité exécution</p> <p>La membrane d'étanchéité constitue une protection durant les travaux</p>
<p>RSI effectif : <b>4.19</b> (R23.7)</p>	<p>RSI effectif : <b>5.78</b> (R32.74)<sup>60</sup> <small>Soumission</small></p> <p>RSI effectif : <b>4.51</b> (R25.58) <small>révisé construction</small></p>	<p>Étanchéité formant cuvette au périmètre des fenêtres (gestion des accidents)</p> <p>Indice de contamination fongique très bas vérifié en simulation</p>
<p>Coût: <b>11.94 \$/pi<sup>2</sup></b></p>	<p>Coût : <b>30.81 \$/pi<sup>2</sup></b> <small>Soumission</small></p> <p>Coût : <b>24.73 \$/pi<sup>2</sup></b> <small>Révisé construction</small></p>	<p>Utilisation possible des espaces entre l'ossature, laissés libres (à approfondir)</p> <p>Température intérieures des parois de murs légèrement haussée par la présence de la cavité entre les montants</p>

<sup>58</sup> A partir de recherches préliminaires, à vérifier auprès de l'ensemble des fabricants de ce type d'isolant.

<sup>59</sup> Dimension et espacement variables en fonction des murs et des hauteurs libres.

<sup>60</sup> Le système SITE qui avait été développé initialement pour la soumission avait un quantité supplémentaire d'isolation, voir tableaux 1 et 2 de l'annexe 1.5.

Au niveau strict de la question de l'isolation, dont les coûts sont influencés par la quantité mais aussi par le type d'isolant et le mode d'installation, on remarquera qu'elle représente, selon le type de système, une proportion variant de 20% à 50% du coût du mur proprement dit. Rapporté sur l'ensemble de la construction, cela représente une proportion de 7% à 16%.

Au global, le tableau ici-bas montre une augmentation significative de 107% de coût entre un mur conventionnel SIPE et le mur SITE qui a été utilisé pour construire l'enveloppe. Toutefois, comme l'indique le tableau reproduit ici-bas, l'augmentation est réduite à 27% lorsqu'on intègre dans le montant le coût cumulé « mur-fenêtre-structure ». Il est réduit à 7% lorsqu'on compare le coût global du bâtiment.

**TABEAU 8 – SOMMAIRE DES COÛTS ET COMPARATIFS – IMPACT DE L'ENVELOPPE**

Extrait tableau1 de l'annexe 5 de ce rapport

	Coût (pi2) système mural		Coût (pi2) Mur (Incluant revêtements et fenêtres)		Coût Ensemble des murs (coût enveloppe et structure)		Coût globale du projet	
<b>Système mural de référence conventionnel SIPE,</b> Ossature de bois isolée avec bris thermique R4 extérieur	11.94 \$	-	45.95 \$	-	75 800 \$	-	289180 \$	-
<b>Système mural SITE De type «perfect wall »,</b> Isolé par l'extérieur avec isolation partielle entre montants de bois - Soumission -	30.81 \$	+158%	64.82	+41%	106 950 \$	+41%	320 030 \$	+10%
<b>Système mural SITE sans isolation partielle Entre les montants de bois</b> Et réduction de la quantité d'isolant, projet réalisé - Construction -	24.73	+107%	58.74	+27%	96 920 \$	+27%	310 000 \$	+7%

Le mur SITE tel qu'utilisé comporte certes plusieurs avantages par rapport au système conventionnel, comme cela fut indiqué précédemment. Un désavantage à réitérer toutefois est la question de la surépaisseur des murs, qui demande des recherches supplémentaires quant aux types d'attaches, que ce soit pour la question des ponts thermiques<sup>61</sup>, ou encore pour des questions d'ordre structural, en lien avec les charges latérales du revêtement extérieur, surtout lorsque qu'un système plus lourd qu'un revêtement de bois était envisagé.

### 6.1.2 Toiture

Contrairement aux murs extérieurs, la toiture telle que conçue et réalisée est difficilement comparable à une toiture d'habitation conventionnelle. Ont été utilisés ici un pontage massif en CLT, une variété de matériaux isolant différents<sup>62</sup>, et des membranes de type

<sup>61</sup> Dans le cadre de cette recherche, des attaches et barres Z en fibre de verre ont été envisagées. Pour des questions de coûts (matériaux nord-américains tels que Cascadia) ou d'absence de données techniques fiables en lien avec l'énergie intrinsèque et la durabilité au froid (matériaux provenant de Chine), elles ont été mises de côté ici.

<sup>62</sup> La juxtaposition de différents types d'isolants au toit, et aussi dans les murs, a été pensée en fonction de la performance atténuée de certains isolants, tel que l'isocyanurate, en condition de froids extrêmes. À cet égard, on

commercial, plus durable que des matériaux usuels tel que le bardeau d'asphalte. Néanmoins on peut tout de même faire état des résistances thermiques effectives, dont le calcul est détaillé en annexe 1.5.

<b>Toit traditionnel</b>	<b>RSI 6.59 (37.4)</b>	<b>16.13 \$/pi<sup>2</sup></b>
<b>Toit tel qu'installé</b>	<b>RSI 6.97 (39.5)</b>	<b>32.26 \$/pi<sup>2</sup></b>

### 6.1.3 Murs de fondations

L'annexe 1.5 montre la très faible différence de coûts entre l'isolation conventionnelle par l'intérieur et l'isolation faite totalement par l'extérieur, comme au pavillon d'Auvergne<sup>63</sup>.

<b>Mur fondation traditionnel</b>	<b>RSI 2.62 (14,8)</b>	<b>24.09 \$/pi<sup>2</sup></b>
<b>Mur fondation isolé par l'extérieur</b>	<b>RSI 3.25 (18.42)</b>	<b>27.85 \$/pi<sup>2</sup></b>

## 6.2 Exploitation

L'exploitation réfère habituellement à la performance en service de même l'entretien. Dans le cadre du monitoring des assemblages au cours d'une première année, les objectifs visés par la question de l'exploitation se sont surtout dirigés vers l'efficacité énergétique et son coût d'opération.

On trouvera à cet effet, en annexe 5, l'étude énergétique réalisée par Denis Bourgeois, de rd2, dont on lira des extraits dans cette section. L'étude énergétique porte sur les assemblages réalisés sur place, que ce soit au niveau de la configuration, de l'orientation, de l'isolation ou de la consommation et de la rentabilité énergétique. L'étude a été réalisée au moyen du logiciel EnergyPlus 9.2 (energyplus.net)<sup>64</sup>, et d'autres outils complémentaires tels que 3D Sketch Up (illustration).

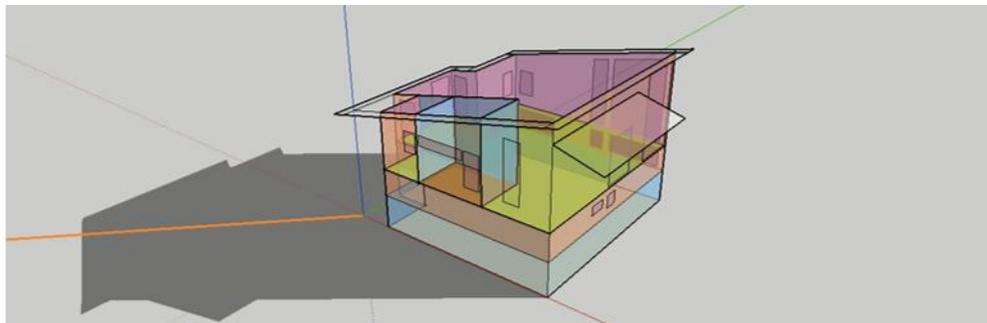


Figure 31 –Base pour la modélisation – Source : rapport Denis Bourgeois (annexe 5 de ce rapport)

constatera que dans le projet, ce type d'isolant haute-performance est recouvert d'un autre isolant plus stable au froid, que ce soit l'isolant EPS ou la laine de roche.

<sup>63</sup> Sont considérées ici uniquement dans le coût les parois murales de fondations.

<sup>64</sup> L'annexe 5 décrit de façon détaillée les procédures d'utilisation du logiciel. Bien qu'une partie des informations sera traitée dans cette recherche, la banque de donnée créée comprend de nombreuses autres informations, dont : l'occupation des locaux, l'opération saisonnière du système de chauffage et des points de consigne, la commutation de l'éclairage en fonction de l'occupation et des conditions météo, l'utilisation horaire de l'eau chaude domestique ou ECD, les gains sensibles et latents associés à certaines activités, l'extraction locale, la ventilation mécanique équilibrée, la ventilation naturelle en été (ex. ouvertures des fenêtres), etc.

### 6.2.1 Orientation et configuration des lieux

Conformément à certaines recommandations sur le sujet<sup>65</sup>, le bâtiment a été orientée SSE, alors que la majorité des fenêtres se trouve face au SSE et au SOO, pour maximiser les gains solaires en période hivernale<sup>66</sup>.

Denis Bourgeois, dans son étude, a fait pivoter sur un axe vertical le pavillon, pour vérifier, à la demande du soussigné, si au niveau des gains énergétiques, l'orientation SSE était vraiment la plus bénéfique. Le tableau 1 de son rapport en annexe 5 indique les gains et les pertes en kWh selon différentes orientations. Le résultat est surprenant :

*« On constate que l'impact de l'orientation solaire sur la consommation énergétique annuelle peut faire varier celle-ci de 5%, et ce que la maison soit dotée de beaucoup de masse thermique ou non.*

*L'orientation la moins favorable est celle à 110°, c'est-à-dire si on avait pivoté la maison à -90° de son orientation actuelle. L'orientation la plus bénéfique est plutôt à +90° (ou à 290°) de son orientation actuelle (la façade SSE actuelle serait plutôt orientée ENE), offrant une baisse de consommation d'environ 5%.*

*Comment expliquer cette diminution ? Les maisons très performantes (ex. bien isolées, très étanches, orientation solaire favorable) peuvent souvent être en surchauffe en hiver (pensez aux journées anticyclones au Québec : très froides, mais très ensoleillées [un ciel sans nuages]).*

*Sans une stratégie de recirculation (ou de stockage actif) des gains solaires, une partie non-négligeable des gains solaires au sein de l'aire de vie principale pourrait ne pas être exploitée concrètement pour diminuer la consommation énergétique de la maison.*

*À l'opposé, les pièces orientées NNO, comme la chambre, le WC et une partie du sous-sol, ne reçoivent pas (ou très peu) de rayonnement solaire direct au cours de l'hiver, sollicitant en contrepartie passablement d'énergie en chauffage. L'orientation à 290° quant à elle offrirait un rayonnement solaire en hiver à toutes les pièces (ENE, SSE et OSO), diminuant en conséquence leurs besoins en chauffage. Réitérons que ces résultats sommaires ne reflètent que l'état actuel de la maison ; une stratégie de redistribution (ou de stockage actif) de l'excédentaire solaire pourrait remettre l'orientation actuelle au premier plan »*

Nous comprenons qu'à moins de réutiliser les gains solaires en surplus (la surchauffe) en les redistribuant vers des espaces plus froids (le sous-sol par exemple), l'orientation ENE pourrait être une avenue très intéressante, le tout en procédant évidemment à une analyse préalable des emplacements et pourcentages de fenestration les plus stratégiques pour profiter des gains énergétiques.

---

<sup>65</sup> Plusieurs contradictions sont toutefois constatées, avec des orientations proposées plein sud ou sud-ouest parfois. Le gain solaire serait optimisé avec un ensoleillement dès la matinée, période la plus fraîche, donc plus vers l'ENE.

<sup>66</sup> En été, les bordures d'avant-toit et la canopée créée par les feuillus sont efficaces et empêchent toute pénétration du soleil directe jusqu'à la mi-août.

## 6.2.2 Portait de la consommation attendue

A partir de l'information et des relevés d'occupation fournis, la consommation attendue a été évaluée à 14 792 kWh/année. Le diagramme de gauche est établi à partir des données disponibles estimées à 14 792 kWh/année, alors que le diagramme de droite représente la maison moyenne au Québec (ne pas tenir compte des couleurs pour comparer les deux cerceaux).

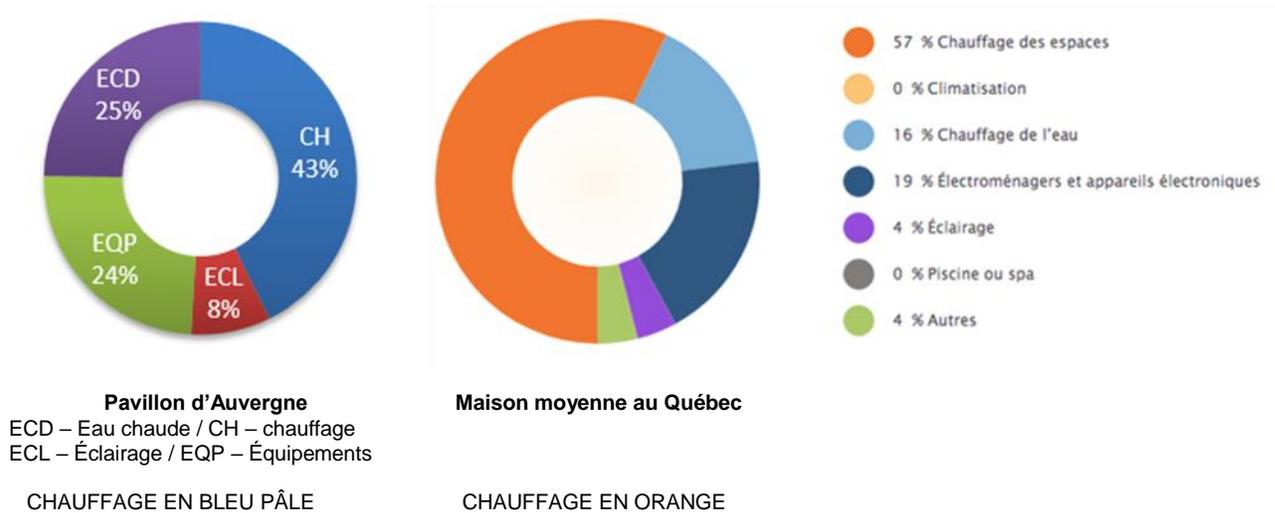


Figure 32 – Relevés d'occupation (gauche) comparé au relevé d'une maison typique  
Source : Espace Client Hydro-Québec (gauche) et site internet Hydro-Québec (droite)  
Rapport Denis Bourgeois (annexe 5)

On peut constater qu'à partir des données disponibles et des projections pour le restant de l'année, le chauffage représenterait 43% des coûts de l'énergie pour le projet, comparé à 57% en moyenne au Québec. De ce fait, c'est l'eau chaude domestique qui prend ainsi une plus grande proportion, passant de 16% dans la maison type à 25% dans le projet, compte tenu du plus bas taux alloué au chauffage<sup>67</sup>.

Les données montrent aussi que les mesures de haute performances prises dans le projet, entre autres en lien avec l'orientation, l'étanchéité à l'air, le type d'isolation, ou le triple-verre, pourraient permettre des économies d'énergie de l'ordre de 7000 kWh<sup>68</sup>. À 0,08\$/kWh, cela pourrait représenter une économie de 560\$/année, pour un coût de construction supplémentaire de 7%<sup>69</sup>.

Les projections à cet égard, sont celles indiquées à la page suivante.

<sup>67</sup> L'eau chaude n'est évidemment pas plus énergivore que dans la maison traditionnelle de référence, mais son ratio est plus important.

<sup>68</sup> Le site d'Hydro-Québec évalue la consommation moyenne à 22 000kWh pour une maison.

<sup>69</sup> Taux établi à dans les estimations de l'annexe 1.5.

**TABLEAU 8**  
**Évaluation élémentaire du coût de l'énergie et de la haute performance**

	Maison standard	Pavillon d'Auvergne	
Coût de construction (Carsim)	289 000 \$	310 000 \$	Augmentation de 7% coût travaux <b>+21 000\$</b>
Consommation	22 000 kWh (Hydro-Québec)	15 000 kWh (évaluation rd2)	Diminution de 20% de consommation <b>-560\$ /année</b>

Au strict sens monétaire, et avec toutes les réserves que représente l'évaluation en consommation énergétique de la maison standard, les montants tendent à démontrer qu'il faudra en fait 37 ans, et sans inclure les frais d'intrêt, pour amortir l'inclusion au projet de mécanismes haute-performance. Ce montant doit toutefois être considéré dans un contexte beaucoup plus large, et devrait tenir compte de nombreux autres facteurs intégrés dans le projet d'Auvergne : qualité des matériaux, durabilité, gestion des contraintes (pluie, humidité,), confort, etc.

Ces chiffres sont surprenants et mettent en évidence le fait que l'appréciation de la *haute-performance* doit intégrer plusieurs paramètres, qui vont bien au-delà de la question de l'isolation. Ces chiffres mettent ainsi en évidence que les choix initiaux, et particulièrement la quantité et la position stratégique des isolants et autres bris thermiques doivent être pensés et calculés pour être les plus efficaces et rentables.

L'étude énergétique en annexe 5 avait aussi comme mandat de vérifier l'incidence de diminuer la quantité d'isolant, comme ce fut le cas entre la soumission et la construction (20% de l'isolation murale retranchée), par rapport aux surplus de chauffage que cela nécessitait. L'étude, sur ce point, a évalué divers scénarios.

*[...] Étudions les bénéfices ainsi que la rentabilité de sur-isoler les murs hors-sol (déjà très bien isolés) de la maison. On cherche à comparer ici les économies monétaires et les surcoûts à ajouter 2 pouces additionnels d'isolation (laine de roche) aux murs hors-sol actuels. À 2\$/pi<sup>2</sup> et à 1 532 pi<sup>2</sup> de murs, on envisage un surcoût de 3 063,59\$. Pour rentabiliser un tel investissement initial en moins de 10 ans, il serait nécessaire d'y voir une réduction de la consommation d'environ 300 \$/année, représentant environ 3 800 kWh/année (@0,08 \$/kWh en moyenne).*

*En reprenant une consommation annuelle prévue de 14 792 kWh comme point de départ, on obtient une économie de 764 kWh par année liée à l'ajout de ce 2 pouces additionnels d'isolant aux murs hors-sol, nettement inférieur à la cible identifiée préalablement. À 0,08\$/kWh, ce 764 kWh représente une économie monétaire annuelle de 61,11\$, ne permettant de rentabiliser les surcoûts qu'à partir de 50 ans. Si les gains internes (ex. charges aux prises, éclairage) étaient revus à la hausse (c'est-à-dire plus représentatifs*

*d'un ménage de 2 adultes et 2 enfants), le retour sur l'investissement approcherait plutôt les 70 ou 80 ans.*

*De toute évidence, l'isolation et l'étanchéité de l'enveloppe, ainsi que les gains solaires récoltés, constituent les points forts du projet. Il serait préférable de ne plus trop s'attarder sur ces aspects, et plutôt de s'attaquer aux autres besoins énergétiques de la maison comme l'eau chaude domestique, voire plus tard à mieux gérer la puissance en hiver ; des enjeux qui peuvent être étudiés en détail à partir du modèle énergétique réalisé. »*

L'étude de Denis Bourgeois met ainsi en évidence que les coûts d'isolation retranchés au départ (suite à la première soumission) devraient, au lieu d'être restitués à l'isolation dans un prochain projet, être utilisés pour d'autres équipements qui permettraient des gains énergétiques substantiels rapides et non reportés sur 50 ans.

## 7. CONCLUSION

Cette recherche porte sur les performances initiales et en service de l'enveloppe d'un pavillon prototype construit au cours de l'été 2019 et monitoré d'une part au moyen d'enregistreurs de température et d'humidité fonctionnant en continu, et d'autre part avec un suivi des usages et des conditions ambiantes. L'enveloppe a aussi fait l'objet d'autres vérifications au moyen de simulations, d'essais en infiltrométrie et de modélisations hygrothermiques et énergétiques.

On rappellera que les objectifs de la recherche visaient différents aspects de la construction, dont :

1. La vérification des hypothèses de performance avancées au moment de la conception ;
2. L'interprétation des résultats obtenus durant l'utilisation du bâtiment ;
3. L'étude des bris thermiques mis en place, et plus spécifiquement une comparaison entre divers assemblages intégrés à l'ensemble ;
4. L'analyse des coûts de construction et de la plus-value ou non des assemblages haute-performance mis de l'avant ;
5. Les perspectives d'amélioration ou de révision des concepts.

### 7.1 Sommaire des résultats

La bonne performance en service du pavillon a été vérifiée par les différents essais réalisés, notamment au niveau de l'infiltrométrie, dont le taux de fuite d'air mesuré (0.65CAH) est largement inférieur aux exigences, de même qu'au niveau de la thermographie, alors que les grandes surfaces murales, incluant les bris thermiques intégrés aux murs, offrent une barrière thermique uniforme. L'étude d'efficacité énergétique a aussi confirmé le bon rendement : la quantité d'énergie requise, projetée sur un an, serait de 30% (7 000kWh) en deçà de la maison typique référée dans les analyses d'Hydro-Québec.

Le fonctionnement du système SITE *système totalement isolé par l'extérieur* s'est donc avéré efficace. Il élimine la totalité des ponts thermiques créés par la charpente et facilite la pose des isolants et autres matériaux. Ce bon fonctionnement de l'enveloppe thermique du SITE confirme aussi les résultats de la modélisation quant au risque pratiquement nulle de condensation intra murale et de dégradations de matières putrescibles<sup>70</sup>.

Bien que les charges d'humidité générées en usage aient été basses (occupation limitée à une ou deux personnes), les quelques périodes de grands froids et le temps des Fêtes,

---

<sup>70</sup> Il s'agit d'un élément fondamental prônant pour l'utilisation de systèmes SITE dans la construction.

avec une occupation plus intense, ont confirmé un renouvellement en air efficace<sup>71</sup> de même que des fenêtres et des jonctions qui limitent suffisamment la conduction de chaleur pour éviter presque en tout temps la condensation<sup>72</sup>.

Cette recherche a aussi comparé le prix de construction du pavillon construit avec un le prix pour un modèle de maison conventionnelle non-optimisée<sup>73</sup>, mais qui répondait tout de même aux normes actuelles. Des différences de rendement significatives ont été notées. En effet, en dépit de quantités d'isolation du même ordre, la performance énergétique des murs et de la toiture du bâtiment sous étude dépasse largement celle de la maison conventionnelle, avec des réductions attendues de 20%. Une telle différence tend à démontrer que la question seule de la résistance thermique ne constitue qu'un facteur parmi d'autres dans l'équation énergétique<sup>74</sup>.

L'intérêt de faire une telle étude en service sert aussi à dégager les éléments qui méritent d'être améliorés<sup>75</sup>, voire repensés. Soulignons à cet égard :

- La gestion des eaux de fonte sur la toiture et la formation de glaçons, dont le suivi, qui demeure à compléter, pourrait requestionner le principe du toit sandwich adapté à projet de ce type ;
- La façon artisanale dont les bris thermiques muraux ont été faits : quoique performants en jumelé avec un isolant continu de recouvrement, une façon économique et mieux adaptée à la construction masse en habitation reste à développer ;
- Les résultats mitigés des actions prises pour réduire les pertes de chaleur aux bordures de certains avant-toits ;
- Le matériau utilisé comme membrane pare-air/vapeur/eau, dont le peu de flexibilité rend parfois difficile l'exécution des jonctions « angles de mur/toit » et crée des zones potentielles de fuites d'air ;
- L'étanchéité à l'air au périmètre des ouvertures qui requiert une exécution parfaite mais difficilement réalisable avec la pose des scellants.

## 7.2 Pour une définition de la haute-performance

Contrairement à ce qui est parfois véhiculé dans l'industrie, la haute-performance, ce n'est pas seulement une question de fuites d'air et de ponts thermiques. Le chercheur canadien du CNRC, V.H. Hartkopf, partageait ceci, il y a plus de trente ans : « *La performance repose sur deux aspects : d'une part, le besoin élémentaire de se protéger et, d'autre part,*

<sup>71</sup> Dans un bâtiment très étanche tel que celui-ci, les renouvellements mécaniques de l'air sont d'autant plus importants pour éviter des humidités excessives intérieurs.

<sup>72</sup> Température avoisinant -30°C, condensation liquide aux encoignures de vitrage sur les fenêtres avec les plus grandes baies, dans une zone peu réchauffée du côté Est (puits d'escalier).

<sup>73</sup> Les résultats doivent être interprétés dans les limites d'une comparaison unique, dont la compacité, le nombre d'étage ou encore le taux de fenestration n'est pas considéré.

<sup>74</sup> L'étude énergétique montre d'ailleurs qu'une surépaisseur d'isolant devient à niveau donnée non économiquement viable, eu égard au coût global.

<sup>75</sup> Les commentaires sont ici donnés en vue d'améliorer les installations futures.

la recherche d'équilibre de confort physiologique, psychologique, sociologique et économique »<sup>76</sup>.

La question de « haute » performance énergétique ne devrait donc pas, à notre avis, obnubiler tout le projet au point de négliger les questions de bien-être et de confort. La haute performance de l'enveloppe devrait en quelque sorte constituer un objectif global au carrefour d'un ensemble de priorités<sup>77</sup> dont une vision réaliste du projet, de la conception jusqu'à la mise en service, une efficacité optimisée, une enveloppe contributive à l'équation énergétique, un respect des préoccupations environnementales, une adaptation possible aux usages, un souci de la santé et du bien-être, un entretien facile et enfin une durabilité accrue.

Au sommaires, nous pourrions illustrer ce carrefour comme un diagramme à 4 axes<sup>78</sup>, « la boussole des haute-performances » qui pourrait ultimement permettre de qualifier et comparer des enveloppes entre elles :

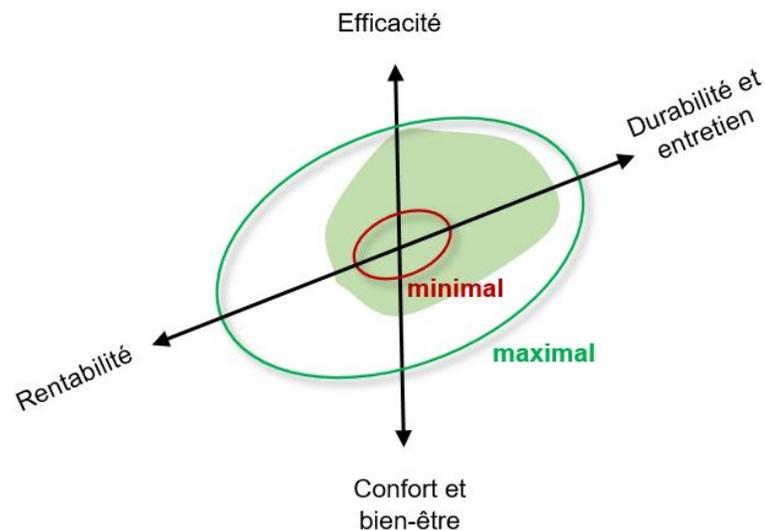


Figure 33 - Diagramme proposé des priorités de la haute performance (R. Trempe)  
La zone remplie verte pourrait représenter, par exemple ici, une enveloppe axée plus vers l'efficacité et la durabilité, au détriment de la rentabilité et de la question du confort. Une enveloppe optimale aura une distribution similaire dans chaque quadrant (cercle vert)

<sup>76</sup> Hartkopf, V. H., Loftness, V. E., and Mill, P. A. D. (1986). "The Concept of Total Building Performance and Building Diagnostics."

<sup>77</sup> Se référer au tableau synthèse en partie 4.1

<sup>78</sup> Visualisation de type « boussole électorale »

Le projet d'*Auvergne laboratoire vivant* a permis de cibler plusieurs éléments contributifs à la haute performance, dont certains ne présentent aucun surcoût, tels que l'occultation, les gains thermiques, les températures des parois, et d'autres représentant une plus-value de l'enveloppe : le triple verre, l'isolation avec bris thermiques, l'étanchéité maximale, etc. C'est en maximisant chaque sphère d'interventions que l'optimisation pourra, ultimement, être atteinte.

### 7.3 Cadre méthodologique de l'analyse de haute-performance

Un autre intérêt dans une étude du type de celle d'*Auvergne laboratoire vivant* consiste à se pencher sur la façon dont l'analyse de la performance comme telle peut être réalisée, et de comprendre comment et quels processus de vérification et de monitoring peuvent permettre de mieux connaître l'enveloppe.

Ces processus comprennent entre autres :

- L'analyse de concept et l'optimisation des détails
- Les simulation hygrothermiques et énergétiques
- Les estimés comparatifs entre différents systèmes envisagés
- Les essais en infiltrométrie
- La thermographie
- Le monitoring électronique<sup>79</sup>
- Les enquêtes d'usage
- La rétroaction<sup>80</sup>.

Il serait éventuellement intéressant de développer plus formellement un cadre d'analyse, incluant une grille d'évaluation de la haute-performance, pour permettre encore ici de comparer entre eux différents projets et favoriser le partage d'informations sur une base d'analyse similaire. En outre, un tel cadre pourrait s'inspirer de certains programmes de certifications actuelles ou de normalisation<sup>81</sup>.

### 7.4 Recommandations générales

Le monitoring en service de la haute performance d'une enveloppe constitue une opportunité pour développer de meilleures façons de faire. Dans la continuation de cette étude, les stratégies suivantes sont à envisager :

#### .1 La poursuite du programme de monitoring du pavillon d'Auvergne

---

<sup>79</sup> Le monitoring représente un coût important des analyses et nous apparaît requis lorsque de nouveaux systèmes innovants sont développés, comme dans le cadre de cette étude.

<sup>80</sup> Analyse critique après construction en vue de cibler les éléments forts et ceux pouvant être améliorés.

<sup>81</sup> Plusieurs références pourraient être mises à contribution : ASTM E2947, Living v2, WELL, Passive haus, ZeroCarbon v2, Novoclimat ou LEED v4, certains guides de l'APCHQ. Il ne s'agirait d'aucune façon ici de développer un nouveau programme, mais d'en tirer les éléments en lien avec la haute performance et d'élaborer une matrice de référence, adaptée au résidentiel.

Suivant les échéanciers de fin de programme d'aide de la PADIQH, le présent rapport ne couvre qu'une partie du temps de monitoring et de suivi. À cet égard, le monitoring et le suivi se poursuivront durant le printemps et l'été 2020, pour approfondir entre autres aux éléments suivants :

- La gestion de la l'eau et de la glace sur la toiture ;
- Les conditions de surchauffe et de gains solaires ;
- La performance thermique en période estivale et le niveau de confort.

De plus, considérant que les enregistreurs de données demeurent en place, un suivi serait fait pour une deuxième année afin de valider le comportement de l'enveloppe, en considérant aussi que les périodes de grands froids ont été peu nombreuses cet hiver.

### .2 Déploiement d'autres pavillons

Dans le cadre du projet général de développement d'*Auvergne laboratoire vivant*, la construction de deux autres pavillons<sup>82</sup> est prévue en 2021, pavillons dont les enveloppes se baseront sur les expériences du premier.

À partir de la conception des bâtiments, prévus sont peu, des possibilités nombreuses s'offrent pour non seulement tirer profit de ce projet actuel, mais aller au-delà et intégrer d'autres facteurs incontournables de la haute-performance tels que cités précédemment.

### .3 Analyse de la performance

Il nous apparait essentiel de mesurer le résultat par rapport à l'effort... encore faut-il identifier l'effort à prioriser. À cet égard, et en nous basant sur les analyses de performances faits ici, de même que des références et programmes certification, il serait intéressant de développer et promouvoir un outil d'aide à la décision tant pour la conception, la mise en service qu'en post-construction. Un tel exercice serait non seulement bénéfique pour les projets d'*Auvergne laboratoire vivant* mais pour la communauté en général.

Dans cette lignée, la diffusion prochaine de ce projet de recherche<sup>83</sup> constitue à notre avis une opportunité pour que des initiatives comme celle d'*Auvergne laboratoire vivant*, puissent faire avancer à la fois la science du bâtiment, l'industrie de la construction au Québec et le bien-être des occupants.

R.Trempe

---

Richard Trempe arch. M.Sc.

---

<sup>82</sup> La construction de deux pavillons jumeaux, avec des systèmes partiellement différents, pourrait offrir une opportunité pour comparer certains paramètres de la haute performance.

<sup>83</sup> Cette présente étape incluait le développement d'outils de diffusion, en vue de communiquer en atelier interactifs le projet au printemps/été 2020.