



ARCHITECTURE NORDIQUE ET AÉRODYNAMISME

HABITATIONS SOCIALES POUR LA COMMUNAUTÉ
INUITE DU VILLAGE DE QUAQTAQ

ESSAI (PROJET) SOUMIS EN VUE DE L'OBTENTION DU GRADE DE M. ARCH.

JULIEN DENEULT

SUPERVISEUR : ANDRÉ POTVIN

UNIVERSITÉ LAVAL
ÉCOLE D'ARCHITECTURE
H-2016

Résumé

Cet essai (projet) s'intéresse à la relation entre l'aérodynamisme et les formes bâties dans le cadre d'habitations sociales pour la communauté inuite du village de Quaqtaq au Nunavik. La conception du projet met de l'avant les morphologies présentes dans le paysage naturel d'un climat nordique comme générateur de formes par l'étude bioclimatique. Cette approche vise une construction durable pour laquelle la situation du territoire éloigné pose de nombreux défis notamment en terme de ressources naturelles et énergétiques et de conditions climatiques extrêmes. Concrètement, le projet d'habitations intègre un système constructif de bois d'ingénierie (les panneaux de bois lamellés-croisés ou CLT) dont l'assemblage permet la réalisation d'espaces flexibles. Enfin, l'objectif de cette recherche-crédation est de montrer comment l'utilisation de ce matériau préfabriqué et de conception intégrée permet un déploiement rapide et efficace en répondant à des enjeux socioculturels et de durabilité dans un contexte aussi unique qu'est le Nord-du-Québec.

Membres du jury

André Potvin

Professeur titulaire à l'école d'architecture de l'Université Laval

Pierre Thibault

Architecte et professeur agrégé à l'école d'architecture de l'Université Laval

Geneviève Guimont

Architecte, Parka Architecture & Design

Olivier Lajeunesse

Architecte, Microclimat Architecture et Construction

Avant-propos

L'investissement personnel pour l'essai (projet) en architecture demande une grande rigueur qui ne serait pas la même sans l'appui de nombreuses personnes. J'aimerais particulièrement remercier :

André Potvin, pour sa générosité et son encadrement ;

Mes collègues de travail, pour leur dynamisme en atelier ;

Mes amis, pour leur appui dans les moments plus difficiles ;

Mes parents, pour tout.

Sincèrement.

Table des matières

Résumé.....	iii
Membres du jury	iv
Avant-propos.....	iv
Table des matières.....	v
Liste des figures	vi
Préface.....	1
Introduction.....	3
Chapitre 1 - Rencontre durable entre l’habitat social et le bois en milieu nordique.....	5
Habitat social chez les communautés inuites : état actuel	5
Système constructif : valeur ajoutée par le bois d’ingénierie	9
Chapitre 2 – Fondement de la conception du projet d’architecture	12
Contexte nordique de la communauté inuite du village de Quaqtaq.....	12
Mission et objectifs de design	14
Programme architectural	16
Chapitre 3 – Développement du projet d’architecture.....	17
Corrélation entre la structure et la forme.....	17
Approche bioclimatique au projet	23
Développement du prototype	26
Conclusion et regard critique	31
Bibliographie.....	32
Annexes.....	33
A.1 Planches finales telles que présentées le 15 avril 2016	33
A.2 Site	37
A.3 Précédents	39
A.4 Documentation.....	43

Liste des figures

Figure 0. Image extérieure du projet d'habitation nordique (par l'auteur).....	i
Figure 1. Territoire du Nunavik (Direction des affaires intergouvernementales et autochtones [2014]).....	5
Figure 2. Répartition de la population selon l'âge et le sexe (Direction des affaires intergouvernementales et autochtones [2014]).....	6
Figure 3. Configuration du CLT (Gagnon et Ciprian [2011])	9
Figure 4. Carte des transports (par l'auteur).....	12
Figure 5. Carte de concepts (par l'auteur)	16
Figure 6. Procédure de découpage et d'assemblage (Université de Stuttgart, [en ligne]).....	17
Figure 7. Laga Exhibition Hall (Université de Stuttgart [en ligne])	18
Figure 8. Exploration formelle par l'assemblage d'un pavage partitionné (par l'auteur)	18
Figure 9. Recherche formelle avec l'arche (par l'auteur).....	19
Figure 10. Exploration de la modularité du plan de CLT (par l'auteur)	20
Figure 11. Synthèse de l'étude aérodynamique sur la forme bâtie (par l'auteur).....	22
Figure 12. Répartition des zones thermiques dans le prototype d'habitation (par l'auteur)	23
Figure 13. Espace extérieure protégée et orientée au sud (par l'auteur)	24
Figure 14. Relation entre les zones thermiques de l'habitation (par l'auteur).....	25
Figure 15. Synthèse des stratégies écoénergétiques (Profils d'équilibre thermique [2001-2014])	27
Figure 16. Coupe transversale illustrant la vitesse du vent dominant (par l'auteur)	29
Figure 17. Coupe détail agrandie (par l'auteur).....	30

Préface

Cet essai (projet) est réalisé en collaboration avec la *Chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois* (CIRCERB). Il s'agit « [d']une plateforme académique multidisciplinaire et intégrée, jumelée à un consortium industriel, qui œuvre sur tout le réseau de création de valeur du secteur de la construction, dans le but de développer des solutions écoresponsables, qui utilisent le bois pour réduire l'empreinte écologique des bâtiments. » (CIRCERB, [en ligne]).

Dans un premier temps, ce partenariat met en relation l'étudiant et deux partenaires industriels soient, la *Société d'habitation du Québec* (SHQ) et *Chantiers Chibougamau*. Ce jumelage vise à faire progresser l'essai (projet) vers des intérêts communs gravitant autour de la construction en bois d'ingénierie dans le contexte du Nord-du-Québec de façons distinctes. D'abord, la SHQ représente le plus grand organisme gouvernemental responsable de l'habitation au Québec (Société d'habitation du Québec, [en ligne]). Elle œuvre depuis plus de 30 ans à la construction et à l'entretien de logements sociaux et privés pour les communautés inuites du Nord-du-Québec. Au fil des années, la SHQ a créé un corpus d'informations utiles au développement futur et à l'amélioration des conditions de vie pour ces communautés. Ensuite, *Chantiers Chibougamau* fabrique et commercialise depuis plus de 50 ans différents produits forestiers tout en valorisant les ressources de la forêt boréale (Chantiers Chibougamau, [en ligne]). La mise en œuvre du bois d'ingénierie encourage la recherche et le développement vers de meilleures solutions d'utilisation que peut offrir ces produits émergeant en Amérique du Nord. Les différents échanges entre l'étudiant et les deux partenaires ont ainsi permis de nourrir la recherche-crédation par une expertise professionnelle.

Dans un deuxième temps, ce partenariat met en relation le travail d'un étudiant à la maîtrise en génie du bois, Ulysse Martin, qui a également permis de faire évoluer le projet d'architecture d'un point de vue technique.

Je remercie sincèrement Pierre Blanchet, titulaire de la CIRCERB, André Potvin, professeur affilié, et Natalie Noël, coordonnatrice, d'avoir permis l'initiative de ce partenariat enrichissant et dont je suis très reconnaissant.

Introduction

En intégrant un matériau de construction à la base de la recherche-crédation, cet essai (projet) met de l'avant l'utilisation du bois d'ingénierie, les panneaux de bois lamellé-croisé, dans la construction en milieu nordique au Nunavik. Ce territoire fait partie d'une réalité complètement différente du reste du Québec par son climat extrême, sa position géographique éloignée et ses ressources énergétiques et naturelles rares. L'objectif est d'explorer des stratégies constructives d'un point de vue bioclimatique en lien avec les panneaux de bois lamellé-croisé (CLT – *Cross Laminated Timber*). Cette approche vise une construction durable en lien avec les enjeux des communautés inuites.

Le Nunavik est présentement en crise du logement, et ce depuis plusieurs années. Selon les résultats d'un sondage réalisé en 2013 par l'Office municipal d'habitation Kativik (OMHK), environ 900 logements sont manquants pour atteindre l'équilibre et éviter le surpeuplement (Direction des affaires intergouvernementales et autochtones, 2014). Il est donc nécessaire, pour répondre à cette demande, que la construction soit rapide sans pour autant négliger son aspect durable. C'est pourquoi l'utilisation du CLT par la conception intégrée offre des possibilités intéressantes et novatrices en comparaison avec un système de construction traditionnel en bois d'œuvre. Ce système de panneaux structuraux est préfabriqué en usine rapidement et efficacement pour ensuite être transporté et assemblé sur le site. Ce processus de déploiement combiné avec une structure de bois d'ingénierie permet de répondre à une demande rapide tout en valorisant une construction durable.

Le site du projet est situé à la latitude 61. Il s'agit du village de Quaqtqa où vit une communauté inuite de 315 habitants (Makivik Corporation, [en ligne]). Le climat nordique rigoureux impose des stratégies constructives adaptées aux forts vents, aux températures extrêmes, aux précipitations de neige, au un temps d'ensoleillement marqué par les saisons et au sol gelé durant toute l'année. Ces enjeux liés au design ont été pris en compte dans la construction d'un prototype d'habitation nordique à Quaqtqa à l'été 2015. Le *Laboratoire d'Habitation Nordique* (LHN), une entité de la SHQ, a été mandaté pour la construction du prototype et pour l'analyse de son utilisation par les occupants afin d'augmenter les

connaissances techniques et culturelles dans le milieu. Ce prototype a été développé sur la base de quatre volets : l'adaptation socioculturelle, l'augmentation de l'efficacité énergétique, l'optimisation des techniques de fondation et la recherche et le développement pour une meilleure performance aérodynamique. Ce dernier enjeu est moins développé dans la réalisation du prototype en raison des coûts associés à la recherche et à la mise en œuvre immédiate. C'est pourquoi la recherche-crédation de cet essai (projet) propose d'aborder l'enjeu de l'aérodynamisme dans le contexte nordique, tout en considérant l'ensemble des enjeux développés dans le cadre du prototype d'habitation nordique du LHN. Le programme architectural prévoit donc un système d'habitations composé d'unités familiales dans le cadre de ce travail.

Enfin, la dernière partie de l'essai (projet) se concentre sur le développement du projet. Il vise une construction durable pour laquelle l'intégration du système constructif est orienté vers une approche bioclimatique. La mise en relation de la structure et du phénomène aérodynamique pour répondre aux enjeux d'efficacité énergétique et de l'adaptation socioculturel est au cœur du projet. Le développement de la relation du bâtiment au sol propose une adaptation à une topographie différente et changeante en fonction du lieu d'implantation. En conclusion, un retour critique est fait pour illustrer les objectifs de design et les limites en lien avec le développement du projet d'architecture.

Chapitre 1 - Rencontre durable entre l'habitat social et le bois en milieu nordique

« LA NOTION DE DÉVELOPPEMENT DURABLE NE PORTE PAS SEULEMENT SUR DES PRÉOCCUPATIONS ENVIRONNEMENTALES. EST DITE DURABLE TOUTE FORME DE DÉVELOPPEMENT QUI EST À LA FOIS ÉCONOMIQUEMENT EFFICACE, SOCIALEMENT ÉQUITABLE ET ÉCOLOGIQUEMENT SOUTENABLE. IL CONVIENT D'AJOUTER À CES TROIS "PILIERS" D'ORIGINE UN QUATRIÈME, CULTUREL. »

(ALAIN FAREL, 2007)

Habitat social chez les communautés inuites : état actuel

Le Nunavik est un vaste territoire situé au nord du 55^e parallèle (figure 1). Sa superficie totale de 500 000 km² compte environ 12 000 personnes dont 90 % sont d'origine inuite. L'ensemble du territoire comporte 14 villages côtiers de 200 à 2 400 habitants. La population totale du Nunavik a une croissance démographique plus rapide que celle de l'ensemble du Québec (11,8 % comparativement à 4,7 % pour les années 2006 à 2011). Depuis les 30 dernières années, la population totale du Nunavik a doublé passant de 5 680 habitants à 11 860 en 2011. De plus, la population actuelle est très jeune sachant que 54 % des gens sont âgés de moins de 25 ans et que 70 % des gens sont âgés de moins de 35 ans



Figure 1. Territoire du Nunavik (Direction des affaires intergouvernementales et autochtones [2014])

(figure 2). Dans un tel contexte, la formation de ménages et la demande en logements augmentent à grande vitesse. Le manque de logements en 2010 était estimé à 995 (résultats du sondage de l'Office municipal d'habitation Kativik). Le même sondage montrait pour l'année 2013 un déficit de 899 logements (Direction des affaires intergouvernementales et autochtones, 2014).

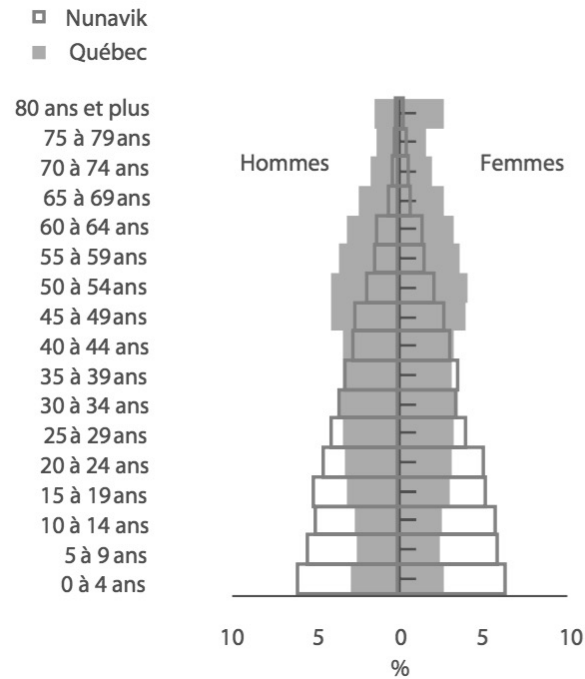


Figure 2. Répartition de la population selon l'âge et le sexe (Direction des affaires intergouvernementales et autochtones [2014])

Traditionnellement, le peuple inuit était nomade. Les gens se déplaçaient en fonction des disponibilités de réserves fauniques en s'établissant dans des logements temporaires selon les saisons (tente en été et iglou en hiver). Le début de la sédentarisation s'est fait dans les années 1950 lorsqu'ils ont commencé à se regrouper autour des postes de traite. Ce changement de mode de vie a eu comme conséquence une augmentation accrue de la démographie et du même coup une demande de plus en plus grande en terme de quantité de logements. En 1956, le gouvernement du Canada met en place un programme pour aider le développement de l'habitation au Nunavik. Ce programme visait l'attribution de 4,6 m² de superficie par personne dans le village de Puvirnituk par la construction de sept maisons. Ce premier test ne fut pas concluant considérant que les espaces étaient trop étroits pour les activités traditionnelles et l'utilisation des matériaux

sur place pour l'isolation était inadéquate. Plusieurs programmes d'aide aux logements ont suivi par de multiples organisations gouvernementales (le ministère des Affaires indiennes et du Nord Canada (MAINC) et la Direction générale du Nouveau-Québec du ministère des Ressources naturelles par exemple) donnant lieu à des détériorations rapides des logements, un manque d'adaptabilité à la culture traditionnelle et au climat. Au fil des ans, plusieurs défis ont été soulevés quant au développement de l'habitation au Nunavik, notamment en ce qui concerne les caractéristiques géographiques, démographiques, climatiques et socioéconomiques. (Direction des affaires intergouvernementales et autochtones, 2014)

À ce jour, la *Société d'habitation du Québec* (SHQ) documente activement la situation des logements au Nunavik et collabore pour la réalisation de multiples projets. Le *Laboratoire d'Habitation Nordique* (LHN) a été créé à l'initiative de la SHQ dans le but d' « améliorer de façon continue et durable l'habitat nordique, plus particulièrement au Nunavik » (Société d'habitation du Québec, [en ligne]). Le Nunavik compte présentement 2 600 logements qui ont été réalisés ou gérés par la SHQ. Dans le but d'atteindre de meilleurs standards architecturaux, un prototype d'habitation nordique a été mis en œuvre à l'été 2015. Ce projet sert à documenter les performances du bâtiment au regard de quatre volets : l'adaptation socioculturelle, l'augmentation de l'efficacité énergétique, l'optimisation des techniques de fondation et la recherche et le développement d'une meilleure performance aérodynamique. Ainsi, plusieurs systèmes de mesures ont été installés pour documenter entre autres, la consommation de mazout, la consommation électrique, l'utilisation des électroménagers, les habitudes d'ouvertures des portes et fenêtres, les vibrations du bâtiment dues au vent, la température au sol, la stabilité des fondations, etc. L'objectif ultime est de guider la conception des futures habitations vers une construction durable tout en valorisant l'identité du peuple inuit, là où l'adaptation socioculturelle s'impose.

D'un point de vue plus technique, les communautés du Nunavik, à l'exception de la communauté de Kuujjuarapik, n'ont pas accès à un système d'aqueduc. Dû à la présence du pergélisol, c'est-à-dire que le sol est gelé durant toute l'année, les moyens pour se doter

d'un tel système demandent une complexité technique et un coût important. Les bâtiments sont ainsi dotés d'un réservoir d'eau potable pour l'utilisation domestique et d'un réservoir de mazout pour le chauffage dont le contenu est approvisionné et disposé par des camions-citernes. De plus, chaque bâtiment doit se doter d'une pompe de pressurisation, d'un réservoir de rétention des eaux usées, d'un réservoir interne pour le préchauffage du mazout et d'une chaudière de chauffage pour le système de chauffage à air. Pour ce qui est du système électrique, Hydro-Québec dispense un service d'électricité à partir d'un groupe générateur à moteurs diesel dans chaque village ce qui est beaucoup plus dispendieux qu'ailleurs au Québec, car aucun système d'hydro-électricité ne permet de distribuer l'énergie (Direction des affaires intergouvernementales et autochtones, 2014). Ces services particuliers liés au climat et à l'emplacement géographique engendrent des effets importants sur le montant des taxes municipales. Il est donc primordial de s'intéresser à la réduction de la consommation énergétique et à l'optimisation des systèmes d'énergie passive. L'amélioration de l'efficacité énergétique est porteuse d'un point de vue environnemental et économique. Le logement social au Nunavik aura des retombées positives par l'optimisation durable de ces investissements.

Système constructif : valeur ajoutée par le bois d'ingénierie

« LE BOIS LAMELLÉ-CROISÉ (CROSS-LAMINATED TIMBER OU CLT CI-APRÈS DANS LE TEXTE), UN PRODUIT D'INGÉNIERIE NOVATEUR CONÇU EN EUROPE, A ACQUIS UNE POPULARITÉ GRANDISSANTE DANS PLUSIEURS PAYS GRÂCE À SES APPLICATIONS RÉSIDENTIELLES ET NON RÉSIDENTIELLES. EN EFFET, DE NOMBREUX BÂTIMENTS IMPOSANTS CONSTRUITS AVEC DU CLT, AUX QUATRE COINS DU GLOBE, TÉMOIGNENT BIEN DES MULTIPLES AVANTAGES QUE CE PRODUIT PEUT OFFRIR AU SECTEUR DE LA CONSTRUCTION. POUR RECEVOIR UNE ACCEPTATION PLUS MASSIVE EN TANT QUE PRODUIT ET SOLUTION STRUCTURALE, LE BOIS LAMELLÉ-CROISÉ DOIT ÊTRE MIS EN APPLICATION DANS LES NORMES ET LES CODES NORD-AMÉRICAINS. »

(SYLVAIN GAGNON ET PIRVU CIPRIAN, 2011; III)

Gagnon et Ciprian (2011) décrivent le bois lamellé-croisé comme un matériau d'ingénierie comportant plusieurs couches, avec un minimum de trois, de planches collées et assemblées de façon orthogonale par couche voisine (figure 3). Le CLT a été développé en Autriche et en Allemagne dans les années 1990. Le matériau prend de plus en plus de popularité en Amérique du Nord pour des projets résidentiels et non résidentiels. Son utilisation fait maintenant partie du code de construction et peut-être utilisé pour des bâtiments allant jusqu'à 12 étages sans demande de dérogation (Régie du Bâtiment du Québec, 2015).

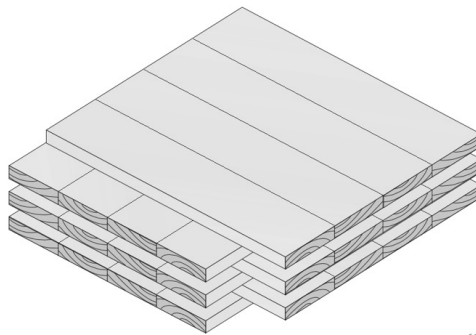


Figure 3. Configuration du CLT (Gagnon et Ciprian [2011])

L'utilisation du bois d'ingénierie dans le domaine de la construction ouvre de nouvelles possibilités quant à la réalisation de projets. Boucher-Côté (2013, 2) explique que cette figure de proue en terme d'innovations permet « ...non seulement une opportunité pour le bois de concurrencer avec le béton et l'acier dans la construction de bâtiments de grande envergure, mais il apporte aussi une panoplie d'innovations pour la construction en

bois ». Le CLT, non pas comme un matériau de remplacement, mais comme un système de remplacement à ceux existants, présente de nombreuses avancées technologiques, environnementales et économiques.

Des données internationales ont été rassemblées dans un rapport publié en 2015 sur la construction de bois massif pour documenter et comparer les méthodes traditionnelles et émergentes par l'utilisation du CLT. Ce rapport (Solid Timber Construction : process, practice, performance, 2015) évalue les processus de production hors site pour mesurer les critères de performance en terme environnemental, organisationnel et technologique. Ces études de cas font références à diverses régions (Amérique, Europe et Australie) et contextes (climat, situation organisationnelle) pour des mises en situations différentes (A.3 Documentation). L'ensemble des 18 projets analysés dans le cadre de ce rapport présente des données encourageantes à plusieurs égards. D'abord, de façon quantitative, on constate un gain de 4 % d'économie des couts et une rapidité de construction supérieure de 20 % (Solid Timber Construction : process, practice, performance, 2015). Les résultats montrent aussi, en terme qualitatif, les avantages de l'utilisation du CLT en comparaison avec les systèmes d'acier ou de béton, soit la polyvalence d'installation en fonction de la météo, les avantages de l'utilisation d'une matière première renouvelable, la réduction d'émission de carbone dans l'atmosphère, la logistique nécessaire avec la distance jusqu'au site, les couts de mains-d'œuvre sur site, le poids du matériau (pour son transport et sa structure), la précision de la construction et la sécurité sur chantier. Ces données mettent en lumière une facette de l'utilisation du CLT dans la construction : celle de la logistique. Or, le CLT permet également des innovations en terme de conception du projet, qui ont elles aussi une influence sur la logistique.

Les bâtiments étant de plus en plus complexes, Holger et Schoof (2010) expliquent que les méthodes traditionnelles de design séquentielles ne peuvent plus répondre aux besoins actuels en conception. Le fait de former une équipe de design dès les premières étapes d'un projet rend la responsabilité de conception commune à l'ensemble de l'équipe et est donc plus engageant. L'utilisation du CLT permet d'impliquer une multitude de professionnels dans sa conception. Le CLT est à la base d'un nouveau système de

construction et non pas d'un remplacement de matériau. Son intégration dans un bâtiment demande une révision de l'utilisation des systèmes traditionnels tant pour le design de la structure, les performances sismiques, les connexions entre les matériaux, les performances de vibrations, les normes de protections au feu, les performances acoustiques, l'isolation et les connexions (Gagnon et Ciprian, 2011).

Les panneaux de bois lamellé-croisé présentent de nombreux avantages à toutes les étapes du projet soit pendant la conception, l'usinage, le transport, le déploiement, l'assemblage et même durant son utilisation et son recyclage. D'abord, la conception intégrée du matériau permet de répondre à des enjeux complexes par l'intervention de nombreux professionnels dès les premières étapes d'un projet par l'intégration de nombreux systèmes à même le matériau. Ensuite, l'usinage permet une construction plus rapide en usine et de meilleure précision que sur le chantier. De plus, étant donné le lieu géographique éloigné des communautés inuites, la main d'œuvre pour la construction est d'autant plus coûteuse dans ce contexte. Comme les panneaux préfabriqués à l'usine sont de grandes dimensions, leur nombre est limité ce qui facilite la logistique du transport. De plus, grâce à la grande dimension des panneaux, ce qui limite le nombre d'éléments, l'installation sur le site devient très efficace. Considérant qu'un panneau de bois massif prend 15 minutes pour son installation avec un instrument de levage et trois ouvriers, et considérant qu'une unité d'habitation ne comporte pas plus de 30 éléments de CLT, le montage de la structure d'une habitation peut être réalisé en moins d'une journée de travail sur le site. De plus, les panneaux de bois lamellé-croisé offre des possibilités d'explorations architecturales intéressantes par l'utilisation du plan dans la construction. Ainsi, le système de poteau-poutre traditionnel pour une construction en bois d'œuvre, en acier ou en béton est remplacé par un panneau structural de CLT. Cette approche à la construction offre de nombreuses possibilités quant à la flexibilité des espaces et à leur utilisation. Enfin, l'assemblage des panneaux par des visse facilite la déconstruction de la structure et permet la réutilisation du matériau après l'utilisation de celui-ci. Bref, l'utilisation du CLT dans la construction d'habitations nordiques pour les communautés inuites présente de nombreux avantages en réponse aux enjeux actuels de crise du logement.

Chapitre 2 – Fondement de la conception du projet d’architecture

Contexte nordique de la communauté inuite du village de Quaqaq

Le site d’implantation pour le projet d’architecture est au Nunavik, à la latitude 61. Il s’agit de la communauté inuite du village de Quaqaq, totalisant une population de 315 habitants, situé à la limite du détroit d’Hudson et de la baie d’Ungava. Les moyens de transports pour accéder au village sont limités. On peut s’y rendre par avion ou par voie maritime (figure 4). Durant la période estivale, lorsque la glace est fondue, il est possible

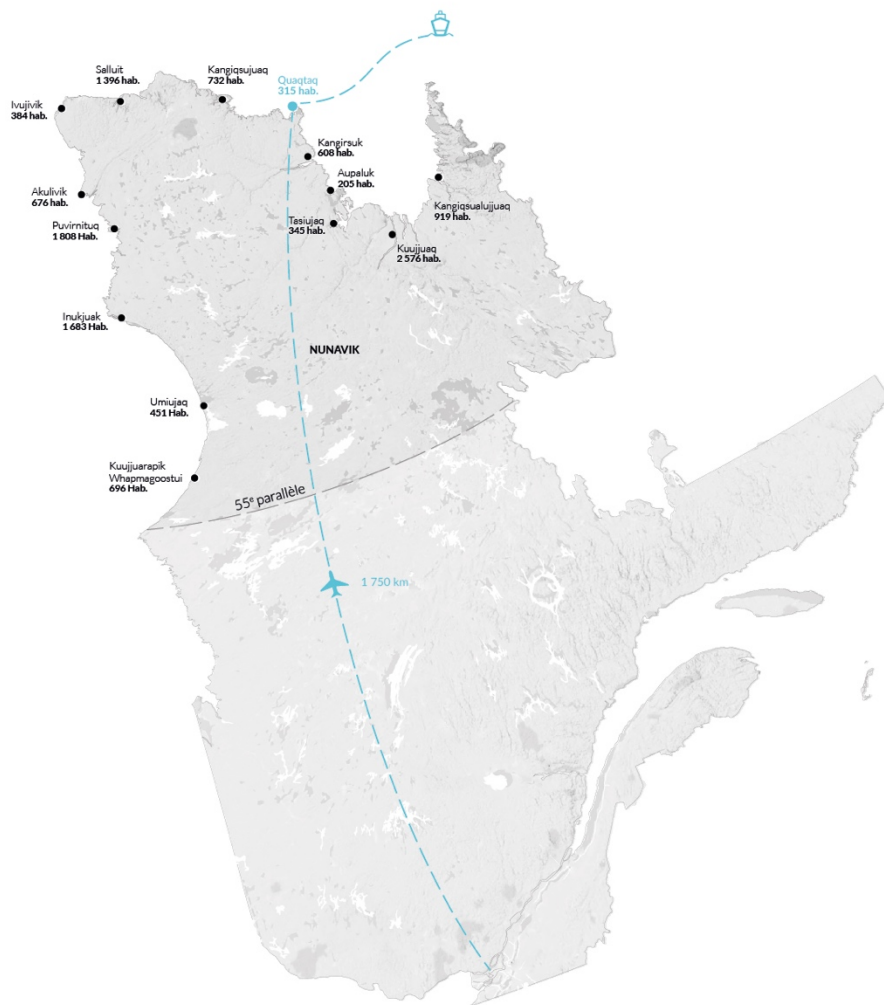


Figure 4. Carte des transports (par l’auteur)

d'accéder à la berge par bateau. L'hiver, il est impossible de rejoindre la berge, ainsi les matériaux lourds et de grandes envergure pour la construction doivent être transportés l'été. L'approvisionnement pour la nourriture se fait donc par avion durant toute l'année, ce qui entraîne des coûts très importants. Les aliments comme les fruits et les légumes sont difficilement conservables, à cause du temps d'acheminement par les différents moyens. Les activités traditionnelles de subsistance (chasse et pêche) restent très présentes et contribuent à réduire les importations de nourriture depuis le sud. Le caribou, le béluga, le morse, le phoque et le poisson représentent encore une part importante de leur alimentation (Direction des affaires intergouvernementales et autochtones, 2014). Il s'agit d'une activité traditionnelle forte pour lier la communauté. Comme il s'agit souvent de gros spécimens, les familles séparent et entrepose la nourriture dans un grand congélateur commun situé dans le village.

Le contexte particulier du climat nordique donne lieu à une réalité complètement différente du reste du Québec. D'abord, la vélocité des vents dominants est très grande en raison des paysages dépourvus d'obstacles (végétation et bâtiment). Lors des tempêtes, les vents peuvent atteindre de grandes vitesses ce qui rend la neige très fine de telle sorte qu'elle peut s'infiltrer dans de petites ouvertures d'un bâtiment. La course du soleil est aussi très différente par la haute latitude de 61°. À cette latitude, les périodes d'ensoleillement sont longues l'été (18 heures au solstice d'été) et courtes l'hiver (5 heures au solstice d'hiver). L'angle du soleil dans le ciel varie de 5° à 50° environ entre l'hiver et l'été à 12h00. De plus, la valeur annuelle de la température moyenne est de -6,2 °C. Les valeurs moyennes en été ne dépassent pas plus de 10 °C, alors qu'à l'hiver, la température moyenne chute jusqu'à -25 °C. Ainsi, les bâtiments doivent être chauffés durant toute l'année. Ces températures froides ont une influence sur la nature du sol. En effet, il s'agit d'un sol gelé durant toute l'année. Le pergélisol influence la conception de l'implantation des bâtiments dans la mesure où il faut éviter la fonte du sol. Les bâtiments sont ainsi surélevés pour empêcher la transmission de chaleur directe au sol. Dans le cas où un bâtiment transmet trop d'énergie au sol, la fonte du pergélisol entraînera des mouvements à la surface du terrain et aura des conséquences sur les fondations du bâti. Ces éléments

qui rendent la réalité du village de Quaqtq unique doivent être considérés dans le design du projet.

Mission et objectifs de design

L'utilisation du CLT comme système constructif est au cœur du projet. Le but de cette exploration consiste à montrer comment ce matériau offre de multiples possibilités dans un contexte aussi unique qu'est le Nord-du-Québec. Le projet d'architecture se développe selon quatre volets, à l'image du prototype d'habitation nordique du LHN (page 7).

1. Le volet socioculturel. Il s'agit de valoriser l'unicité de la culture inuite par l'aménagement intérieur et extérieur des espaces. Actuellement, des prototypes d'habitation de maisons en rangées sont construits dans les communautés inuites donnant un caractère individualisant, alors qu'il s'agit véritablement d'une société qui travaille de façon commune. Cette approche à la vie commune d'écoule, entre autres, des activités traditionnelles comme la chasse et la pêche. À titre d'exemple, lorsqu'une proie d'envergure est abattue pour servir de nourriture, le dépeçage se fait par plusieurs familles pour être conservée par la suite dans le grand congélateur commun au village. Ainsi, l'objectif est d'intégrer, dans un premier temps, des espaces communs dans le village par le bâti de l'habitation afin de mettre en valeur l'unicité de cette culture inuite. Dans un deuxième temps, l'objectif prévoit des espaces adaptés pour les activités artisanales (dépeçage, couture de peau, séchage de peau...) tant à l'intérieur qu'à l'extérieur en fonction des usages. La réinterprétation de l'habitat inuit permettra de valoriser et de maintenir la culture traditionnelle.

2. L'efficacité énergétique. Présentement, les habitations au Nunavik consomment beaucoup d'énergie fossile par le chauffage d'air au mazout et l'approvisionnement de l'eau potable par camion-citerne de même que la récupération des eaux usées. L'optimisation des gains et des pertes thermiques en considérant les trois modes de transfert de chaleur (rayonnement, conduction, convection), de même que l'utilisation de

stratégies passives et techniques permettent de réduire l'intensité énergétique, soit l'énergie consommée par m² sur une période annuelle. En réduisant au maximum la consommation énergétique, il est possible d'atteindre des exigences rigoureuses comme le programme *PassivHaus*. Ces stratégies visent à diminuer la dépendance aux produits pétroliers et à réduire la quantité d'émission de gaz à effet de serre néfastes dans l'atmosphère.

3. La performance aérodynamique. Il s'agit d'un objectif qui vise d'abord à augmenter l'efficacité énergétique en diminuant les infiltrations et exfiltrations d'air dans le bâtiment. Aussi, l'aérodynamisme ajoute une plus value à l'environnement adjacent au bâtiment. En considérant l'espace extérieur comme des espaces de vie communs, le bâtiment peut contribuer à créer un microclimat pour le confort des occupants. Ainsi, l'aérodynamisme de la forme bâtie a un impact positif sur l'adaptation socioculturelle par l'ajout d'un espace adapté au climat. Ensuite, l'aérodynamisme du bâtiment joue également un rôle quant à la durabilité des matériaux qui le composent. Dans ce contexte nordique, les forts vents et la neige peuvent causer l'arrachement des matériaux, de fortes vibrations et des accumulations de neige au pourtour du bâtiment causant une dégradation prématurée. Une attention particulière doit ainsi être faite quant à la forme du bâtiment et à son orientation.

4. L'optimisation des techniques de fondation. Afin de prévenir la fonte du pergélisol, le bâtiment doit être surélevé par rapport au sol pour ne pas transmettre directement de chaleur. Si le pergélisol fond, cela risque d'entraîner des mouvements à la surface du sol et d'endommager la structure du bâtiment. De plus, la relation au sol doit être adaptable pour répondre à différent contexte topographique en fonction du lieu d'implantation du bâtiment.

C'est par une approche bioclimatique à l'architecture que le projet d'architecture se développe (figure 5). En intégrant les morphologies du paysage naturel du climat nordique, l'approche bioclimatique tente de répondre aux objectifs de design par l'intégration d'un système constructif de bois d'ingénierie (CLT). Cette démarche vise une construction

durable par laquelle la préfabrication et le transport faciliteront le déploiement de cette entité moderne d'habitation inuite.

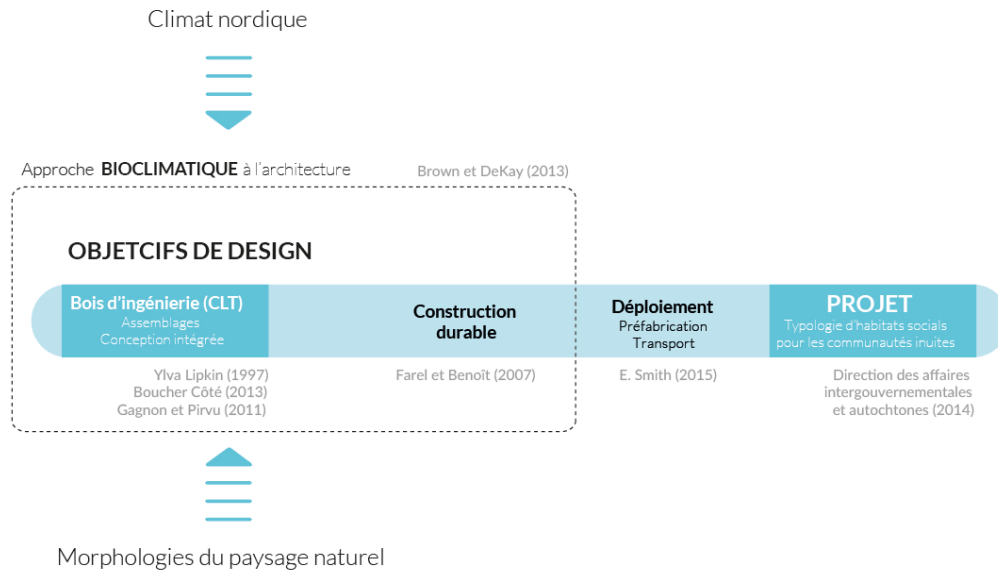


Figure 5. Carte de concepts (par l'auteur)

Programme architectural

Le programme architectural du projet prévoit des unités d'habitations unicellulaires regroupées. Chaque unité d'habitation permet d'accueillir une famille. L'aménagement intérieur prévoit deux chambres à coucher, un salon, une cuisine, une salle de bain, une buanderie, du rangement et une salle mécanique. La superficie brute de l'unité est de 135 m². Le programme architectural s'étend jusqu'à l'extérieur du bâtiment en offrant un espace dédié aux activités traditionnelles de chasse et de pêche. De plus, le regroupement des habitations crée des espaces communs à la jonction des unités pour favoriser les échanges dans la communauté. Découle de cette composition un microclimat extérieur au bénéfice du confort des occupants. Ce programme s'inspire de celui du Laboratoire d'Habitation Nordique pour lequel des informations sur les besoins des Inuits ont été récoltées dans les communautés.

Chapitre 3 – Développement du projet d'architecture

Corrélation entre la structure et la forme

Les premières explorations formelles du projet d'architecture tentent de mettre en relation la forme et la structure. En partant de l'utilisation du CLT comme système constructif, plusieurs techniques d'assemblage novatrices sont possibles.

La première qui a été explorée est un assemblage de panneaux de CLT dont les joints découpés numériquement permettent l'assemblage de la structure sans autre élément. La structure de CLT est complètement portante uniquement avec les joints de l'assemblage (figure 6). La conception de l'assemblage par un logiciel paramétrique permet de définir un pavage de partitions par la tessellation. En résulte un assemblage d'éléments de CLT tous uniques par leurs angles de découpe numérique. Ainsi, la fabrication en usine est programmée par ordinateur pour qu'un robot informatisé puisse opérer la découpe. L'exemple de *Laga Exhibition Hall*, réalisé dans le cadre d'une recherche à l'Université de Stuttgart, illustre bien la réalisation d'un tel assemblage (figure 7). Ce type d'assemblage présente de nombreux avantages au point de vue de la forme. Les possibilités sont multiples en terme de compositions courbes. De plus, la quantité de bois qui est utilisée pour cette réalisation est minimale en considérant le volume d'espace que la structure crée (12 m³ de bois pour 605 m³ d'espace) (Université

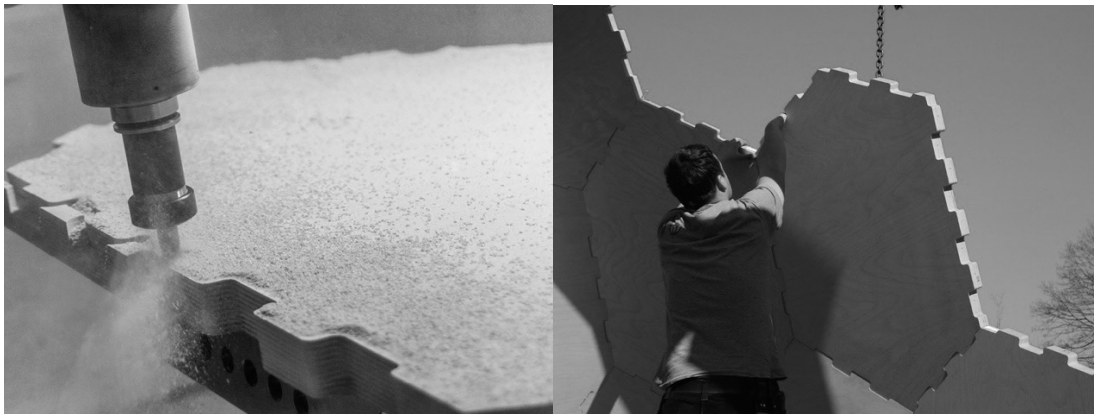


Figure 6. Procédure de découpage et d'assemblage (Université de Stuttgart, [en ligne])

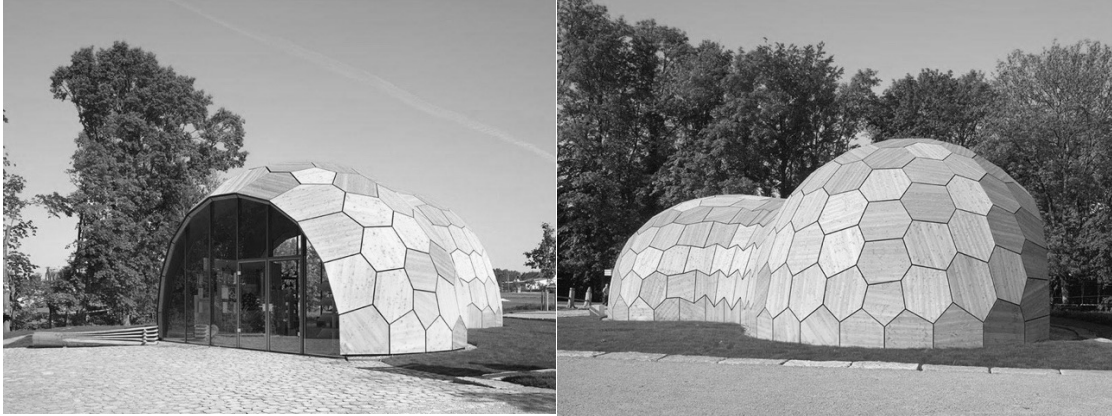


Figure 7. Laga Exhibition Hall (Université de Stuttgart [en ligne])

de Stuttgart, [en ligne]). Pour explorer et interpréter ce système, des maquettes conceptuelles ont été réalisées (figure 8). Il s'agit d'évaluer en maquette le potentiel formel par différentes configurations. Par exemple, la création d'interstices rend la forme modulable dans une variété de positions. Or, bien que ce système permet une grande

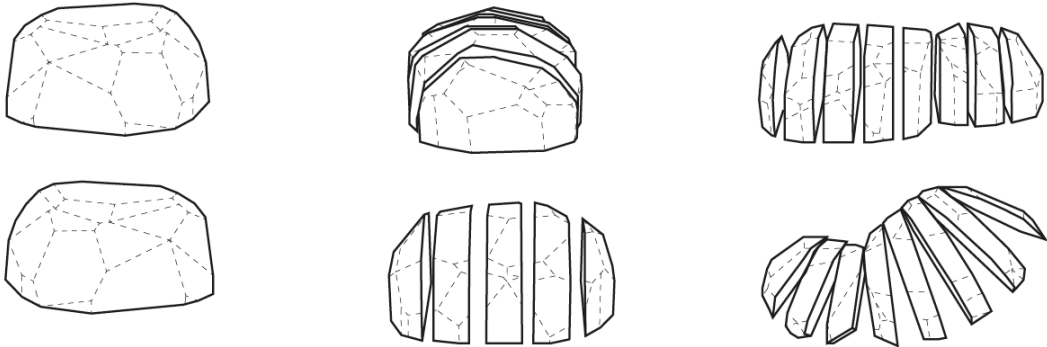
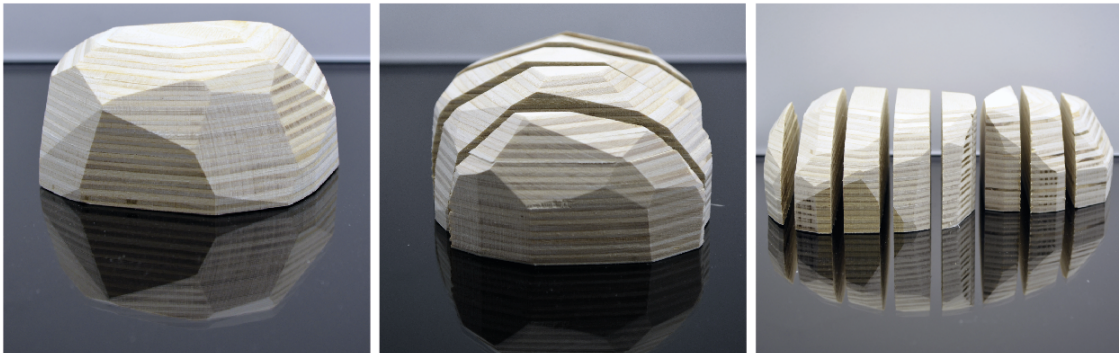


Figure 8. Exploration formelle par l'assemblage d'un pavage partitionné (par l'auteur)

flexibilité de la forme bâtie tout en utilisant un minimum de matière première, l'utilisation de cet assemblage novateur dans le contexte nordique rend le déploiement du projet complexe. Considérant la spécificité d'un tel assemblage dans un village comme Quaqtq, une fois le transport des matériaux effectué sur le site (en période estivale), il est difficile de corriger la structure si une erreur est constatée sur place comme l'ensemble est fait numériquement. De plus, l'installation demande une certaine compétence, à l'image d'un casse-tête en trois dimensions. À titre d'exemple, 243 pièces uniques ont été fabriquées et utilisées pour la construction de *Laga Exhibition Hall*.

La recherche s'est donc tournée vers un second système plus conventionnel pour mettre en relation la structure et la forme. À partir des maquettes déjà réalisées (figure 8), l'idée d'un système d'arches de CLT a émergé. Ainsi, la flexibilité de la forme extérieure et intérieure est conservée tout en limitant le nombre d'éléments de CLT à produire, à transporter et à assembler sur le site (figure 9). De la même façon que le premier système, les arches de CLT peuvent être modulées de différentes façons pour créer une variété dans la forme. De plus, le prolongement de l'arche vers l'intérieur permet de séparer des espaces. Pour compléter la structure de l'arche et assurer un contreventement à la structure, des panneaux de CLT viennent lier deux arches. Encore une fois, la complexité de ces panneaux et angles découle de la régularité ou non des arches. Dans le cas où les arches sont toutes alignées et de dimensions identiques, les panneaux liants seront simples et répétés. Dans le cas où les arches sont déphasées et de différentes dimensions, les panneaux liants doivent être triangulés pour former l'espace. Bien que cette exploration formelle soit intéressante d'un point de vue des espaces intérieurs et extérieurs qu'elle propose, la réalisation d'un tel système engendre une grande perte de matière. L'arche doit être produite à partir d'un panneau de CLT plein qui une fois découpée engendre de grands éléments retailés difficilement récupérables considérant la forme des résidus.



Figure 9. Recherche formelle avec l'arche (par l'auteur)

L'exploration formelle s'est enfin tournée vers une autre alternative. L'idée du plan de CLT structural a émergé pour synthétiser les avantages et les inconvénients des deux premières explorations. En utilisant de grands éléments, on limite le nombre de panneaux à produire, à transporter et à assembler sur le site. Le processus de déploiement est donc simplifié en ce sens. De plus, la fabrication de tels éléments engendre beaucoup moins de pertes de matière que la fabrication d'une arche. La modularité du plan n'est pas moindre que celle de l'arche et elle permet aussi la séparation d'espaces intérieurs. Trois cas ont été explorés pour rendre compte de la modularité et de la simplification du module en plan (figure 10). En prenant une forme rectangulaire et dont les plans sont orthogonaux, le modèle est simplifié au maximum. L'évolution de la forme se fait selon deux critères : verticalement selon une forme aérodynamique et horizontalement selon le positionnement et la forme du plan axial. Ainsi, en considérant la forme dont les axes sont obliques les un par rapport aux autres et dont les plans sont identiques (soit la deuxième série verticale de la figure 10), le nombre d'éléments et la variété de la forme sont probants pour l'utilisation dans le contexte de la communauté inuite du village de Quaqtq.

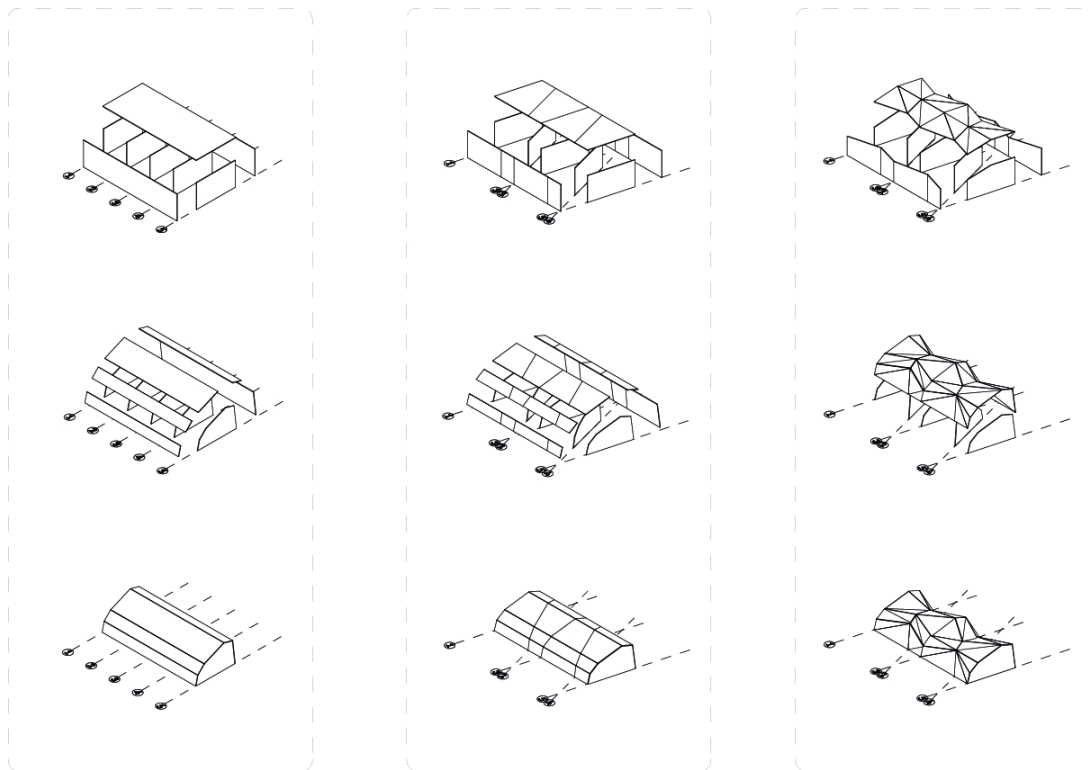


Figure 10. Exploration de la modularité du plan de CLT (par l'auteur)

La recherche-création par l'exploration formelle s'est faite en parallèle avec des analyses d'aérodynamisme. L'utilisation d'un logiciel de simulation de soufflerie virtuelle (Autodesk Flow Design) a permis de comparer différentes formes pour optimiser certains enjeux du projet d'architecture. Dans un premier temps, la forme bâtie doit être aérodynamique pour offrir une meilleure durabilité aux matériaux de construction en contrant la dégradation par les forts vents. De plus, le bâtiment veut offrir par sa forme une bonification au confort extérieur par la création d'un microclimat. Ce microclimat peut offrir une protection des vents dominants, un ensoleillement maximal et même une combinaison de ces deux facteurs à certains endroits. L'étude aérodynamique s'est faite selon différents facteurs d'analyse. Le premier consiste à déterminer le coefficient de train  d'une forme, c'est-à-dire la résistance au vent de la forme. Plus le coefficient de trainée est petit, moins les surfaces du bâtiment subissent des pressions positives ou négatives selon l'orientation. Le deuxième facteur concerne la vitesse du vent sur l'environnement adjacent au bâtiment. L'enjeu est de déterminer le ou les espaces à l'abri du vent et leur ampleur selon la forme. La figure 11 synthétise ces deux facteurs par la classification des formes étudiées selon leur coefficient de trainée. D'ailleurs, les schémas de couleur illustrent la vitesse du vent en relation avec la forme. Lorsque la couleur est bleue, la vitesse du vent est nulle.   l'inverse, lorsque la couleur est verte, la vitesse est de 10 m/s. Il s'agit de la vitesse de base de la simulation pour toutes les formes. Ainsi, les paramètres de la simulation sont tous les mêmes pour permettre la mise en comparaison de chacune des formes. En définitive, la forme retenue sur le tableau synthèse de la figure 11 s'apparente au profil d'une aile d'avion avec des arêtes rectilignes. La réduction du coefficient de trainée moyen correspond à 45 % par rapport au bâtiment rectangulaire standard. Cette forme met en relation le système constructif de plans développé à la page précédente avec une forme aérodynamique pour répondre à des enjeux de durabilité et de confort tout en optimisant une structure de CLT dans son contexte d'utilisation.

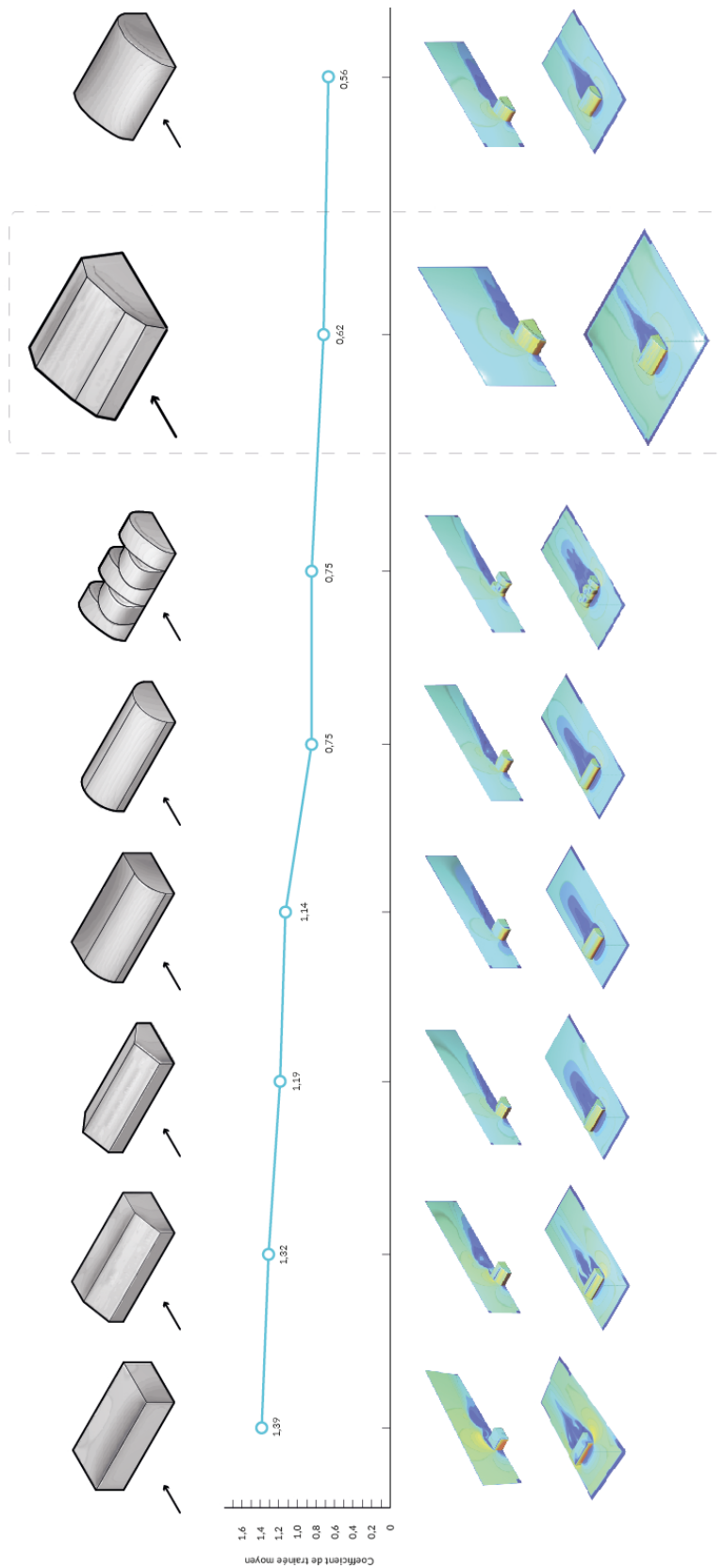


Figure 11. Synthèse de l'étude aérodynamique sur la forme bâtie (par l'auteur)

Approche bioclimatique au projet

Le projet d'architecture se développe selon trois zones thermiques définies en fonction de l'usage de chacune (figure 12). La première zone est extérieure. Il s'agit d'une zone protégée des vents et des intempéries et qui est orientée au sud pour un apport maximal de lumière. La combinaison de ces facteurs ajoute une valeur au confort de l'occupant à l'extérieur comme l'illustre la figure 13. Sa température varie en fonction des saisons et des journées. Cet espace permet un usage flexible en réponse aux activités traditionnelles inuites de chasse, de pêche et autres. Un comptoir permet de travailler, au retour de la pêche par exemple, et des supports permettent de faire le séchage de la peau d'animaux pour qu'elle soit à l'abri. Cet espace est un atelier de travail, un lieu de rencontre commun et une connexion au paysage.

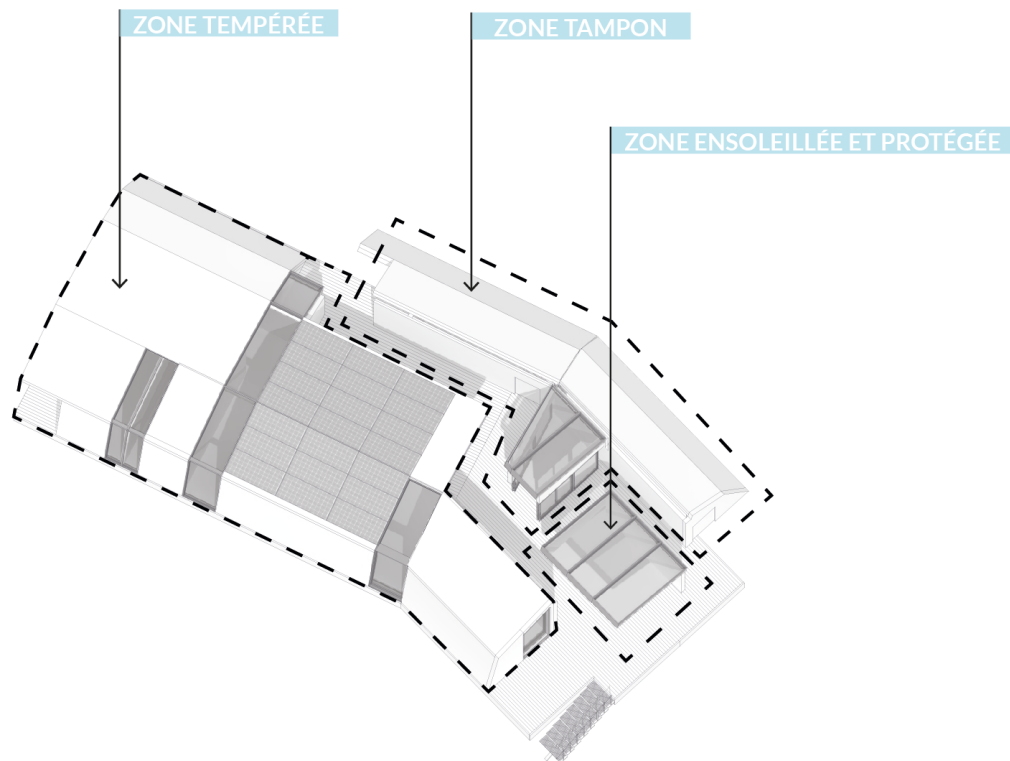


Figure 12. Répartition des zones thermiques dans le prototype d'habitation (par l'auteur)



Figure 13. Espace extérieure protégée et orientée au sud (par l'auteur)

La seconde zone thermique est un espace tampon. Il permet d'accueillir le vestibule, la salle mécanique de l'habitation et du rangement. Sa température varie de 4 °C à 15 °C selon les saisons et les journées. Il s'agit d'abord d'un espace de transition depuis l'extérieur jusqu'à l'intérieur. Le vestibule, situé entre la zone protégée extérieure et l'espace de vie intérieur, joue un rôle de seuil progressif vers les deux zones (figure 14). La progression se fait en terme de température et de lumière. Comme c'est un espace très lumineux par son éclairage zénithal et tempéré dans un entre-deux, la transition du climat extrême à l'extérieur vers le milieu de vie intérieur, et vice-versa, se fait graduellement. Le vestibule joue aussi un rôle en ce qui a trait aux activités traditionnelles inuites. L'intégration d'un grand évier permet, par exemple, de rincer les aliments et autres au moment de les travailler dans l'espace extérieur ou intérieur. De plus, l'espace tampon est tempéré de la même façon que la salle mécanique qui contient un ensemble de systèmes pour l'habitation. Cette salle est équipée d'un réservoir d'eau potable, d'une pompe de pressurisation, d'un chauffe-eau, d'un réservoir de rétention et d'un échangeur d'air. En intégrant ces systèmes dans un endroit à une température variante de 4 °C à 15 °C en fonction des saisons, on limite la quantité d'énergie nécessaire pour le chauffage. La seule

contrainte est de conserver une température supérieure à 4 °C pour éviter des bris de système. De plus, une température plus basse ralentit le développement des bactéries dans le réservoir de rétention des eaux usées. Dans le même ordre d'idées, des espaces de rangement sont intégrés à cette zone thermique pour limiter la quantité d'énergie nécessaire au chauffage tout en gardant une température supérieure au point de congélation. L'avantage de réunir ces fonctions dans une même zone thermique est de réduire la consommation énergétique totale du bâtiment en terme de chauffage. Comme les besoins en chauffage dans ce contexte nordique sont très élevés, la réduction de consommation est d'autant plus marquée.

La dernière zone thermique concerne l'espace de vie intérieur. Les usages tels que le séjour, la cuisine, la salle de bain, la buanderie et les chambres y sont réunis. La température de consigne varie de 19 °C à 22 °C en fonction des saisons et de la journée. L'aménagement intérieur rassemble des espaces de vie ouverts pour les lieux communs, comme la cuisine et le séjour, pour offrir une flexibilité des usages et de l'occupation. Ainsi, il y a possibilité de modifier les espaces en fonction de son utilisation. Que ce soit



Figure 14. Relation entre les zones thermiques de l'habitation (par l'auteur)

pour travailler à des activités traditionnelles en famille, l'intérieur reste facilement aménageable.

Dans tous les cas, la définition des différentes zones thermiques permet, dans un premier temps, de réduire la consommation énergétique totale de l'habitation. Dans un deuxième temps, les fonctions associées à ces zones thermiques définissent une entité moderne de l'habitat inuit vers une adaptation socioculturelle. L'objectif est de rendre compte de l'unicité de cette culture en valorisant l'identité inuite.

Développement du prototype

Le développement du projet vise une construction durable mettant en lien une approche bioclimatique et un système constructif de CLT. D'abord, des stratégies écoénergétiques ont été intégrées à la conception du projet d'architecture. D'ailleurs, le système constructif contribue également à l'intégration de ces stratégies par la conception intégrée. Aussi, le système constructif répond à des enjeux d'aérodynamisme par son jeu d'assemblage vers une forme adaptée au contexte nordique. Enfin, la relation au sol du bâtiment se caractérise par des pilotis qui sont ajustables pour répondre à une topographie changeante et évolutive.

L'intégration de stratégies écoénergétiques passives et actives réduit considérablement la consommation énergétique annuelle par mètre carré de l'habitation. C'est à l'aide d'une feuille de calcul (Profils d'équilibre thermique [2001-2014]) que la valeur de la consommation énergétique théorique a permis d'être calculée. En partant de l'analyse d'un modèle de base et en y ajoutant des stratégies pour réduire la consommation énergétique, cela permet de mettre en comparaison une valeur de consommation sans stratégie écoénergétique avec un modèle dont plusieurs stratégies ont été intégrées. Le modèle de base prend en considération différentes valeurs dont le volume de l'habitation, le nombre d'occupants, le climat (température extérieure selon les saisons, position géographique, contexte bâti...), la nature et la composition de l'enveloppe du bâtiment, les gains internes d'énergies par les systèmes et les occupants et l'efficacité de la ventilation

mécanique et naturelle. Ensuite, le classeur permet de modifier les valeurs du modèle de base pour améliorer les profils d'équilibre thermique de façon annuelle en fonction des stratégies. Dans le contexte du village de Quaqtq, seule la consommation énergétique pour le chauffage a été prise en compte dans le calcul, puisque la température extérieure annuelle est pratiquement toujours sous la température de consigne intérieure. Ainsi, avec un modèle de base d'une consommation de 314 kWh_{eq}/m² (intensité d'énergie effective et normalisée) (figure 15), lorsque l'on abaisse la température de consigne à l'intérieur, passant de 22 °C à 19 °C, on réduit la consommation totale. En considérant l'installation d'un système de récupération de chaleur avant l'extraction de l'air chaud à l'extérieur par un croisement de l'air froid entrant, on réduit encore une fois la consommation. Par les ouvertures, on peut considérer un gain de chaleur par l'énergie accumulée du rayonnement solaire. D'ailleurs, l'intégration d'ouvertures zénithales permet d'accumuler plus de rayonnement solaire qu'une ouverture verticale réduisant ainsi la grandeur nécessaire

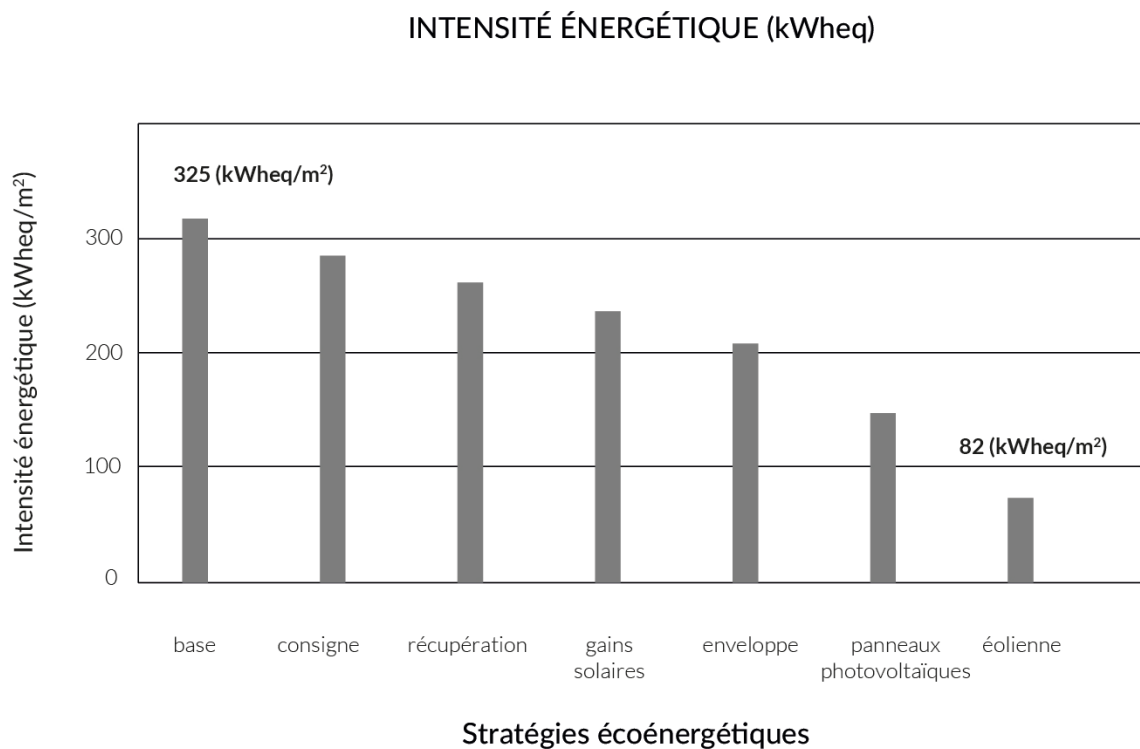


Figure 15. Synthèse des stratégies écoénergétiques (Profils d'équilibre thermique [2001-2014])

d'ouvertures pour la même quantité de lumière et favorisant une meilleure isolation par l'enveloppe. En ce qui a trait à l'enveloppe, l'isolation par couche permet d'éviter les ponts thermiques de transfert direct de chaleur. Ainsi, l'enveloppe est composée d'un panneau de CLT structurant, d'une membrane par-air/par-vapeur, d'une première couche d'isolant en fibre de bois avec des fourrures pour les supporter et enfin d'une seconde couche d'isolant avec des fourrures orientées perpendiculairement aux premières pour offrir un support au revêtement de bois. De cette façon, l'isolation par couche permet d'atteindre de hauts standards en terme de résistance thermique pour l'enveloppe, soit un RSI de 9 pour le toit, un RSI de 5,91 pour les murs et une valeur considérée adiabatique pour le plancher. Enfin, l'ajout de deux systèmes de production d'énergie renouvelable, éolienne et photovoltaïque, permet de réduire encore la consommation totale. Ainsi, en partant du modèle de base (314 kWh_{eq}/m²) et en considérant le modèle des profils d'équilibre thermique optimisé (82 kWh_{eq}/m²), on diminue de 73,9 % la consommation énergétique totale annuelle. Sachant que la consommation énergétique dans le contexte du Nunavik comporte une grande demande à cause du climat très froid et que cette énergie est plus dispendieuse qu'ailleurs à cause des méthodes de production, la réduction de la consommation énergétique permet un développement plus durable en se détachant des produits pétroliers et en diminuant la production de gaz à effet de serre.

Le système constructif de CLT permet d'intégrer dans les couches interstitielles certains éléments. Par exemple, la couche interstitielle de CLT peut servir à accueillir des systèmes électriques, soit des câblages électriques et un système radiant intégré au plancher pour le maintien de la température dans la zone tempérée.

De plus, le système constructif de panneaux de CLT joue un rôle dans le design de la forme aérodynamique. La forme s'inspire à la fois du système constructif et de l'étude aérodynamique qui a été réalisée pour plusieurs formes. Comme l'illustre la figure 16 réalisée à partir du logiciel de soufflerie virtuelle (Autodesk Flow Design), le microclimat qui est créée permet aux occupants de se protéger des vents dominants. Moins la densité de points dans l'air est opaque, moins la vitesse du vent est élevée et vice-versa.

Le projet d'habitation nordique dans le contexte du village de Quaqaq est surélevé par rapport au sol. En gardant un espace d'air entre le sol et le bâtiment, on évite la fonte du pergélisol qui entrainerait un mouvement au même moment. Ainsi, des pilotis ajustables sont prévus pour s'adapter à différentes topographies et le réajustement de l'habitation au niveau est possible en fonction des mouvements au sol. De plus, l'espace sous le bâtiment, permettant à l'air de circuler, empêche l'accumulation de congères de neige sur le bâtiment, ce qui accélérerait sa dégradation et surtout son accessibilité. (figure 16)

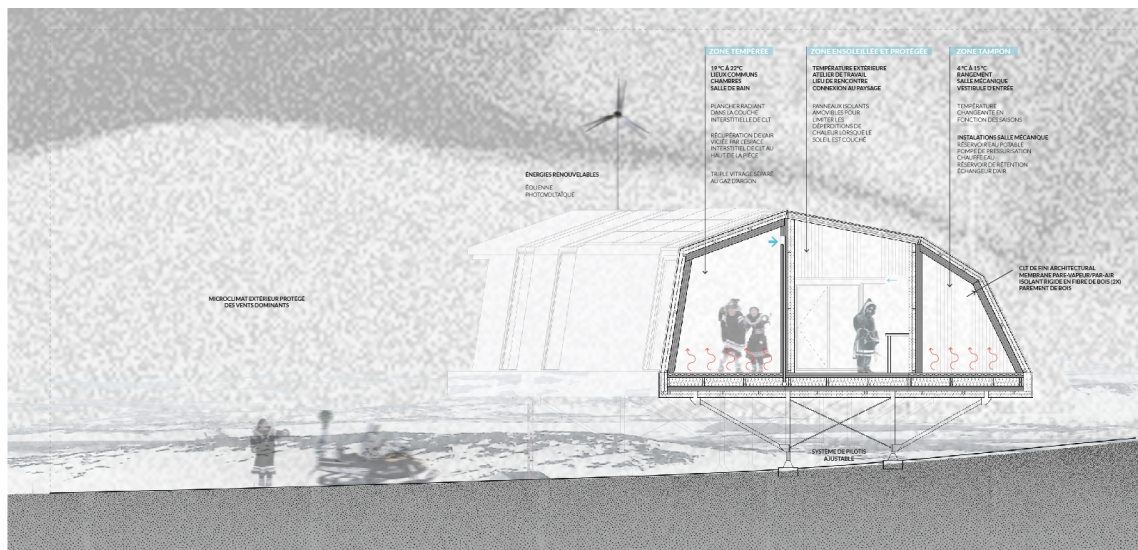


Figure 16. Coupe transversale illustrant la vélocité du vent dominant (par l'auteur)

L'utilisation du CLT par une conception intégrée permet de développer des solutions écoresponsables afin de réduire la consommation énergétique et l'énergie grise du bâtiment tout en favorisant un plus grand cycle de vie aux matériaux. Du coup, l'empreinte écologique du bâtiment est réduite.

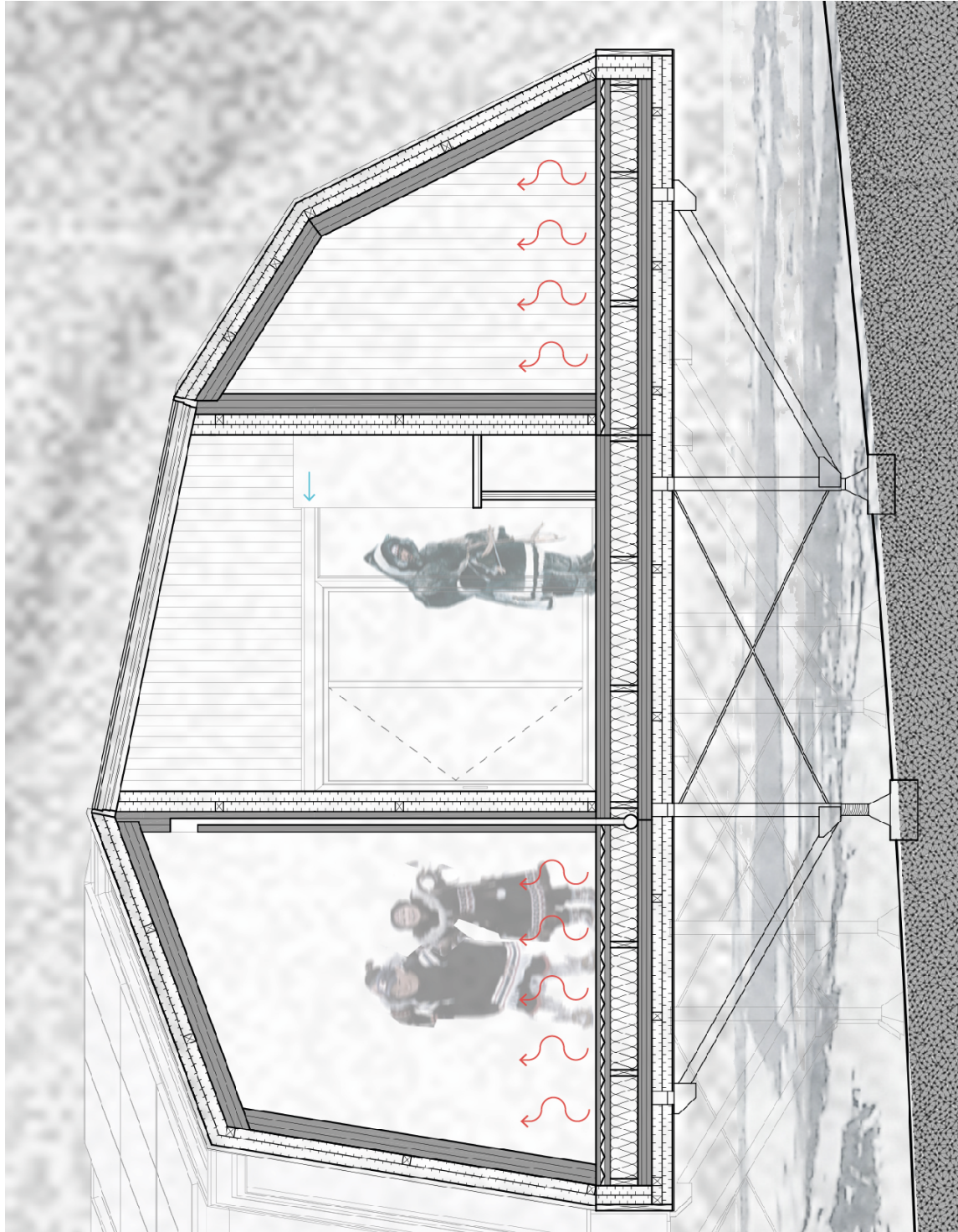


Figure 17. Coupe détail agrandie (par l'auteur)

Conclusion et regard critique

L'utilisation du CLT comme système constructif et de conception intégrée dans le projet d'habitation nordique génère de nombreux avantages par rapport à un système de construction standard en bois d'œuvre. Considérant les nombreux enjeux dans ce contexte nordique, notamment pour la forte pénurie de logements qui demande un déploiement efficace, le CLT permet l'intégration de nombreux systèmes dès l'usinage et un assemblage rapide sur le chantier. Le bois d'ingénierie comme matériau renouvelable se caractérise par sa durabilité durant tout son cycle de vie, soit de son installation, à son utilisation jusqu'à sa réutilisation. Le CLT comme matériau novateur ouvre de nombreuses possibilités quant à l'adaptation en milieu nordique par la composition d'une forme aérodynamique tout en favorisant des stratégies écoénergétiques par l'isolation de l'enveloppe.

Les panneaux de bois lamellé-croisés joueront un rôle important dans les prochaines années en ce qui a trait à la construction durable. La recherche-crédation de cet essai (projet) tente de rendre compte de multiples possibilités qui émergent par cette approche intégrée. Il est à noter que cette recherche s'est limitée à une approche bioclimatique à l'architecture. Il aurait été intéressant d'ajouter au cadre de la recherche un axe social en se rendant directement sur le site d'intervention pour comprendre d'une autre façon les besoins de la communauté. Certaines informations d'un point de vue social ont pu être intégrées dans le design du projet d'architecture par l'expertise des partenaires de la *Chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois*. De plus, ce projet intègre certaines valeurs quantitatives, notamment pour les stratégies écoénergétiques et pour l'analyse de l'aérodynamisme qui ne peuvent pas être validées dans le cadre de ce projet théorique. À l'image du prototype d'habitation nordique de la SHQ au village de Quaqaq, il serait intéressant d'intégrer un système de mesure pour valider la recherche théorique d'un tel projet dans un contexte réel.

Bibliographie

- Boucher Côté, Mathieu (2013) *Exploration des caractéristiques du panneau X-LAM en contexte canadien dans le cadre d'un processus de recherche-crédation en architecture* [En ligne]. Mémoire (de maîtrise). Québec : Université Laval. Disponible sur : < <http://theses.ulaval.ca/acces.bibl.ulaval.ca/archimede/meta/29965> > (Consulté le 15 septembre 2015).
- Brown, G. Z., et Mark DeKay (2013) *Sun, wind, and light: architectural design strategies*. Third [edition]. Hoboken : Wiley.
- Chantiers Chibougamau. [en ligne]. Adresse URL : <http://chibou.com/fr/accueil> (page consultée le 20 avril 2016)
- CIRCERB. [en ligne]. Adresse URL : <https://cercerb.chaire.ulaval.ca> (page consultée le 20 avril 2016)
- Direction des affaires intergouvernementales et autochtones (2014) *Le logement au Nunavik : document d'information*. Bibliothèque et Archives nationales du Québec.
- E. Smith, Ryan, Gentry Griffin et Talbot Rice (2015) *Solid Timber Construction: process, practice, performance*. University of Utah, Integrated Technology in Architecture Center, College of Architecture and Planning.
- Farel, Alain, et Jacques Benoît (2007) *Bâtir éthique et responsable*. Paris : Moniteur.
- Gagnon, Sylvain, Ciprian Pirvu, et FPInnovations Institute (2011) *CLT handbook: cross-laminated timber*. Québec : FPInnovations.
- König, Holger, et Jakob Schoof (2010) *A life cycle approach to buildings: principles, calculations, design tools*. 1. ed. München : Ed. Detail, Inst. für Internat. Architektur-Dokumentation.
- Makivik Corporation. [en ligne]. Adresse URL : <http://www.makivik.org/fr/> (page consultée le 20 avril 2016)
- Potvin, André, et Hugues Boivin (2001-2014) *Profils d'équilibre thermique*. École d'architecture de l'Université Laval.
- Régie du Bâtiment du Québec (2015) *Bâtiment de construction massive en bois d'au plus 12 étages : directive et guide explicatif*. Bibliothèque et archives nationales du Québec.
- Société d'habitation du Québec. Nord, [en ligne]. Adresse URL : <http://www.habitation.gouv.qc.ca/nord/nord.html> (page consultée le 6 décembre 2015)
- Université de Stuttgart. [en ligne]. Adresse URL : <https://www.uni-stuttgart.de/home/index.en.html>

Annexes

A.1 Planches finales telles que présentées le 15 avril 2016

Dimensions originales :

36 pouces (largeur) X 72 pouces (hauteur)

ARCHITECTURE NORDIQUE ET AÉRODYNAMISME

Habitations sociales pour la communauté inuite du village de Quaqtaq

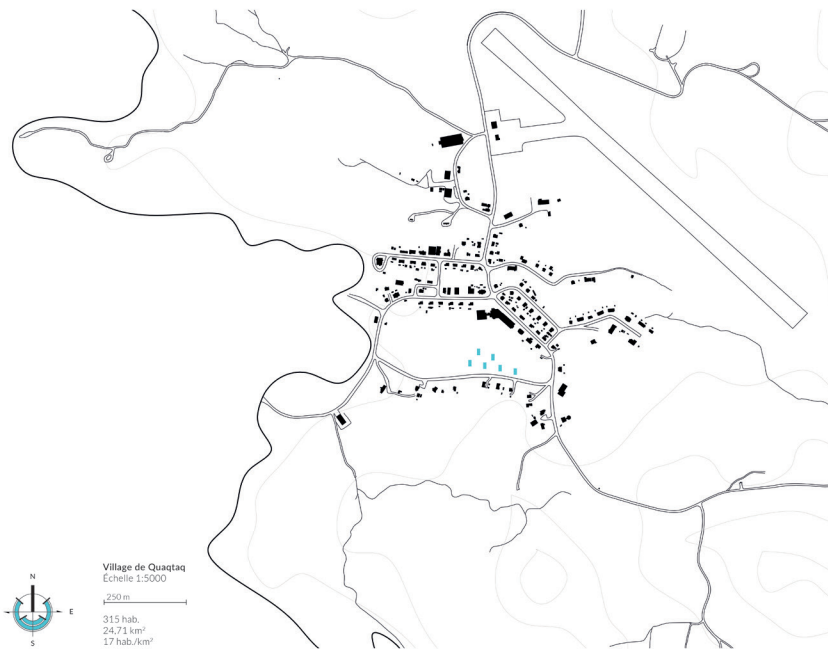


CONTEXTE NORDIQUE

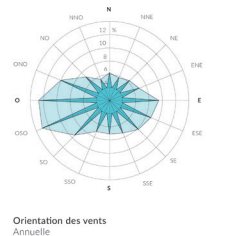
COMMUNAUTÉ INUITE DU VILLAGE DE QUAQTAQ

Cet essai (projet) s'intéresse à la relation entre l'aérodynamisme et les formes architecturales dans le cadre d'habitations sociales pour la communauté inuite du village de Quaqtaq au Nunavik. La conception du projet met de l'avant les morphologies présentes dans le paysage naturel d'un climat nordique comme générateur de formes par l'étude bioclimatique. Cette approche vise une construction durable pour laquelle la situation du territoire biogéographe pose de nombreux défis notamment en terme de

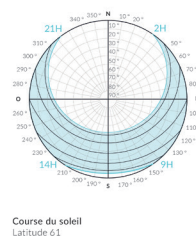
ressources énergétiques et de conditions climatiques extrêmes. Concrètement, le projet d'habitations intègre un système constructif de bois d'ingénierie (les panneaux de bois lamellés-croisés) dont l'assemblage permet la réalisation d'espaces flexibles. Enfin, l'objectif est de montrer que l'utilisation de ce matériau préfabriqué et de conception intégrée permet un déploiement rapide et efficace sur le site en répondant à des enjeux socio-culturels et de durabilité.



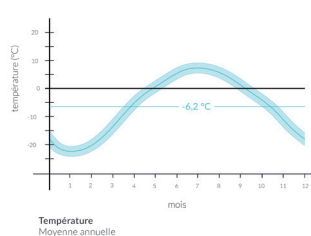
Village de Quaqtaq
Echelle 1:5000
250 m
315 hab.
24,73 km²
1,7 hab./km²



Orientation des vents
Annuelle



Course du soleil
Latitude 61



Température
Moyenne annuelle



Volées
Echelle 1:200000

APPROCHE BIOCLIMATIQUE AU PROJET

RENCONTRE DURABLE ENTRE L'HABITAT SOCIAL ET LE BOIS D'INGÉNIEURIE

OBJECTIFS DE DESIGN



L'ADAPTATION SOCIOCULTURELLE

Mettre en valeur l'unicité et la spécificité de la culture inuite en favorisant les échanges dans la communauté ;
Prévoir des espaces adaptés pour les activités artisanales (dépeçage, couture de peaux, séchage, etc.)



L'AUGMENTATION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Optimiser les gains et les pertes thermiques par transfert de chaleur (conduction, convection, rayonnement) ;
Utiliser des stratégies passives et techniques pour atteindre un profil d'équilibre thermique net zéro.



LA RECHERCHE ET LE DÉVELOPPEMENT D'UNE MEILLEURE PERFORMANCE AÉRODYNAMIQUE

Adapter la forme au contexte climatique rigoureux (vents, neige, accumulations) pour augmenter la durabilité du bâti ;
Créer un microclimat extérieur pour une plus valeur au programme.



L'OPTIMISATION DES TECHNIQUES DE FONDATION

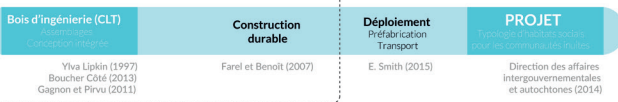
Intégrer une relation au sol qui soit facilement adaptable sur plusieurs sites ;
Prévenir la fonte du pergélisol.

Climat nordique

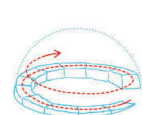


Approche **BIOCLIMATIQUE** d'architecture Brown et DeKay (2013)

OBJECTIFS DE DESIGN



Morphologies du paysage naturel



Matériaux

Encadrement d'acier modulaire recyclé à 90%
Fondations préfabriquées et recyclées à 100%
Couche extérieure: tôle métallique recyclé à 95%
Exploitation des formes courbes
Bois provenant de sources certifiées



Déploiement

Structure modulaire (5 m X 1,25 m X 4,8 m) pour faciliter le transport et l'installation
Conception de la maison pour atteindre une énergie d'utilisation nette de zéro
Création d'un espace de vie confortable dans une zone relativement petite pour réduire la surface extérieure



Énergie

Fenêtres conçues pour utiliser le rayonnement solaire avec des volets isolés pour minimiser la perte de chaleur
Installation géothermique pour modérer la différence de température et soutenir la pompe à chaleur de la maison
Le conteneur utilise l'énergie d'une éolienne et un toit avec des panneaux photovoltaïques intégrés

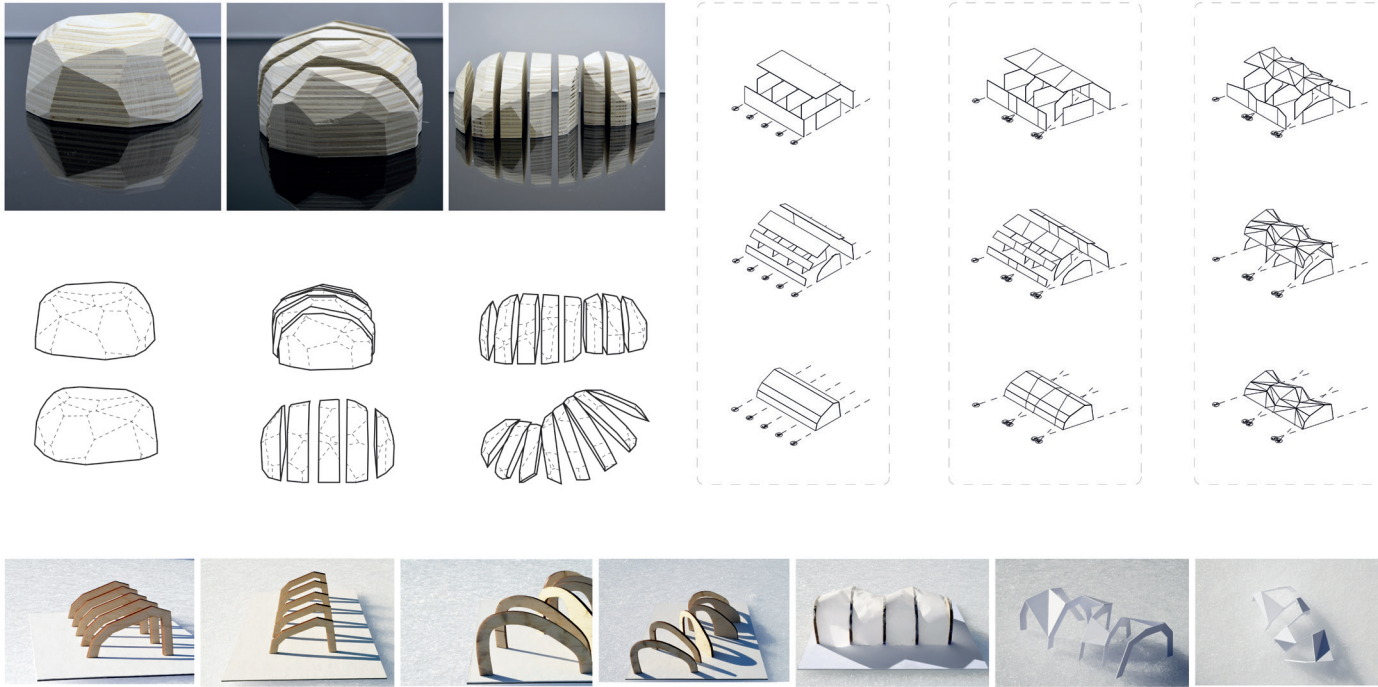


Équité

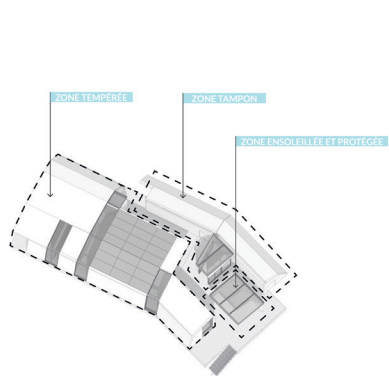
Jardin avec des micro-serres
Financier pour la transformation des aliments et la préparation par des moyens traditionnels, tout en ne nécessitant pas de réfrigération ou d'énergie
Espace communautaire qui favorise la coopération et l'interaction en intégrant des activités traditionnelles



EXPLORATION FORMELLE
RELATION ENTRE LA FORME ET LA STRUCTURE



DÉVELOPPEMENT DU PROTOTYPE
STRATÉGIES BIOCLIMATIQUES

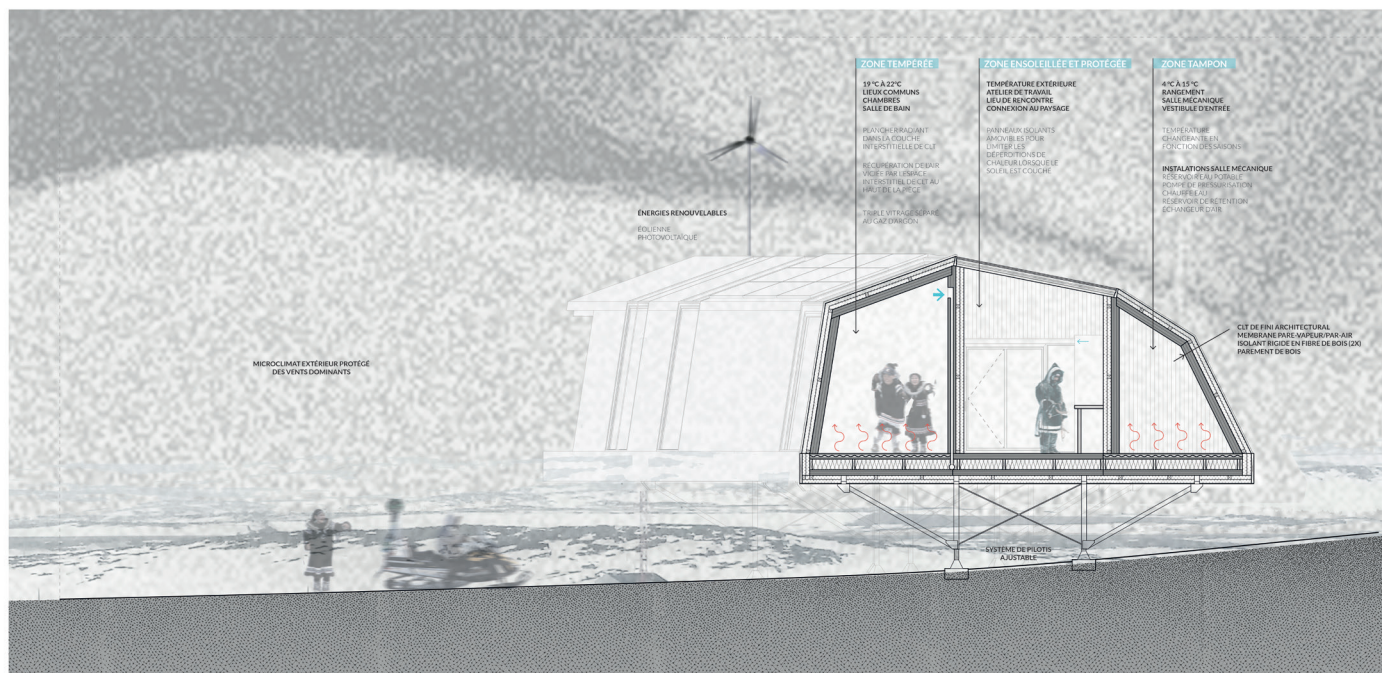
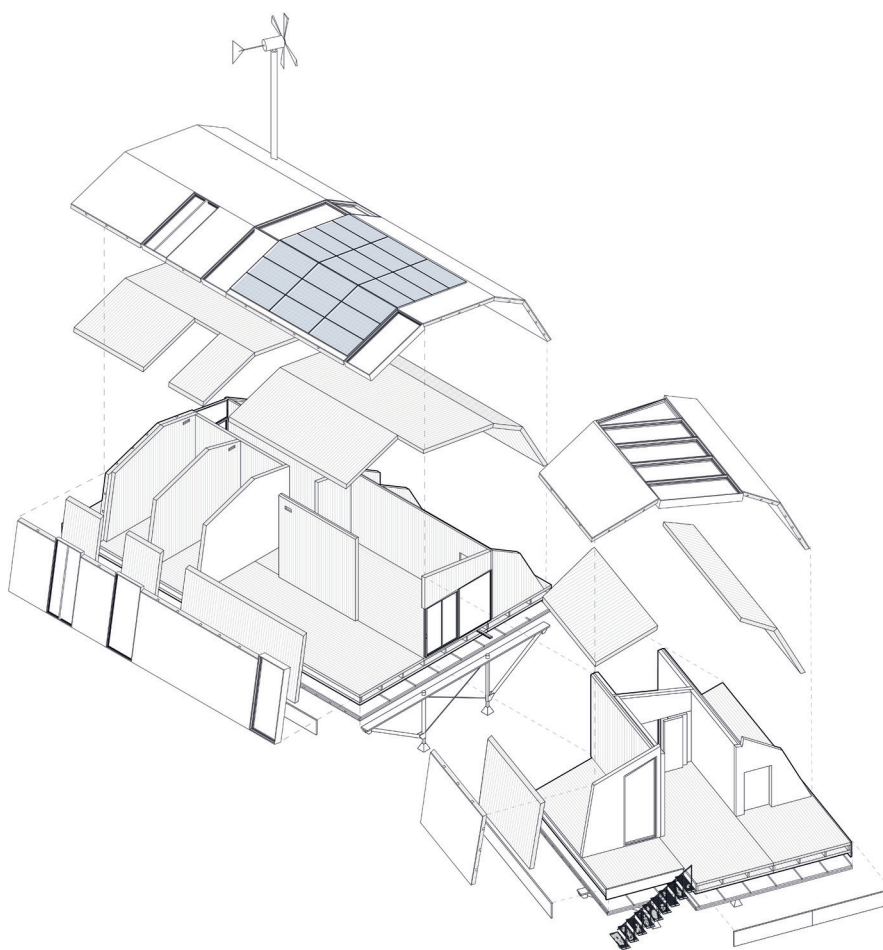
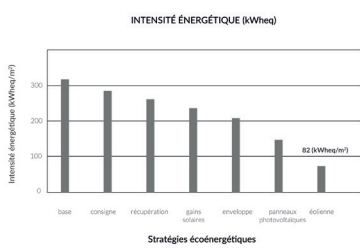


DÉFINITION DES ZONES THERMIQUES

ZONE ENSOLEILLÉE ET PROTÉGÉE
intégration d'un lieu pour le travail artisanal

ZONE TAMPON
lieu de transition entre l'extérieur et l'intérieur

ZONE TEMPÉRÉE
zone de vie intérieure

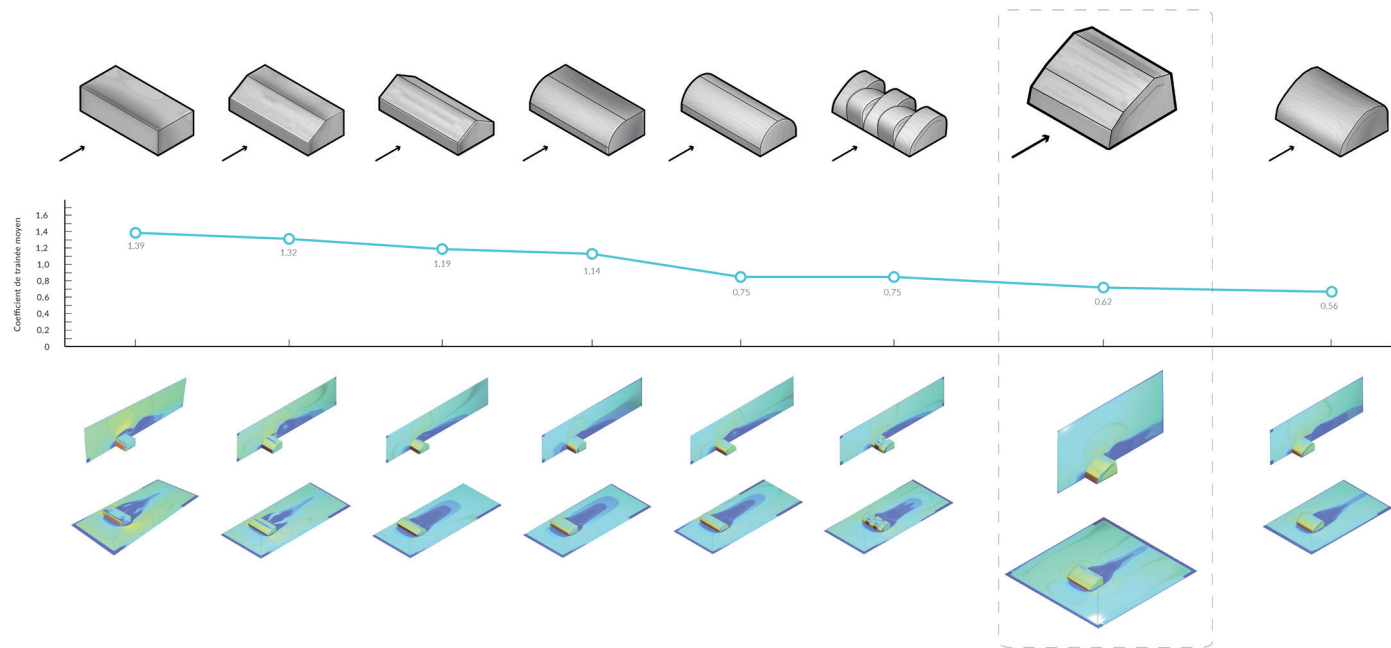


COUPE TRANSVERSALE
ÉCHELLE 1:30





ÉTUDE AÉRODYNAMIQUE
COMPORTEMENT DU VENT SUR L'ENVIRONNEMENT BÂTI



PLAN DU SYSTÈME D'HABITATIONS
ARTICULATION DE LA ROTULE



A.2 Site

QUAQTAQ

Population	413 hab. (2014)
Superficie	24,71 km ²
Densité	17 hab./km ²



Photo : Quaqtaq, Google Earth (2010)



Photo : cedmd, Quaqtaq (1972)



Photo : Quaqtq, Google Earth (2010)



Photo : Quaqtq, Google Earth (2010)

A.3 Précédents



24Studio (2012)

Déploiement

- Structure modulaire (5 m X 1,25 m X 4,8 m) pour faciliter le transport et l'installation
- Conception de la maison pour atteindre une énergie d'utilisation nette zéro
- Création d'un espace de vie confortable dans une zone relativement petite pour réduire la surface extérieure



2SIS Arquitectes | Universal Serial Home (2012)

Énergie

- Un design compact adapté aux besoins du climat, en intégrant les concepts d'économie d'énergie et d'un assemblage facile avec un temps d'exécution court
- Fenêtres conçues pour utiliser le rayonnement solaire avec des volets isolés pour minimiser la perte de chaleur
- Installation géothermique pour modérer la différence de température et soutient la pompe à chaleur de la maison
- Le conteneur utilise l'énergie d'une éolienne et un toit avec des panneaux photovoltaïques intégrés



Taller Abierto | Finnesko 13 (2012)

Matériaux

- Encadrement d'acier modulaire recyclé à 90%
- Fondations préfabriquées et recyclées à 100%
- Couche extérieure : tôle métallique recyclé à 95%
- Exploitation des formes courbes
- Bois provenant de sources certifiées



Belknap and Swain | house for a Windy Island (2012)

Équité

- Jardin avec des micro-serres
- Espace supplémentaire pour le pâturage et la culture de légumes indigènes, espace partagé entre voisins pour le nettoyage et le salage de poissons
- Fumoir pour la transformation des aliments et la préparation par des moyens traditionnels tout en ne nécessitant pas de réfrigération ou d'énergie
- Espace communautaire qui favorise la coopération et l'interaction en intégrant des activités traditionnelles

A.4 Documentation

BRIDPORT HOUSE HACKNEY, UK

Architect: Karakusevic Carson Architects

CLT Supplier: Stora Enso

Contractor: Willmott Dixon Housing

ABOUT

Designed as the first phase of the regeneration of the Colville Estate, Bridport House was commissioned by Hackney Council to replace an original 1950s block with 41 new homes in two joined blocks, one eight stories high and the other five stories.

All elements from the ground floor upwards are CLT – including the lift shaft. Below ground level (the piles, foundations and lift pit) is reinforced concrete.



i GENERAL

HOUSING BUILDING TYPE

2011 YEAR COMPLETED

45,424 SQUARE FEET
(4,220M²) (FT²)

55,726 TIMBER VOLUME
(1,578M³) (FT³)

8 + 5 STORIES TALL



\$ COST

£5.8M CONSTRUCTION COST

£1.2M CLT CONTRACT

🕒 SCHEDULE

18 MONTHS FROM START TO FINISH

12 MONTHS UNDER CONSTRUCTION

6 MONTHS FOR DESIGN

6 WEEKS IN FACTORY

14 WEEKS TO ERECT

850 MILES FROM FACTORY TO SITE



↔ COMPARISON

7% MORE COST EFFECTIVE

\$198.19* PER S.F.

25% FASTER CONSTRUCTION

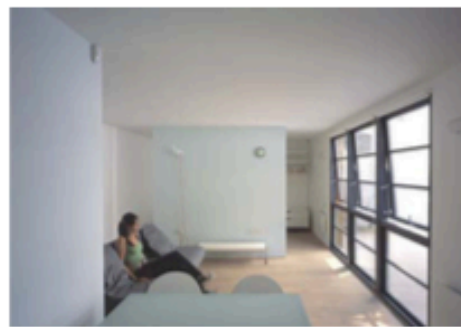
*Normalized to the first quarter of 2014 in US Dollars and Washington, DC

CARLISLE LANE WATERLOO, LONDON

Architect: Pringle Richards Sharrat Architects
Timber Engineer: Eurban
Contractor: D.F. Keane Builders & Contractors

ABOUT

Four one-bed apartments built on a tight urban site next to the railway viaduct in Waterloo. The site is as narrow as 23 feet in parts and only 66 feet long; the two-story residential development has been built against three existing boundary walls of the previous structure. Each apartment has large windows facing onto a shared courtyard. The lightweight structure avoided the necessity for substantial new foundation works and the prefabricated system facilitated construction within a confined space.



i GENERAL HOUSING BUILDING TYPE

2005 YEAR COMPLETED **1,722** SQUARE FEET (160M²) (FT²)

2,295 TIMBER VOLUME (65M³) (FT³) **2** STORIES TALL

\$ COST £355K CONSTRUCTION COST

£26K DESIGN COST £88K CLT CONTRACT

🕒 SCHEDULE

16 MONTHS FROM START TO FINISH **11** MONTHS UNDER CONSTRUCTION **5** MONTHS FOR DESIGN

1 MONTHS IN FACTORY **6** DAYS TO ERECT **671** MILES FROM FACTORY TO SITE

↔️ COMPARISON 31% FASTER CONSTRUCTION

\$305.28* PER S.F. **43.1%** LESS COST EFFECTIVE

*Normalized to the first quarter of 2014 in US Dollars and Washington, DC

UBC EARTH SYSTEMS SCIENCE BUILDING VANCOUVER, BC

Architect: Perkins + Will
CLT Supplier: Structurlam
Contractor: Bird Construction

ABOUT

This was a pilot project to test the capabilities of solid timber. A variety of materials were used including timber, steel, and concrete. Located on the University of British Columbia (UBC) Vancouver campus, and is home to the Earth, Ocean and Atmospheric Studies, the Department of Statistics, the Pacific Institute for the Mathematical Sciences and the Dean of Science.



i GENERAL

ACADEMIC BUILDING TYPE

2012 YEAR COMPLETED

164,020 SQUARE FEET
(15,238M²)

46,509 TIMBER VOLUME
(1,317M³)

6 STORIES TALL



\$ COST

\$48.7M CONSTRUCTION COST (CAD)

\$6M DESIGN COST (CAD)

\$1.6M SOLID TIMBER CONTRACT (CAD)

🕒 SCHEDULE

36 MONTHS FROM START TO FINISH

24 MONTHS UNDER CONSTRUCTION

12 MONTHS FOR DESIGN

5 MONTHS IN FACTORY

7 MONTHS TO ERECT

258 MILES FROM FACTORY TO SITE



➔ COMPARISON

11% MORE COST EFFECTIVE

\$276.85* PER S.F.

42% SLOWER CONSTRUCTION

*Normalized to the first quarter of 2014 in US Dollars and Washington, DC