

SOCIÉTÉ D'HABITATION DU QUÉBEC

RAPPORT

PROTOTYPE D'HABITATION NORDIQUE À QUAQTAQ

**CONCEPTION ET MISE EN ŒUVRE D'UN
MODÈLE D'HABITATION À HAUTE EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE
ET ADAPTÉ AU MODE DE VIE NORDIQUE**



Rapport – Prototype d’habitation nordique à Quaqtqaq

Publié par la Société d’habitation du Québec

Édifice Marie-Guyart

Aile Jacques-Parizeau, 3^e étage

1054, rue Louis-Alexandre-Taschereau

Québec (Québec) G1R 5E7

Téléphone : 1 800 463-4315

Télécopieur : 418 643-4560

Sans frais au Québec : 1 800 463-4315

Courriel : infoshq@shq.gouv.qc.ca



(SHQ)



SocietehabitationQuebec



HabitationSHQ

Coordination et rédaction

Direction de l'expertise-conseil et du soutien à l'industrie

Coordination de l'édition et conception graphique

Direction des communications

Photographies de couverture

Enfants : Région touristique Nunavik © TQ/ Wittenborn, Heiko

Photo de Quaqtqaq : SYLAC/Aventures Inuit

Ce document peut être téléchargé à partir du site Web de la Société d’habitation du Québec au <http://www.habitation.gouv.qc.ca>.

ISBN : 978-2-550-86292-5 (version en ligne)

Dépôt légal – Bibliothèque des Archives nationales du Québec, 2020

© Gouvernement du Québec, 2020

Résumé

Les changements climatiques soulèvent des défis majeurs pour le développement des communautés nordiques. De surcroît, celles-ci dépendent largement des énergies fossiles pour la production d'électricité et le chauffage des habitations. Dans le but de concevoir un modèle d'habitation qui réponde aux impératifs actuels et aux défis anticipés en matière de logement au Nunavik, un prototype a été construit à Quaqtq en 2015. Ce dernier, de typologie « jumelé », a été conçu par des architectes et des ingénieurs d'expérience qui se sont inspirés de la norme Passive House et qui ont inclus des spécificités d'adaptation au mode de vie nordique dans le design. Le processus de réflexion a été amorcé par une charrette de design (atelier de travail collaboratif intensif) et la conception des plans s'est faite de pair avec la réalisation de simulations énergétiques. À la construction, des équipements de monitoring ont été dissimulés dans le prototype pour permettre l'analyse de la consommation énergétique et la validation des choix conceptuels. Bien que des leçons puissent être retenues de ces premières étapes, l'étude à plus long terme des données énergétiques recueillies combinées aux pratiques des occupants permettra, dans de prochains travaux, de juger de la durabilité et de l'efficacité du prototype.

Table des matières

Résumé.....	3
Remerciements	6
1. Introduction.....	7
2. Constats relatifs à la construction nordique.....	8
3. Le prototype	9
3.1 Les grandes étapes.....	9
3.2 Facteurs de conception.....	9
3.3 Choix du site	11
3.4 Description du prototype.....	12
3.4.1 Adaptation au mode de vie nordique.....	13
3.4.2 Fondation et système structural	14
3.4.3 Système d'enveloppe et de plancher	16
3.4.4 Système de chauffage	18
4. Objectifs énergétiques	20
4.1 Simulations énergétiques	20
4.2 Test d'infiltrométrie	21
5. Monitoring.....	22
5.1 Équipements de monitoring	22
5.2 Collecte de données.....	23
5.3 Analyse énergétique préliminaire	23
6. Leçons retenues.....	26
6.1 Phase de conception	26
6.2 Phase de construction.....	26
6.3 Phase de suivi – monitoring	26
6.4 Phase postoccupation	27
7. Prochaines étapes.....	28
7.1 Suivi qualitatif	28
7.2 Suivi quantitatif	28
Conclusion	29

Liste des figures

Figure 1 : Croquis réalisés lors de la charrette de design, Kuujuaq, 2012	10
Figure 2 : Village nordique de Quaqtac	11
Figure 3 : Site du prototype, Quaqtac	11
Figure 4 : Façade sud du prototype	12
Figure 5 : Façade d'un J2.2 construit par la Société Makivik	12
Figure 6 : Plan du prototype	13
Figure 7 : Vues de l'intérieur du prototype.....	14
Figure 8 : Façade nord du prototype.....	15
Figure 9 : Pieu ancré dans le sol.....	16
Figure 10 : Livraison des pieux au chantier.....	16
Figure 11 : J2.2 Standard – Coupe de mur type.....	17
Figure 12 : Prototype – Coupe de mur façade avant du prototype.....	17
Figure 13 : Équipements de la salle mécanique	18
Figure 14 : Conduits de ventilation dans l'entre-plancher	19
Figure 15 : Consommation quotidienne de mazout du prototype d'habitation en 2018.....	24
Figure 16 : Consommation quotidienne d'électricité du prototype d'habitation en 2018.....	25

Liste des tableaux

Tableau 1 : Composition des murs extérieurs.....	17
Tableau 2 : Étude comparative de la performance énergétique théorique des systèmes.....	20
Tableau 3 : Données et fréquences des prises de mesure dans chaque logement et dans la salle mécanique	22

Remerciements

La Société d'habitation du Québec tient à remercier la Société du Plan Nord pour son appui financier à la réalisation du projet ainsi que les intervenants suivants pour leur collaboration au développement du prototype d'habitation de Quaқтақ :

Frédéric Gagné, Administration régionale Kativik
Jimmy Okpik, Office municipal d'habitation Kativik
Maxime Ladouceur, Société Makivik
Michel Jodoin, Office municipal d'habitation Kativik
Michel Savignac, Office municipal d'habitation Kativik
Raphaël Tixier, Société Makivik
Shun-Hui Yang, Société Makivik
Watson Fournier, Office municipal d'habitation Kativik

La Société d'habitation du Québec remercie également EVOQ (FGMDA), SNC-Lavalin, Sigma, CanPhi, le Village nordique de Quaқтақ et tous les participants à la charrette de design.

1. Introduction

Depuis près de 40 ans, les interventions de la Société d'habitation du Québec (SHQ) ont permis d'aider des milliers de familles à se loger dans des habitations adaptées aux conditions climatiques nordiques. Sur ce territoire, les défis en matière de construction durable sont pourtant nombreux; les ressources énergétiques coûteuses et limitées, les changements climatiques et les conditions météorologiques intenses ainsi que la rareté des matériaux et de la main-d'œuvre qualifiée en sont quelques exemples.

Pour faire face à ces défis tout en répondant aux spécificités du mode de vie nordique, un prototype d'habitation a été construit à Quaqaq en 2015. Le projet a été entrepris par la SHQ et financé par la Société du Plan Nord (SPN) et la SHQ, et de nombreux intervenants de divers horizons ont participé à son élaboration. La construction du prototype a été réalisée par la Société Makivik et depuis sa mise en fonction, il est loué en tant que logements à loyer modique. L'Office municipal d'habitation Kativik (OMHK) agit à titre de gestionnaire de ces deux logements, comme il le fait pour l'ensemble des autres logements à loyer modique au Nunavik.

Ce rapport décrit comment le prototype répond aux impératifs actuels tout en mettant à l'épreuve des éléments de conception uniques et des technologies d'efficacité énergétique innovantes.

2. Constats relatifs à la construction nordique

Selon les plus récents sondages¹, la population du Nunavik s'élève à 13 777 habitants. La croissance démographique est constante, la population ayant plus que doublé dans les 35 dernières années – elle était de 5 860 habitants en 1986. De plus, la population est très jeune, 50 % de celle-ci ayant moins de 25 ans. Une forte expansion du parc immobilier a donc été nécessaire au cours des dernières décennies et il est prévisible que cette tendance se poursuive.

Le parc d'habitations à loyer modique du Nunavik compte 3 597 unités locatives, représentant 90 % de l'ensemble des habitations sur le territoire². La construction, l'exploitation et la rénovation de ce parc sont subventionnées par diverses ententes et divers programmes du Québec et du Canada. Depuis le tournant de l'an 2000, la construction des logements sociaux est réalisée par la Société Makivik tandis que la gestion du parc immobilier est sous la responsabilité de l'OMHK.

Il est à noter que la planification des constructions et des rénovations au Nunavik doit être rigoureuse puisqu'elle est soumise à des contraintes particulières. Ainsi, l'attribution de logements selon chaque village est généralement déterminée et annoncée au printemps de l'année précédant les constructions, lors de l'assemblée générale de l'Administration régionale Kativik (ARK). Les villages où les constructions auront lieu varient d'une année à l'autre selon les besoins locatifs les plus pressants. D'une manière générale³, la planification de la construction est faite par la Société Makivik et permet une partie de la commande des matériaux à l'automne et l'autre au printemps. Les échéances de chantier sont ensuite prévues en fonction de la livraison des matériaux. Puisqu'il n'y a aucun lien terrestre entre les villages du Nunavik, les matériaux sont chargés sur les transporteurs maritimes (au départ du port de Valleyfield) à partir du mois de juin et jusqu'à la fin de l'été, puis livrés dans les villages désignés quelques semaines plus tard. Il est également possible, mais très onéreux, d'acheminer certains matériaux par avion; notons que malgré cela, les denrées périssables destinées aux travailleurs doivent nécessairement être acheminées par cargo aérien.

D'autres contraintes doivent aussi être considérées dans la planification, la réalisation et la mise en œuvre des travaux. En effet, la quasi-totalité des villages nordiques du Nunavik n'a aucun système d'aqueduc souterrain ni d'égout municipal. Chaque habitation est donc pourvue d'une salle mécanique équipée de réservoirs d'eau potable et d'eaux usées qui sont régulièrement remplis ou vidés par des camions-citernes. Tout dépendamment de la typologie de l'immeuble, il peut y avoir une salle mécanique pour plusieurs logements. C'est notamment le cas pour le prototype, où une salle mécanique alimente les deux côtés du jumelé. Par ailleurs, dans tous les villages nordiques, l'électricité est produite par des centrales qui fonctionnent au diesel. En raison des coûts de production élevés et de la capacité de production limitée des centrales, cette électricité est utilisée uniquement pour alimenter les appareils électroménagers et l'éclairage. Le mazout est utilisé pour alimenter le chauffage des logements et de l'eau domestique. Enfin, tous les travaux de construction du Nunavik doivent préserver le pergélisol sur lequel sont édifiées les constructions. Le plus souvent, des lits de gravier servent à rehausser le niveau du pergélisol sous les habitations. Cependant, plusieurs villages font face à un manque de matériaux granulaires, et d'autres techniques de fondations doivent donc être envisagées. Dans ces villages, la rareté des matériaux granulaires risque d'avoir un effet important sur les coûts de construction des fondations et des remblais non structurels requis pour l'accès aux services et pour différents équipements d'entreposage.

1. www.stat.gouv.qc.ca/statistiques/profils/region_10/region_10_00.htm (2018).

2. www.omhkativikmhb.qc.ca/fr/ (2019).

3. Il en a été autrement pour le prototype, comme décrit à la section 3.

3. Le prototype

3.1 Les grandes étapes

Le prototype visait la mise à l'essai de différentes technologies, de nouveaux matériaux de construction et de détails de conception innovants pour répondre à des objectifs énergétiques et d'adaptation au mode de vie nordique. Il devait aussi permettre une collecte de données par monitoring.

Quatre ans se sont écoulés entre l'amorce du processus de conception d'un nouveau modèle d'habitation nordique et la construction du prototype. De nombreux intervenants ont participé au processus et ont permis d'élaborer et de mettre en œuvre ce projet novateur, premier du genre au Nunavik.

- **2012** : une charrette de design permet aux intervenants inuits d'explorer des concepts d'habitation adaptés à leurs pratiques culturelles, modernes et traditionnelles;
- **2014** : le site est choisi, les devis d'architecture et les dessins techniques sont produits. Les pieux ainsi que la foreuse sont livrés par bateau;
- **2015** : les forages sont effectués et les pieux sont ancrés dans le sol en avril, les matériaux sont livrés en juin et les travaux de construction débutent en août et se poursuivent sur 17 semaines. Les ingénieurs testent les dispositifs de monitoring;
- **2016** : deux familles emménagent dans le prototype en janvier et des données énergétiques sont recueillies depuis.

3.2 Facteurs de conception

Comme mentionné précédemment, les objectifs du prototype visaient une amélioration de l'adaptation au mode de vie nordique et de l'efficacité énergétique du bâti. Plus précisément, le prototype devait être adapté à la rigueur du climat, répondre aux attentes de la communauté inuite, s'inspirer de la norme Passive House et utiliser des techniques de fondations adaptées au site. Le prototype devait aussi tenir compte des changements climatiques tout en intégrant des stratégies de performance aérodynamique telles qu'une volumétrie, des pentes de toit et des détails de garde-corps minimisant l'accumulation de neige, ou encore une surélévation de la construction pour diminuer les congères, etc.

Pour répondre à l'objectif d'adaptation au mode de vie nordique, une charrette de design a eu lieu à Kuujuaq au printemps 2012. Elle a regroupé 20 intervenants d'horizons variés. Plusieurs résidents du Nunavik ont collaboré avec des représentants de la SHQ, de l'OMHK, de la Société Makivik, de l'ARK et de l'École de technologie supérieure, ainsi qu'avec un architecte indépendant, une étudiante en architecture et d'une chercheure postdoctorante du Centre de recherche du CHU de Québec-Université Laval. Sur le thème de l'habitation durable, la charrette de design visait à réfléchir et à échanger à propos des besoins par type d'activités, de la définition des espaces et des attentes esthétiques, pratiques et relatives au bâtiment sur le site. Au moyen de croquis et d'esquisses (Figure 1), les réflexions des participants ont mené à des pistes potentielles d'amélioration du bâti. Suite à la charrette de design, un rapport⁴ a été produit et a mené à l'élaboration des plans du prototype d'habitation.

4. *Rapport Charrette de réflexion sur l'habitation au Nunavik, Kuujuaq, 2012* – partage sur demande.

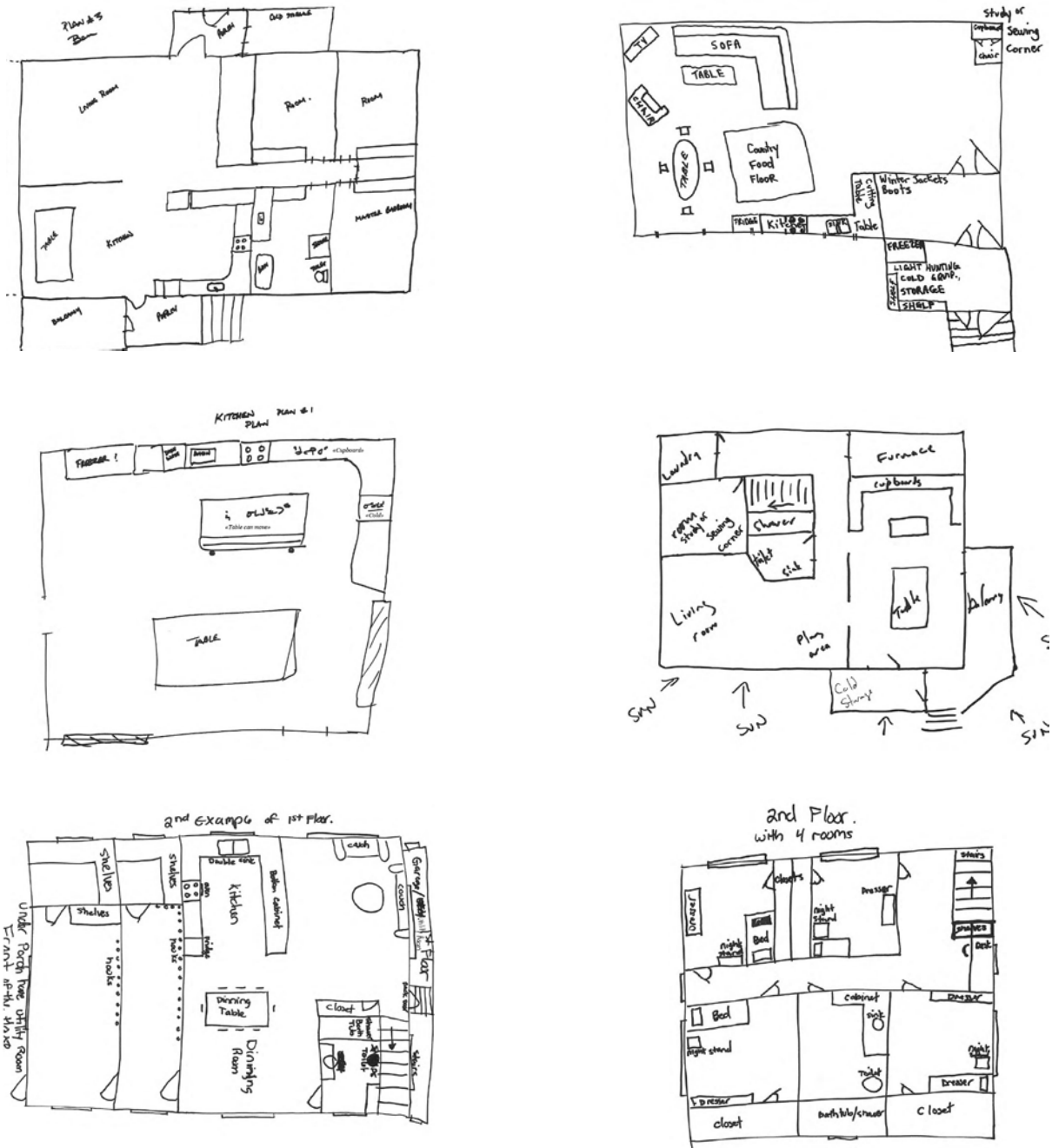


Figure 1 : Croquis réalisés lors de la charrette de design, Kuujuaq, 2012

Source : Rapport Charrette de réflexion sur l'habitation au Nunavik, Kuujuaq, 2012

En réponse à l'objectif d'atteindre une meilleure efficacité énergétique, l'équipe de design mandatée et les organismes nordiques ont reçu une formation d'un jour en juillet 2013 par le Canadian Passive House Institute (CanPhi). Cette formation couvrait les conditions générales et fondamentales de conception pour que le prototype atteigne les standards de la norme Passive House et les performances désirées en climat nordique (incluant les matériaux d'étanchéité, les systèmes de ventilation, les ponts thermiques et les fenêtres). Par ailleurs, CanPhi a été mandaté pour accompagner et conseiller les architectes et les ingénieurs lors de la conception.

3.3 Choix du site

En mai 2014, le village nordique de Quaqtq a été retenu pour la construction du prototype. La topographie, la géomorphologie et les possibilités d'orientations du prototype sur le site ont été des facteurs déterminants de ce choix d'implantation (Figures 2 et 3). En fonction de ce choix de site, une étude d'avant-projet et des plans préliminaires ont été produits.



PROTOTYPE

Figure 2 : Village nordique de Quaqtq

Source : Gouvernement du Québec, 2016



PROTOTYPE

Figure 3 : Site du prototype, Quaqtq

Source : Gouvernement du Québec, 2016

Le site du prototype a une forte déclivité, est majoritairement composé de roc et est recouvert de mollisol (couche superficielle du sol pergélisolé) de composition et d'épaisseur variables représentant plus ou moins un mètre. Le site favorise une fondation sur pieux et permet une orientation optimale par rapport à la course du soleil.

3.4 Description du prototype

Lorsque la Société Makivik a pris en charge la construction des logements au début des années 2000, elle a conçu des maisons unifamiliales et des jumelés J2.2 (J2.2 pour « jumelé de deux chambres »). Le modèle jumelé représente maintenant à lui seul environ 50 % des unités de logement de la région⁵. Ainsi, l'équipe de design a proposé que le prototype (Figure 4) soit un jumelé similaire au modèle standard (Figure 5), quoique plus grand⁶ et avec certaines particularités.



Figure 4 : Façade sud du prototype

Source : SHQ, 2016



Figure 5 : Façade d'un J2.2 construit par la Société Makivik

Source : SHQ, 2014

5. Jumelés construits depuis 1980, unités de 2 ou 4 chambres, selon les données fournies par l'OMHK, 2016.

6. Lors des études d'avant-projet, l'équipe de design a proposé que le prototype ait une superficie 13 % plus grande que celle d'un jumelé standard. Toutefois, afin de réduire les coûts de construction et d'opération, le prototype construit a une superficie 6 % plus grande qu'un jumelé standard.

3.4.1 Adaptation au mode de vie nordique

En réponse à la charrette de design, les espaces intérieurs ont été repensés et des détails de conception ont été ajoutés (Figure 6). Comme pour les jumelés conçus par la SHQ dans les années 1980, l'entrée au logement se fait par un porche froid qui transite vers un vestibule chauffé. Cependant, à la demande des participants à la charrette de design, les espaces sont plus spacieux et le porche froid du prototype est muni d'un meuble de rangement avec une surface de travail en inox. Le vestibule chauffé peut accueillir un congélateur grand format et il contient un rangement intégré pour les vêtements d'extérieur et une armoire à verrou servant à entreposer les armes de chasse. Il est ouvert sur la salle de séjour.

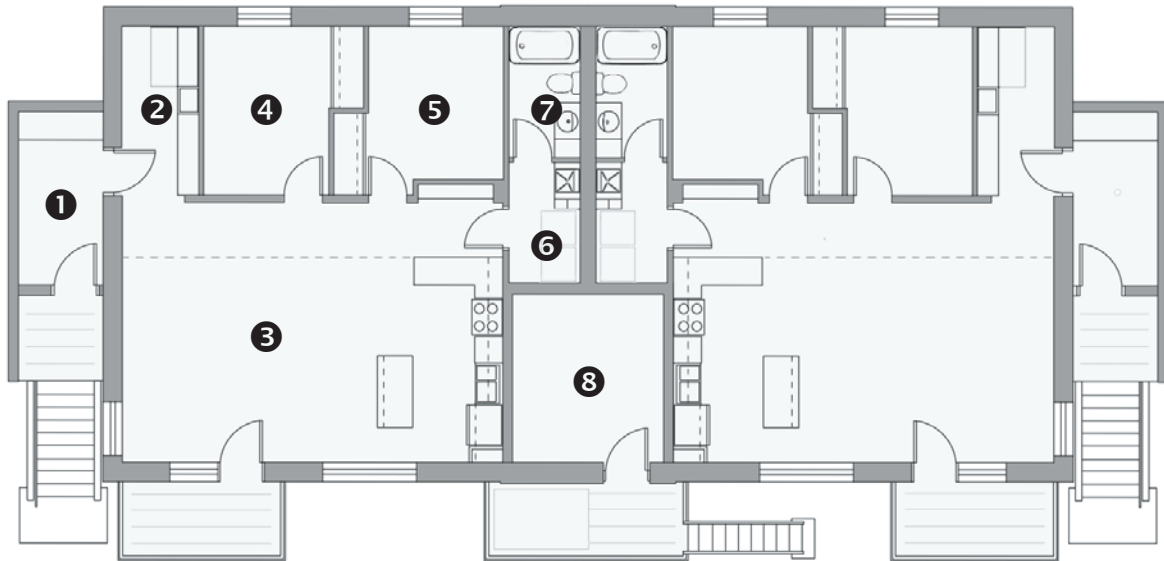


Figure 6 : Plan du prototype

❶ Porche froid ❷ Vestibule chauffé ❸ Séjour et cuisine ❹ Chambre 1 ❺ Chambre 2 ❻ Salle de lavage ❼ Salle de bain ❽ Salle mécanique

Source : Société Makivik

Conformément aux améliorations suggérées par les intervenants, la cuisine, la salle à manger et le séjour constituent une plus grande aire ouverte, avec un îlot mobile qui offre une flexibilité d'aménagement aux occupants. Une surface de travail amovible en panneaux de polyéthylène, résistante à la coupe des produits de chasse et de pêche, est aussi fournie dans la cuisine. Les plafonds du prototype sont plus hauts et un rangement en mezzanine surplombe toute la longueur de cette aire ouverte (Figure 7). Cette dernière profite d'une grande fenestration qui maximise l'éclairage naturel du sud et permet des gains solaires hivernaux importants. Du séjour, une porte donne accès au balcon avant et sert aussi d'issue d'urgence⁷; dans le J2.2 standard, une fenêtre à charnière à l'arrière du bâtiment joue ce rôle. Pour limiter les bruits, la laveuse et la sècheuse sont dans une salle de lavage fermée, adjacente à la salle de bain. Un évier et un rangement, incluant une seconde armoire à verrou pour l'entreposage des munitions de chasse, sont inclus dans cet espace.

7. Dans le cas d'une construction sur pieux, l'installation d'une sortie de secours arrière est un défi, compte tenu de la déclivité du terrain.



Figure 7 : Vues de l'intérieur du prototype

❶ Cuisine et salon à aire ouverte. ❷ Surface de travail amovible. ❸ Rangement dans le vestibule chauffé. ❹ Comptoir en inox dans le porche froid.

Source : Société d'habitation du Québec, 2015

3.4.2 Fondation et système structural

Dans une volonté exploratoire de tester un type de fondation peu utilisé au Nunavik, le jumelé repose sur des pieux en acier soudés à une structure d'assise en acier (Figure 8). Dans le cas du prototype, la location de l'équipement de forage et l'absence d'économie d'échelle ont fait en sorte que la fondation sur pieux s'est avérée plus dispendieuse qu'une fondation sur vérins. Toutefois, les pieux présentent de nombreux avantages puisqu'ils permettent de construire sur des terrains accidentés, offrent une grande stabilité, limitent la quantité de granulats nécessaire et assurent une bonne circulation du vent sous les bâtiments afin d'y prévenir l'accumulation de neige.

Les pieux atteignent une profondeur minimale de deux mètres dans le roc (Figure 9). Pour faciliter le forage, leur installation s'est déroulée au mois d'avril 2015, pendant que le mollisol était encore gelé. Les pieux sont des tuyaux d'acier de 141 mm de diamètre dans lesquels des percements ont été faits dans la partie enfouie, à tous les 600 mm (Figure 10). Un ciment est coulé à l'intérieur des pieux et déborde par ces trous pour assurer une meilleure adhérence avec le roc. Des anneaux de métal de 15 mm d'épaisseur ont été soudés sur chaque pieu, en alternance avec les percements, permettant une meilleure adhérence entre les pieux, le roc et le coulis. Deux plaques d'acier, de 12 mm et de 19 mm d'épaisseur, sont soudées à la tête des pieux afin de les boulonner à la structure d'assise en acier sous l'habitation.



Figure 8 : Façade nord du prototype

Source : Société d'habitation du Québec, 2015

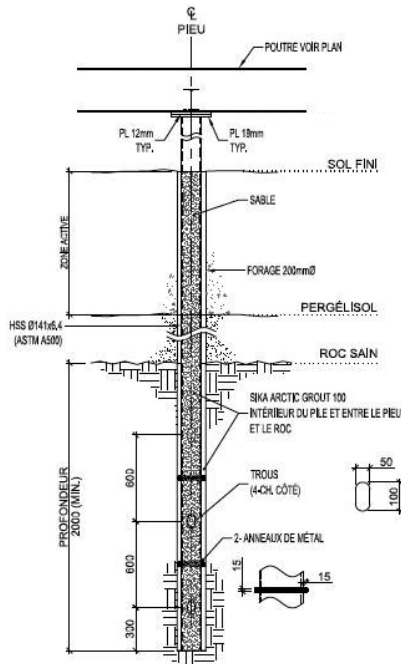


Figure 9 : Pieu ancré dans le sol

Source : Société Makivik, plan tel que construit, 2015



Figure 10 : Livraison des pieux au chantier

Source : Société d'habitation du Québec, 2015

3.4.3 Système d'enveloppe et de plancher

Pour atteindre un rendement énergétique supérieur à celui des J2.2 standards, la composition de l'enveloppe thermique du bâtiment devait être améliorée (Tableau 1). Ainsi, les fenêtres du prototype à haute efficacité énergétique sont à vitrage triple et les murs ont été construits en ossature de bois légère de manière à rehausser le niveau d'isolant thermique.

Puisque le plancher du prototype constitue une 6e façade, sa composition devait atteindre un niveau de résistance thermique comparable à celui des murs extérieurs (Figures 11 et 12).

Composition des murs extérieurs	
J2.2 Standard	Prototype
Planche de fini extérieur	Planche de fini extérieur
Fourrure verticale en bois – 19 x 64 mm	Fourrure verticale en bois – 19 x 64 mm
Pare-air	Isolant rigide de polystyrène extrudé – 50 mm
Isolant rigide de polystyrène extrudé thd – 50 mm	Pare-air autocollant
Panneau de OSB – 11 mm	Contreplaqué – 13 mm
Colombage de bois – 38 x 140 mm	Colombage de bois – 38 x 140 mm
Laine minérale isolante pleine cavité	Espace d'air – 50 mm
Pare-vapeur – 0.15 mm	Colombage de bois – 38 x 89 mm
Fourrure – 19 mm	Isolant laine de fibre de verre haute densité soufflé
	Pleine cavité
	Membrane optima
	Pare-vapeur
	Fourrure horizontale en bois – 19 x 64 mm
Panneau de gypse – 13 mm	Panneau de gypse – 13 mm
Valeur totale RSI de 5.1 / R 29	Valeur totale RSI de 10.04 / R 56.25

Tableau 1 : Composition des murs extérieurs

Source : J2.2 standard 2014 par EVOQ (FGMDA) et Plans « tel que construit » Prototype 2016 par EVOQ (FGMDA)

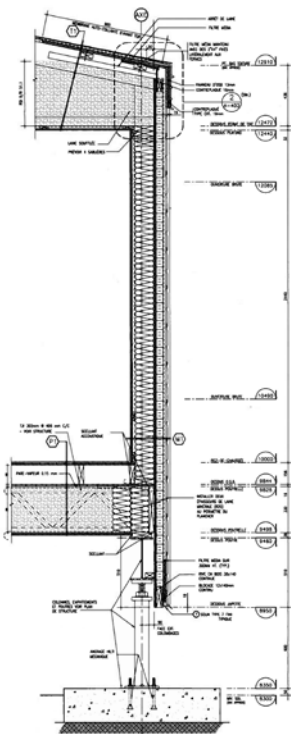


Figure 11 : J2.2 Standard – Coupe de mur type

Source : Société Makivik, 2014

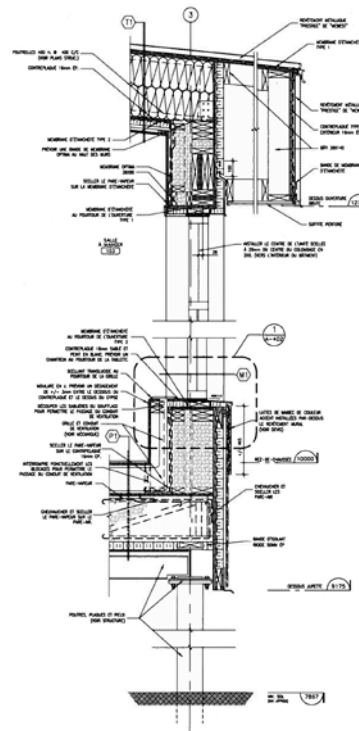


Figure 12 : Prototype – Coupe de mur façade avant du prototype

Source : Société Makivik, 2016

Comme pour les murs extérieurs, l'isolant utilisé pour le plancher est de la laine cellulosique à haute densité. Pour la toiture, deux épaisseurs de laine minérale en matelas ont été utilisées, en plus du polystyrène extrudé. La composition de plancher des logements du prototype atteint ainsi une valeur RSI de 10,155 et la toiture a une valeur RSI⁸ de 10,341 (Tableau 2).

Le parement extérieur du prototype est en composite de bois, un matériau largement utilisé au Nunavik, qui demande peu d'entretien et qui est facile à réparer. Un parement extérieur métallique couvre la largeur de la salle mécanique de l'avant jusqu'à l'arrière du prototype ainsi que les murs du vide sanitaire. Le prototype possède aussi un revêtement de toiture métallique, plus durable que le bardeau d'asphalte conventionnel. Un léger débord de toit sur le côté sud du prototype permet de réduire les gains solaires en été, sans contrer les gains solaires hivernaux.

3.4.4 Système de chauffage

Le système hybride (air chaud – eau chaude) installé à ce prototype constitue une nouveauté. Du mazout alimente la bouilloire du système de chauffage et la chaleur produite par la bouilloire est ensuite transférée à un réservoir d'eau chaude à doubles serpentins. Ces serpentins alimentent les logements en eau chaude domestique et fournissent également la chaleur au système de ventilation et de chauffage (Figure 13). Dans les jumelés J2.2 standards, la salle mécanique est équipée de deux fournaies à air chaud et d'un chauffe-eau indépendant, nécessitant tous des brûleurs au mazout.

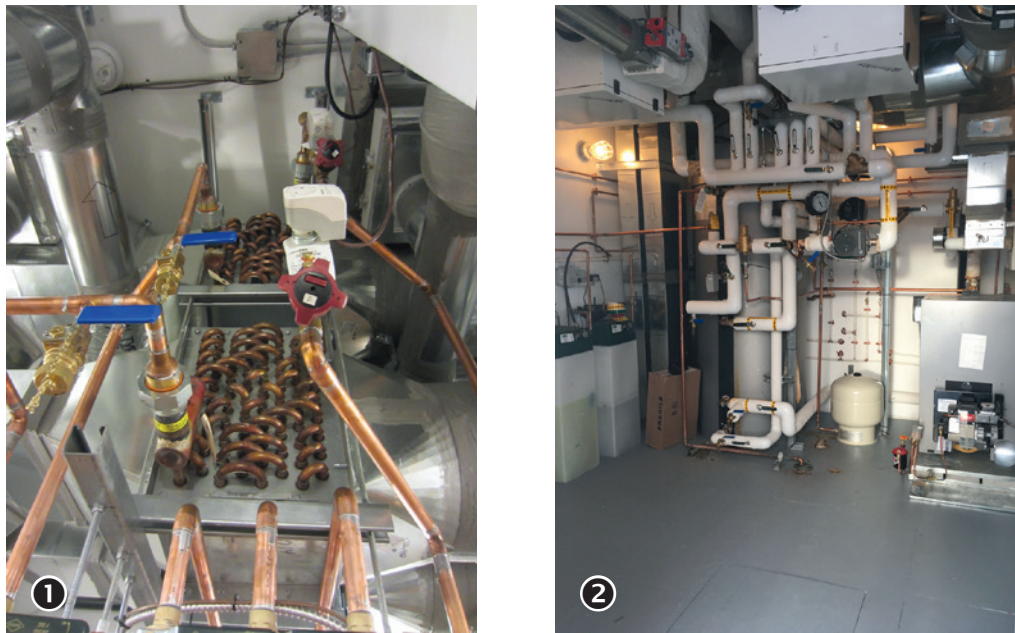


Figure 13 : Équipements de la salle mécanique

❶ Serpentins pour le chauffage de l'air. ❷ Salle mécanique.

Sources : SHQ et SNC-Lavalin, 2017

8. Valeur R du système international (résistance thermique des matériaux).

Une autre nouveauté consiste en un ventilateur récupérateur d'énergie (VRE) qui récupère une partie de la chaleur résiduelle de l'air vicié évacué vers l'extérieur. Cette chaleur sert à réchauffer l'air neuf avant de parvenir au système de ventilation. L'air chaud est ensuite distribué dans les logements par des conduites de ventilation qui circulent dans l'entre-plancher (Figure 14). Les sorties d'air sont situées au bas des fenêtres et se divisent en deux zones de distribution par logement, l'une nord, l'autre sud.



Figure 14 : Conduits de ventilation dans l'entre-plancher

Source : Société Makivik, 2015

4. Objectifs énergétiques

Les concepteurs ont réalisé des études énergétiques détaillées d'avant-projet permettant de comparer la performance prévue du prototype à celle d'un modèle J2.2 de référence. Notons toutefois qu'afin de réduire les coûts de construction et d'opération, le prototype construit a une superficie moindre (+6 % que le J2.2 de référence) que celle du prototype utilisé dans ces simulations (+13 % que le J2.2 de référence).

4.1 Simulations énergétiques

En phase de conception, l'équipe de design a utilisé l'outil d'accompagnement Passive House Planning Package (PHPP), pour évaluer l'efficacité énergétique du prototype et la comparer à un J2.2 de référence (Tableau 2). Le PHPP est un outil logiciel de conception basé sur un chiffrier, créé par le Passivhaus Institute, qui évalue la demande énergétique d'un projet. La norme Passive House vise des économies d'énergie par des facteurs tels que l'isolation, l'étanchéité à l'air et les systèmes mécaniques.

En complément, le logiciel EnergyPlus™, permettant aussi de faire des simulations de consommation énergétique et d'utilisation d'eau, a été utilisé afin de contre-valider les résultats obtenus avec le PHPP ainsi que pour établir les paramètres de construction du prototype.

Il s'est avéré que la norme Passive House ne pouvait être atteinte au Nunavik puisque des obstacles trop importants se présentaient quant à la certification. À cet égard, notons le double défi du captage hivernal (durée et course du soleil réduites), l'exposition au froid d'une 6e façade, les pertes énergétiques relatives à la livraison de l'eau dans les réservoirs, l'incompatibilité entre le niveau d'isolation requis et les réalités de la construction nordique, etc. Les concepteurs ont donc proposé un système optimisé répondant aux réalités du Nunavik qui prévoyait une réduction de 60 % de la facture énergétique.

Paramètres	J2.2 de référence*	Bâtiment Passive House**	Prototype (simulations)
Superficie nette (deux logements)	181 m ²	181 m ²	181 m ²
Résistance thermique des murs extérieurs	RSI 5,332	RSI 18,56	RSI 9,556
Résistance thermique du plancher	RSI 8,206	RSI 14,398	RSI 10,155
Résistance thermique de la toiture	RSI 9,043	RSI 15,051	RSI 10,341
Consommation énergétique annuelle pour le chauffage	310 kWh/m ² (soit 20,6 fois la norme Passive House)	95 kWh/m ² (soit 6,3 fois la norme Passive House)	128 kWh/m ² *** (soit 8,5 fois la norme Passive House)
Charge maximale de chauffage	122 W/m ²	34 W/m ²	42 W/m ² ***

Tableau 2 : Étude comparative de la performance énergétique théorique des systèmes

* Modèle d'habitation théorique servant de base de référence pour l'étude comparative de la performance énergétique.

Plan et volume utilisés équivalents au prototype.

Enveloppe telle que le J2.2 standard de la Société Makivik.

** Modèle d'habitation tentant d'atteindre la norme Passive House.

Plan et volume utilisés équivalents au prototype.

*** Données analysées à la section 5.3.

Source : Rapport unifié, décembre 2014, EVOQ (FGMDA) et SNC-Lavalin, pp. 3-5

4.2 Test d'infiltrométrie

Un test d'optimisation de l'étanchéité a eu lieu lors d'une visite de chantier au mois de novembre 2015. Au moment de réaliser le test, l'intérieur des murs était uniquement couvert d'un pare-vapeur. La toiture, les fenêtres et le revêtement extérieur étaient en place, mais le système de ventilation, les réservoirs d'eaux usées et propres ainsi que la plomberie n'étaient pas encore installés. Étant donné l'état des lieux au moment de faire ce premier test, l'objectif n'était pas de mesurer le taux de changement d'air à l'heure, mais plutôt de cibler les endroits où l'étanchéité pouvait être améliorée. Ce test d'optimisation de l'étanchéité a permis de colmater une quinzaine de points d'infiltration d'air.

Un test d'infiltrométrie réalisé au mois d'août 2018 a mesuré que le prototype effectuait un changement d'air à l'heure de $1\ 152\ \text{pi}^3/\text{min}$ à 50 Pascal pour un volume estimé de $22\ 685\ \text{pi}^3$. Cette mesure équivaut à 3,05 changements d'air à l'heure, ce qui se traduit par une moins grande infiltration d'air que dans les J2.2 standards⁹ situés à Quaqtq, qui correspond plutôt à 4,50 changements d'air à l'heure.

9. Bâtiments de type J2.2-2012 situés à Quaqtq, ayant une moyenne de $1054\ \text{pi}^3/\text{m}$ à 50 Pa avec un volume intérieur de $14\ 019\ \text{pi}^3$.

5. Monitoring

5.1 Équipements de monitoring

Les besoins en équipements de monitoring ont été déterminés pendant la phase de conception du prototype, par l'équipe de la SHQ en collaboration avec une firme spécialisée en automatisation; ils ont ensuite été intégrés à la construction (Tableau 3). Indépendamment de la composition des ménages locataires, les objectifs principaux des équipements de monitoring étaient de valider les choix conceptuels, de comparer la consommation énergétique des deux logements du prototype, d'offrir la possibilité d'ajouter ou de retirer des points de mesure et des appareils et d'évaluer les performances énergétiques du prototype. Ainsi, les sondes et compteurs ont été installés à des endroits précis lors de la construction, de manière à ce qu'ils soient imperceptibles par les occupants.

Aux 15 minutes	Aux 60 minutes	Sur 24 h
<p>Au retour d'air du système hybride de ventilation-chauffage :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. niveau de CO₂ 2. température 3. humidité relative <p>Température ambiante :</p> <ol style="list-style-type: none"> 4. chambre 1 5. chambre 2 6. porche froid 7. séjour-cuisine 8. sortie VRE 	<p>Niveau de l'eau :</p> <ol style="list-style-type: none"> 9. réservoir d'eau potable 10. réservoir d'eaux usées <p>Température de l'eau :</p> <ol style="list-style-type: none"> 11. dans le réservoir d'eau potable 12. à la sortie du réservoir d'eau chaude 13. dans le réservoir d'eaux usées 14. Température extérieure 	<ol style="list-style-type: none"> 15. Consommation d'électricité 16. Consommation de mazout <p>Temps d'utilisation de :</p> <ol style="list-style-type: none"> 17. hotte de cuisine 18. ventilation de la salle de bain 19. sècheuse 20. VRE <p>Temps d'ouverture de :</p> <ol style="list-style-type: none"> 21. porte extérieure 22. porte entre porche et vestibule 23. porte du balcon 24. porte de la salle mécanique 25. fenêtre de la chambre 1 26. fenêtre de la chambre 2 27. fenêtre de la cuisine 28. fenêtre du séjour 29. fenêtre du balcon

Tableau 3 : Données et fréquences des prises de mesure dans chaque logement et dans la salle mécanique

5.2 Collecte de données

Selon les dispositifs, les données sont enregistrées quotidiennement aux 15 minutes, aux 60 minutes ou une fois aux 24 heures. De plus, certaines sondes mesurent un temps d'opération, par exemple l'utilisation de la hotte de cuisine ou la fréquence d'ouverture des fenêtres.

Des données sont recueillies depuis l'emménagement des locataires en janvier 2016. Cependant, des travaux correctifs ont été réalisés à l'automne 2016 afin de remplacer le compteur de mazout. Certaines données d'analyse font donc suite à ce remplacement. Par ailleurs, compte tenu de l'intermittence de la connexion Internet satellitaire, les données ont été enregistrées sur un ordinateur installé dans la salle mécanique, entre les rétablissements de la communication. Depuis, elles sont enregistrées localement, puis transmises sur un site FTP, qui a aussi connu de légers problèmes de réception. Au mois d'avril 2019, un technicien informatique s'est rendu à Quaqtaq afin d'ajuster les appareils de mesure, de recueillir la base de données et de stabiliser le système de transmission. La sauvegarde des données, au fil des années, permettra une analyse plus éclairée de l'efficacité énergétique du prototype.

5.3 Analyse énergétique préliminaire

Les analyses préliminaires effectuées à la SHQ ont permis de valider les points de mesure, leurs emplacements et le bon fonctionnement des appareils. Certains facteurs limitent toutefois les analyses plus poussées, notamment le facteur temporel. En effet, il est encore tôt pour juger de la durabilité et de l'efficacité du prototype. Par ailleurs, pour une analyse précise de l'efficacité énergétique du bâtiment, les données de consommation devront être associées aux pratiques des occupants, selon chaque logement, puisque ces derniers influencent largement les prévisions (voir la section 8.1). Enfin, il est à noter que le volume du prototype tel que construit (718 m³) est beaucoup plus grand que celui d'un J2.2 standard (335 m³); leur comparaison énergétique réelle est donc moins significative que lors des simulations.

Il est tout de même possible de soulever quelques éléments probants et de faire la comparaison entre les données réelles et les données simulées du prototype d'habitation nordique.

D'abord, la consommation énergétique est plus élevée que prévu. Pour le chauffage des logements et pour la production de l'eau chaude domestique, en 2018, le prototype a consommé une quantité de 5 774 litres de mazout (Figure 15). Selon un rendement théorique de 80 %, cela équivaut à 237 kWh/m², alors que la consommation anticipée était de 170 kWh/m² ⁽¹⁰⁾.

10. Cette donnée équivaut à la somme de la consommation énergétique anticipée du chauffage des logements (128 kWh/m²) et de la consommation énergétique anticipée de la production d'eau chaude domestique (42 kWh/m²).

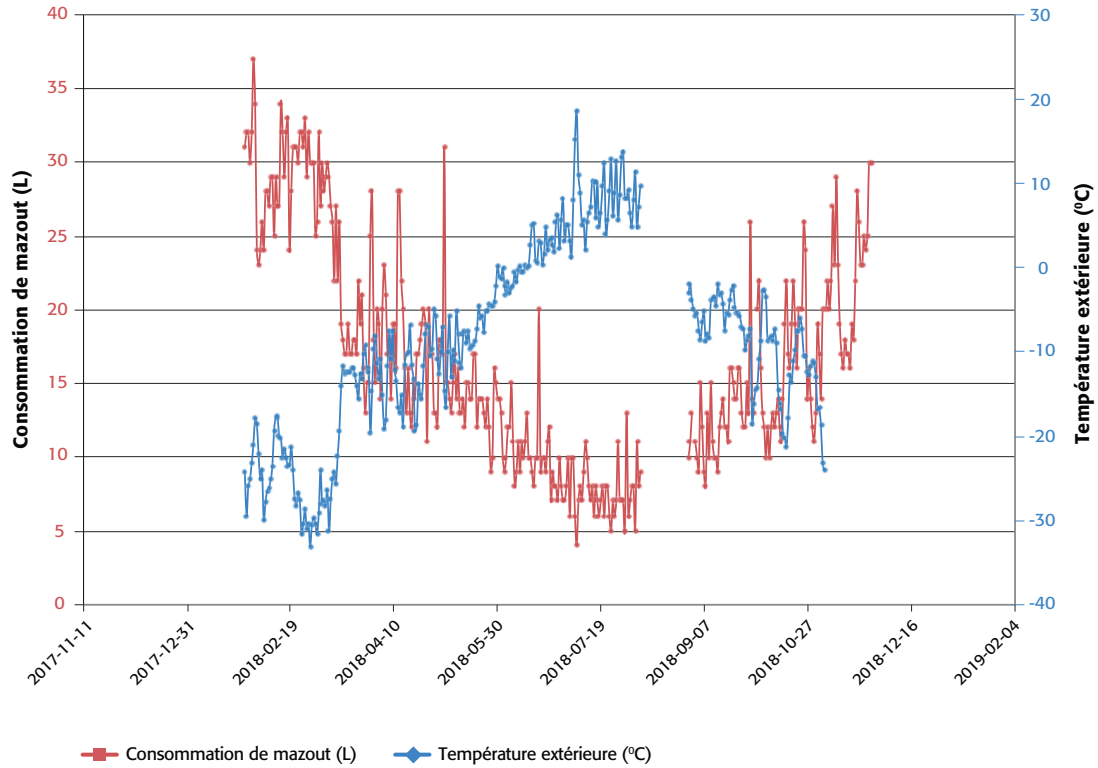


Figure 15 : Consommation quotidienne de mazout du prototype d’habitation en 2018

Source : Société d’habitation du Québec, 2019

Pendant la même année, le prototype a consommé une quantité d’électricité de 16 501 kWh (Figure 16), alors que la consommation anticipée était de 12 183 kWh pour le total des trois compteurs électriques (logement 1, logement 2 et salle mécanique).

En 2018, la consommation énergétique de chauffage a été de 178 kWh/m²(¹¹), alors que la consommation énergétique de chauffage anticipée (air seulement) était de 128 kWh/m².

L’écart entre les résultats projetés et réels pourrait s’expliquer par l’absence de considération des pratiques humaines dans les logiciels de simulations énergétiques.

11. Cette donnée résulte du suivi de la consommation d’eau chaude domestique et se base sur un différentiel de température hypothétique de 56°C.

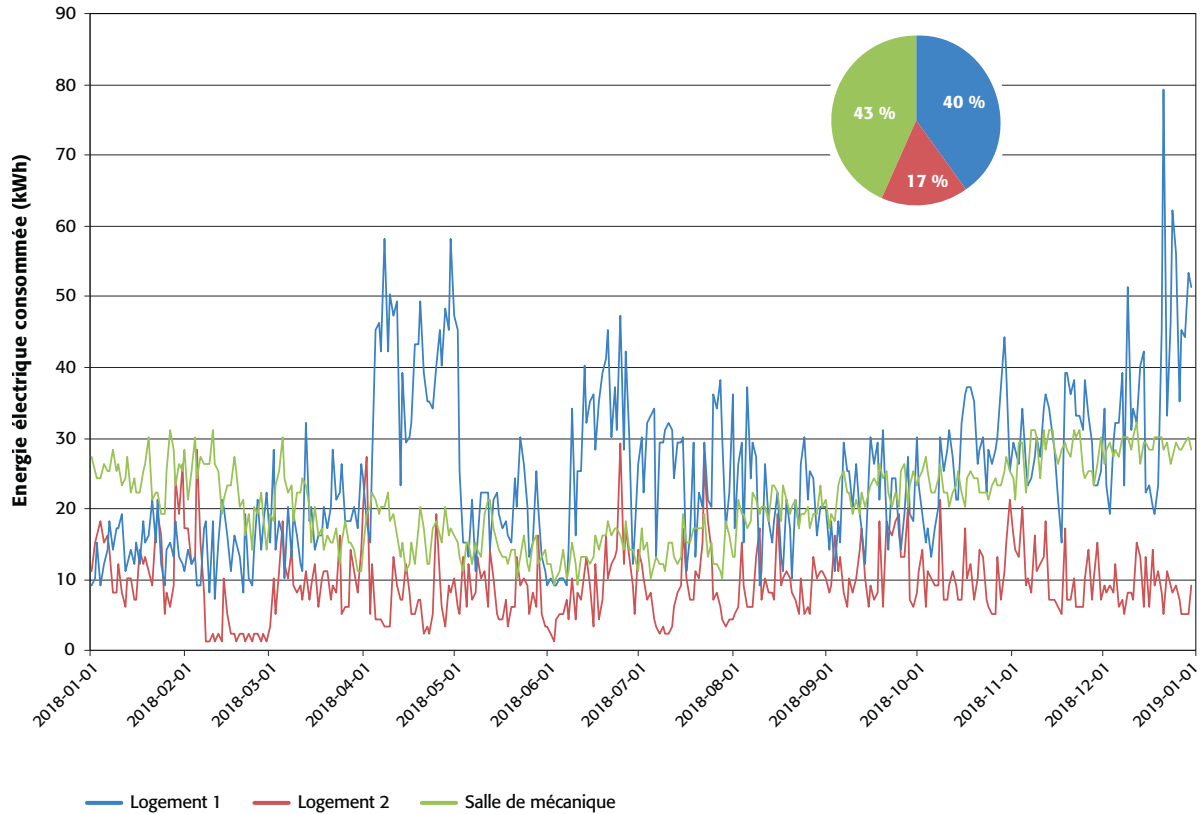


Figure 16 : Consommation quotidienne d'électricité du prototype d'habitation en 2018

Source : Société d'habitation du Québec, 2019

Une autre analyse démontre que dans le prototype, comme dans les jumelés standards, la consommation moyenne d'eau chaude domestique est de 46 litres par jour et par logement. Cette donnée de consommation est excellente, si on la compare à la consommation d'eau (chaude et froide) quotidienne moyenne individuelle d'un Québécois, qui se situe aux environs de 570 litres par jour¹².

12. www.environnement.gouv.qc.ca/eau/strategie-quebecoise/strategie2018-2030.pdf, p. 40., 2018

6. Leçons retenues

À toutes les étapes de projet, une approche de conception intégrée était anticipée. Toutefois, mis à part la charrette de design, le processus a plutôt suivi une démarche de réalisation linéaire conventionnelle, telle qu'engagée par l'équipe de design.

6.1 Phase de conception

La charrette de design s'est avérée essentielle au processus de conception et à l'intégration de mesures d'adaptation au mode de vie nordique dans l'habitation. Les échanges et les propositions des participants ont servi à réfléchir au sujet de habitation, à discuter de leurs souhaits et de leurs besoins. Le défi de ce type d'initiative demeure la conciliation entre les aspirations et les réalités économiques et de construction des projets. Dans cet exercice, les échanges ont bien su orienter les choix de l'équipe de design. Ainsi, certains détails de conception ont été reproduits¹³ dans les habitations construites subséquentement afin de mieux répondre aux pratiques des occupants et, par le fait même, de s'assurer de la pérennité du bâti.

Dans l'éventualité d'une prochaine charrette, un nombre plus important de participants serait souhaitable. Dans un idéal, elle regrouperait un maximum d'intervenants et une variété de citoyens locaux pour une meilleure représentativité et traduction des enjeux spécifiques au village nordique où se situe le projet. Un retour auprès des participants devrait aussi être assuré.

6.2 Phase de construction

Afin de protéger le pergélisol et d'assurer la pérennité du bâti, il était entendu que le type de fondation devait être choisi en fonction de la typologie du site et des caractéristiques du sol. Dans le cas du prototype, en plus de remplir ces conditions et d'offrir une plus grande stabilité et durabilité, les pieux ont contribué à réaliser des économies de gravier importantes (de 40 % à 50 % d'économie de gravier par rapport à une fondation sur vérins). Cependant, un grand remblai a été aménagé pour l'installation des cabanons latéraux et pour l'espace de stationnement avant, aussi nécessaire pour l'accès aux services. L'aménagement de ce remblai est venu amoindrir les bénéfices économiques liés à l'utilisation des pieux. En outre, les forages et l'ancrage des pieux devaient avoir lieu lorsque le sol était encore gelé (au printemps 2015). Pour cette raison, la foreuse devait être livrée par le dernier bateau de l'année précédente, soit en novembre 2014. Les frais de location de la foreuse ont donc été augmentés par ces mois d'attente.

Par ailleurs, l'installation des nouveaux détails de conception s'est avérée plus complexe que prévu. À cet égard, nommons l'espace de rangement en mezzanine, les grandes fenêtres à vitrage triple et le système de chauffage hybride du prototype. Ces éléments de construction nouveaux ont demandé plus de temps que prévu aux ouvriers. L'installation de la toiture métallique et de l'imposant échafaudage arrière étaient aussi inhabituelles. À noter que la nécessité d'installer un tel échafaudage pour les éventuels travaux de maintenance, suscite des questionnements quant aux travaux de maintenance qui devront avoir lieu au fil du temps sur l'arrière du bâtiment.

6.3 Phase de suivi – monitoring

L'installation des dispositifs de monitoring lors de la construction du prototype assure une meilleure durabilité de l'équipement et contribue aussi à son bon fonctionnement. Intégrés, ils sont ainsi imperceptibles par les occupants. Depuis l'acquisition des données de suivi, en janvier 2016, des problèmes de connexion ont toutefois généré des problèmes dans la transmission des données par Internet. Malgré des tentatives de correction, la connexion a souvent été perdue. Les explications possibles sont multiples : l'emplacement de l'antenne par rapport à la soucoupe du village, l'emplacement du modem à l'intérieur de la salle mécanique, les pannes de courant dans le village, les erreurs de site FTP, etc. Afin d'aider au bon fonctionnement de l'équipement de télécommunication destiné à la transmission des données, une batterie de type UPS a donc été ajoutée.

13. La notion de réversibilité du bâtiment, les joints de dilatation entre les murs et les plafonds, l'amélioration des membranes de fenêtre sont des concepts qui ont été repris du prototype et reproduits dans le domaine du logement social.

En phase de monitoring, un problème est survenu avec la sonde prévue pour mesurer la consommation électrique de la hotte de cuisine d'un des logements. Elle ne permettait pas de distinguer le courant électrique utilisé pour la ventilation de celui utilisé pour les lumières de la hotte. En réponse à cette observation, et pour diminuer la quantité d'électricité associée aux ampoules de la hotte, les ampoules d'origine ont été remplacées par des ampoules à faible consommation énergétique. Malgré ce changement, les données de consommation électrique sont demeurées semblables. Pour bien distinguer les deux usages de la hotte, la sonde aurait pu être placée d'une façon plus sélective.

Toujours relativement à cette hotte de cuisine, lorsque les lumières sont utilisées, une commande active par erreur le système d'air de compensation dans la salle mécanique. Cela déclenche le fonctionnement d'un serpentin de préchauffage de l'air frais extérieur alors que le bâtiment n'est pas dépressurisé. Le fonctionnement non requis de ce serpentin génère un surplus de chaleur dans le conduit, ce qui contribue à la surchauffe de la salle mécanique et constitue une perte d'énergie. Un ajustement manuel devrait être fait pour optimiser l'utilisation de la hotte.

6.4 Phase postoccupation

Ce sont les occupants qui mettent réellement à l'épreuve la fonctionnalité de l'habitation. La pérennité et l'efficacité du prototype dépendent donc largement de son adaptation au mode de vie nordique au fil du temps, des différents ménages qui occuperont les logements et du niveau d'entretien qui sera continuellement réalisé. Dans de futurs travaux, des analyses qualitatives et quantitatives pourront nous en apprendre davantage sur l'utilisation du bâti et il sera alors possible de tirer des leçons plus justes quant à son efficacité. Pour l'instant, nous pouvons seulement soulever des hypothèses quant aux données de monitoring relatives à chaque logement.

À cet égard, nous remarquons que les fenêtres sont régulièrement ouvertes en période de chauffe. Cela suppose-t-il que les locataires souhaitent contrôler manuellement la température du logement? Souhaitent-ils simplement un apport d'air frais? L'utilisation des systèmes mécaniques est-elle adéquate? L'étanchéité supérieure de l'enveloppe du bâti constitue-t-elle une limite à sa performance?

L'ouverture des fenêtres en période de chauffe augmente de façon importante le taux de changement d'air naturel du bâtiment, ce qui contribue à assécher l'air intérieur (car l'air extérieur contient très peu d'eau sous forme de vapeur). Sur une base régulière, des taux d'humidité relative de 10 % et moins ont été mesurés dans les deux logements, et ce, malgré le système de ventilation à récupération d'énergie qui devrait contribuer à préserver un taux d'humidité relative intérieur adéquat¹⁴. Par ailleurs, comme les plafonds du prototype sont plus hauts que ceux des J2.2 standards, le volume d'air intérieur à chauffer est plus important (J2.2 de référence = 14 019 pi³, prototype = 22 685 pi³). Chaque changement d'air naturel du bâtiment a donc un impact énergétique très important, car l'air de remplacement doit être chauffé.

D'une manière générale, bien que de nombreuses options de systèmes mécaniques aient été considérées par les concepteurs, force est d'admettre que le système de chauffage hybride choisi comporte des sous-systèmes et des équipements requérant plus d'entretien qu'un J2.2 standard pour assurer leur fonctionnement optimal. Les différentes options de contrôle du système complexifient aussi les réparations. Il est à noter qu'une formation de démarrage a été offerte à l'équipe d'entretien sur les particularités de la salle des machines du prototype et que le développement d'une fiche d'entretien, en concertation avec l'OMHK, est envisagé.

14. Selon Santé Canada, le taux d'humidité devrait plutôt être de l'ordre de 30 % en période de chauffe.

7. Prochaines étapes

7.1 Suivi qualitatif

En novembre 2016, un candidat au doctorat de l'Université Memorial s'est rendu à Quaqtac pour s'entretenir avec les locataires du prototype. Les entretiens dirigés abordaient les conditions structurelles et les « facteurs psychosociaux » associés au logement (perception de contrôle, identité, satisfaction). Des entretiens ont aussi été réalisés auprès des personnes impliquées dans le projet du prototype afin de documenter les facteurs facilitants et les barrières rencontrés dans les processus de design et de construction. L'analyse de ces entretiens est en cours et devrait faire l'objet d'un rapport afin de déterminer si les locataires utilisent les espaces de la manière prévue et si les choix conceptuels répondent à leurs besoins.

7.2 Suivi quantitatif

Une étude du profil énergétique du prototype et de sa comparaison à cibles d'efficacité est prévue en partenariat avec l'Université Laval. Cette étude pourra permettre d'expliquer les écarts attendus et réels sur le plan de la performance. Le comportement des occupants, mis en relation avec les données de monitoring, sera aussi étudié dans une logique de réduction de la demande énergétique. À ce sujet, il est prévu qu'un modèle de prédiction de la demande énergétique soit développé et amène une réflexion plus large sur le développement de solutions et de concepts pour mieux composer avec l'enjeu des besoins énergétiques au Nunavik.

Conclusion

Plus de temps sera nécessaire pour mesurer l'amélioration de l'habitabilité et l'efficacité du prototype. Dans le même ordre d'idées, sa pérennité demeure tributaire de l'ampleur des facteurs internes et externes qui la mettront à l'épreuve au fil du temps.

Nous pouvons toutefois reconnaître que la conception et la mise en fonction du prototype témoignent d'avancées et de pratiques exemplaires qui permettent de croire en sa durabilité. D'un point de vue culturel, la réflexion sous forme d'atelier de design intensif a permis d'orienter les choix conceptuels et de mieux adapter le bâti aux besoins et aux pratiques de ses occupants. En ce sens, les solutions d'aménagement choisies amènent à croire en une meilleure utilisation des espaces et de ses composantes. D'un point de vue énergétique, des simulations ont mené à des innovations technologiques et à une automatisation qui permettent d'espérer la bonne efficacité et résilience du bâti. L'ampleur et la nature des changements climatiques demeurent imprévisibles, mais des efforts ont été mis de l'avant pour réduire les vulnérabilités du bâti qui y sont associées. Enfin, la collaboration entre les intervenants, leur désir commun d'améliorer les habitations nordiques et leur travail assidu pour y parvenir mèneront, nous l'espérons, à de meilleures conditions de vie des communautés.

Comme présenté, l'analyse préliminaire des données de monitoring indique des écarts entre les résultats attendus et les résultats réels de la consommation énergétique. Encore ici, le facteur temporel doit être considéré et le portrait énergétique ne pourrait être complet sans sa mise en relation avec des analyses qualitatives et quantitatives prévues dans de futurs travaux.

Quoiqu'il en soit, le prototype est un véhicule de recherche unique au Nord canadien et son suivi amènera une réflexion continue qui, nous l'espérons, orientera les principes de la construction nordique, au Nunavik comme ailleurs.

**BÂTISSONS
ENSEMBLE 
DU MIEUX-VIVRE**