

# Chapitre 1. Revue de littérature

## 1.1 Utilisation du bois en construction non résidentielle

En Amérique du Nord, en fonction des sources consultées, le secteur de la construction possède une empreinte environnementale importante en ce qui a trait à la production de gaz à effet de serre (35 à 39%) et la consommation d'énergie (33 à 39%) (CBDC, 2017; EPA, 2009; Lucuik, 2005). Ainsi, dans son 5e rapport, le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) identifiait le secteur du bâtiment comme ayant un important potentiel de lutte aux changements climatiques (Lucon *et al.*, 2014). Les impacts environnementaux du bâtiment sont reliés à l'énergie d'utilisation du bâtiment et à l'énergie intrinsèque des matériaux choisis. L'énergie d'utilisation correspond à l'énergie utilisée pour exploiter le bâtiment notamment, pour le chauffage et la climatisation, alors que l'énergie intrinsèque représente l'énergie nécessaire au cycle de vie d'un matériau, de son extraction jusqu'à sa récupération. Dans un contexte où l'on veut diminuer l'impact environnemental des bâtiments le plus rapidement possible, l'énergie intrinsèque des bâtiments doit être ciblée. À ce sujet, plusieurs auteurs identifient le bois, un matériau renouvelable, comme étant une solution efficace pour diminuer l'énergie intrinsèque des bâtiments et les impacts environnementaux qui en découlent (Oliver *et al.*, 2014; Sathre and O'Connor, 2010; Thormark, 2006). Les qualités du bois se résument principalement en deux avantages : 1) sa capacité à séquestrer le carbone et 2) sa faible émission de gaz à effet de serre lors de l'extraction, la transformation, le transport, l'installation, l'entretien et le recyclage du produit de bois (Jørgensen *et al.*, 2015; Sartori and Hestnes, 2007; Takano, 2015).

En Amérique du Nord, le bois est principalement utilisé comme matériau de construction dans le secteur résidentiel pour des applications structurelles et d'apparence. Par exemple, la construction à ossature légère en bois est présente dans 90% des maisons unifamiliales (FPInnovations, 2012). Les produits d'apparence en bois les plus utilisés sont les parements extérieurs et intérieurs, les planchers et les moulures décoratives. Les produits d'apparence en bois étant utilisés dans 4% du marché non résidentiel et 71% du marché résidentiel, le secteur de la construction non résidentielle présente donc un plus grand potentiel de substitution de matériaux plus énergivore comme la maçonnerie, l'acier, l'aluminium et le béton pour le bois (RISI, 2008),

La construction non résidentielle tel qu'entendu dans ce mémoire comprend les bâtiments à usage commercial (bureau, restaurant, magasin, etc.), institutionnel (école, hôpital, palais de justice, etc.) et industriel (usine, laboratoire, etc.). Les grands bâtiments résidentiels sont inclus

dans la recherche sous le terme « construction non résidentielle » puisqu'il partage beaucoup de caractéristiques communes avec les bâtiments non résidentiels. La construction non résidentielle présente un potentiel économique intéressant pour les manufacturiers de produits du bois. La valeur économique du marché non résidentiel est égale à celle du marché résidentiel en plus d'être moins cyclique (Kozak and Cohen, 1999; O'Connor, 2004). La densification des centres urbains et l'augmentation du nombre de personnes vivant seules favorisent aussi la construction de bâtiments multilogements (FPAC, 2013). Les bâtiments non résidentiels sont généralement de plus grande taille que les bâtiments résidentiels. Ainsi, ils possèdent un cahier des charges beaucoup plus imposant en terme de conception, de construction et d'application du Code national du bâtiment (O'Connor *et al.*, 2003). Considérant le secteur non résidentiel stratégique, il est important de positionner le bois comme matériau dans le plus de fonctions à travers le bâtiment. Selon une enquête réalisée au Québec auprès de 50 ingénieurs en structure, 4 architectes et 12 autres professionnels du domaine du bâtiment, les parts de marché des bâtiments non résidentiels avec structure en bois est passée de 18% à 22% pour la période de 2006 à 2009 (FPInnovations, 2010). Cette augmentation est largement tributaire au développement de produits de structures innovants permettant de satisfaire certains besoins des concepteurs. Ainsi, parmi les différents systèmes architecturaux, l'enveloppe et plus précisément le parement extérieur pourraient utiliser davantage le bois à condition d'apporter des modifications aux produits existants (Pousette and Gezelius, 2016). Les travaux de Robichaud (2010) ont aussi démontré que les bâtiments, selon les catégories inscrites au code, les plus susceptibles d'utiliser les parements de bois sont les bâtiments commerciaux, les centres d'affaires et les occupations non classifiées tels les auditoriums, les bibliothèques, les restaurants, les gymnases et les salles communautaires.

La littérature abonde de travaux discutant des opportunités, des barrières et des recommandations pour favoriser l'utilisation du bois de structure dans la construction non résidentielle. Gosselin *et al.* (2016) ont recensé 54 articles publiés entre 1999 et 2015 sur l'utilisation du bois de structure. Toutefois, il existe très peu de littérature spécifique à l'utilisation du bois comme parement extérieur en construction non résidentielle. De 2010 à 2015, trois études ont montré que le bois était utilisé comme revêtement dans 15 à 20% des nouvelles constructions non résidentielles de quatre étages et moins (Drouin & Robichaud, 2015; L'Observateur, 2010). Le pourcentage d'utilisation du bois dans un bâtiment a aussi été étudié. L'Observateur (2010) et Robichaud (2010) notent que lorsque le bois est utilisé comme parement dans un bâtiment non résidentiel, il couvre de 33 à 48% de la surface murale. Enfin, dans un sondage auprès de 44 firmes d'architectures au Canada, Lamason *et al.* (2012) révèlent que 82% des firmes sondées utiliseraient le bois comme parement en construction non résidentielle si les manufacturiers de

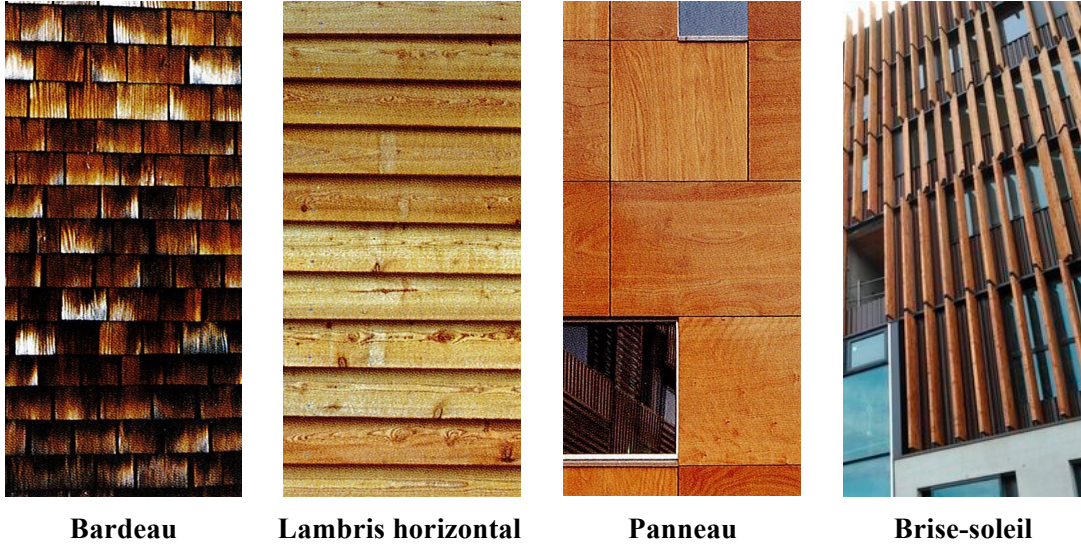
bois fournissaient l'information technique nécessaire à son utilisation. Il y a un intérêt pour l'apparence des parements extérieurs en bois si bien que de plus en plus de produits substitués imitent le grain naturel du bois (Freedonia Focus Report, 2015; O'Connor *et al.*, 2002).

Malgré cette volonté apparente d'utiliser davantage le bois, la littérature converge en définissant trois barrières principales à son utilisation comme parement extérieur en construction non résidentielle. En ordre d'importance, l'entretien récurrent, la réglementation et le marketing freinent le bois dans son accès au marché non résidentiel. (Drouin *et al.*, 2013; Lamason *et al.*, 2012; Robichaud, 2010). Le bois est un matériau organique et sensible à l'humidité, au rayonnement solaire et aux attaques fongiques. La durabilité à long terme du revêtement de bois dépend en grande partie de son entretien. Les principaux problèmes observés sont la fissuration, le dépôt de moisissure, les égratignures, la pourriture, la décoloration, les défauts du bois et le suintement de sève (Davies, 2011). Les garanties en vigueur couvrent pour des périodes données les problèmes de pelage, de craquelure et d'écaillage de la finition. Au niveau de la réglementation, l'utilisation du bois est freinée par le Code national du bâtiment et la réglementation municipale. Au Canada, en fonction de plusieurs paramètres dont l'usage du bâtiment, la superficie, la hauteur, la présence de gicleurs un bâtiment et la distance avec d'autres bâtiment ou voies publiques, un bâtiment devra être construit de façon combustible ou incombustible (structure) et cela décidera de la possibilité ou non d'inclure un parement combustible (NRC, 2015). Il est toutefois important de souligner qu'un bâtiment requis d'être de construction incombustible peut inclure un parement combustible s'il respecte les clauses de l'Article 3.1.5.5. du Code national du bâtiment (NRC, 2015). En plus des contraintes liées au Code national du bâtiment, certaines municipalités sont très sévères sur l'utilisation de parements extérieurs de bois pour de grandes surfaces murales (Robichaud, 2010). Enfin, le problème au niveau du marketing de l'industrie des parements de bois est souligné par les trois auteurs (Drouin *et al.*, 2013; Lamason *et al.*, 2012; Robichaud, 2010). Les architectes recherchent plus de possibilités et de choix de produits du bois pour la conception des façades. La communication entre les manufacturiers et les architectes est identifiée comme problématique. Le rapport de Freedonia Group (Freedonia Focus Report, 2015) mentionne que le bois est le matériau qui perd le plus de part de marché lorsque l'on combine la construction résidentielle et non résidentielle. Il attribue cette diminution au prix élevé, aux exigences d'entretien et à la vulnérabilité au feu, aux insectes, à la moisissure et la pourriture. Finalement, le rapport mentionne que les normes de certification forestière ont pour effet de diminuer la demande et d'augmenter les prix.

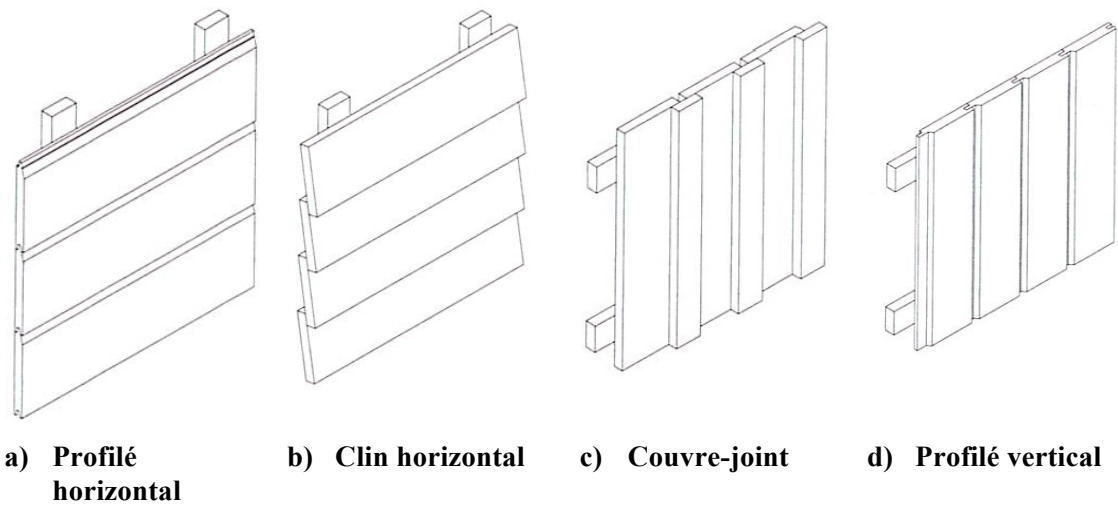
## 1.2 Les parements de bois

Le parement extérieur est la couche externe de l'enveloppe d'un bâtiment. Cette partie est la plus visible et la plus exposée aux intempéries. De ces constatations naît le dualisme entre l'art et la science et pour cause, le parement doit être esthétique et hautement performant par rapport aux conditions météorologiques. La fonction principale du parement est de protéger les occupants des éléments extérieurs. Il protège également les couches de l'enveloppe des éléments météorologiques, particulièrement la pluie. En tant que fonction décorative, le parement fournit l'effet esthétique du bâtiment. Typiquement, le parement est un composant non porteur. Il est conçu pour supporter son propre poids, résister aux variations de température et supporter les charges du vent, de la neige et les chocs causés par des impacts. Il est généralement utilisé avec un cadre structurel pour le transfert de charge (Gorse *et al.*, 2012).

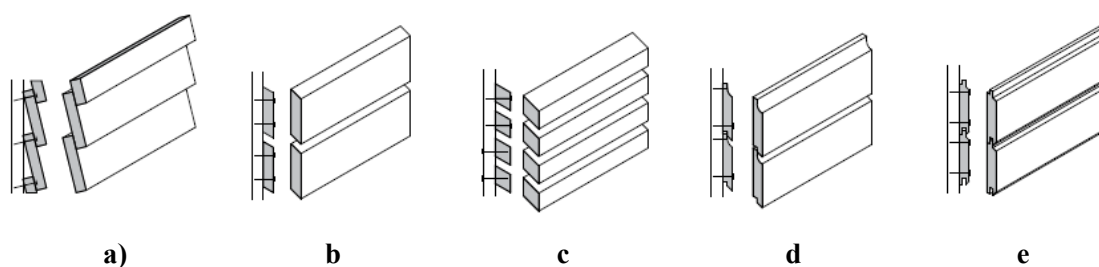
Les matériaux utilisés pour construire les façades des bâtiments non résidentiels sont : la pierre, les matériaux avec des liants minéraux tels le béton, les matériaux céramiques, les matériaux bitumineux comme le bardeau d'asphalte, le verre, les métaux, le bois, les matériaux synthétiques ainsi que les différents types d'enduits (Hegger *et al.*, 2006). Le bois est parmi les matériaux de recouvrement les plus anciens, particulièrement dans les pays où la ressource est abondante (Herzog *et al.*, 2007). Il est traditionnellement utilisé lorsque la structure est également de bois. C'est la raison pour laquelle il est principalement utilisé dans les constructions résidentielles. À ce sujet, Spelter et Anderson (1985) soulignent que l'utilisation de produits d'apparence en bois est inversement proportionnelle à la taille du bâtiment. La Figure 1-1 illustre les différentes formes que peuvent prendre les parements de bois. La forme la plus couramment utilisée dans le contexte québécois est le lambris.



**Figure 1-1** Différents types de revêtement (Adapté de Hegger *et al.* (2007))



**Figure 1-2** Principaux sens de pose du lambris de bois au Québec (Adapté de Hegger *et al.* (2007))



**Figure 1-3** Type de pose du lambris horizontal a) recouvrement horizontal b) joints plats c) claire-voie d) embrèvement simple et e) rainure et languette (Adapté du CNDB (2008))

Les lambris en bois sont des pièces de bois de sciage avec des faces parallèles; rabotées et/ou profilées (CNDB, 2008). Ils offrent aux concepteurs plusieurs configurations possibles : essences, orientations de la pose, profilés, couleurs, textures (texturé ou brossé) et largeur des planches. Le choix des configurations n'est pas simplement d'ordre esthétique, il influence la conception et il aura des impacts sur les performances de l'enveloppe. Par exemple, l'utilisation de planche avec espacement permet au rayon UV d'atteindre la membrane pare intempéries. Il faut ainsi s'assurer qu'elle soit résistante au rayon UV. En Amérique du Nord, le pin, l'épinette, le cèdre blanc et le cèdre rouge de l'Ouest sont les essences résineuses les plus couramment utilisées. Les sens de pose les plus populaires sont présentés à la Figure 1-2. Le sens horizontal est le plus commun suivi de la pose verticale et diagonale, non indiqué sur la figure. Il existe typiquement quatre types de poses pour le lambris horizontal (Figure 1-3) : recouvrement horizontal (a), claire-voie (b et c), embrèvement simple (c) et à rainure et languette (d). Pour la fixation traditionnelle à recouvrement, les lambris se chevauchent les uns par-dessus les autres avec une forme rectangulaire ou un usinage minime. Dans une fixation à embrèvement simple (*ship-lap*) ou à rainure et languette (*tongue and groove*), les lambris s'imbriquent les un dans les autres. Les profilés offerts sur le marché varient en fonction des manufacturiers. Au niveau de la conception, le choix des différents profilés demeure esthétique. Le système de fixation indiqué à la Figure 1-3 est apparent. Cependant, de plus en plus de manufacturiers offrent une fixation par clou ou par agrafe non apparente. La fixation est ancrée dans la languette et ainsi dissimulée lors de la pose du lambris supérieur. Pour les profilés qui s'emboîtent, les travaux de Hislop *et al.* (2013) suggèrent une largeur de la lamelle maximale de 125mm, une épaisseur entre 19 et 22mm et une marge de 2mm entre chaque profilé pour palier au gonflement du bois.

Finalement, les manufacturiers offrent différentes formes de systèmes de finition. Le choix du système de finition aura un impact sur la performance du lambris et sur l'esthétique. Bulian et

Graystone (2009) identifient trois types de revêtements de finition. D'abord, on retrouve les systèmes de peintures opaques. Ce type de finition forme un film lorsqu'il est appliqué sur le bois. Il contient une forte concentration de pigment. Tout comme les peintures opaques, les revêtements translucides ou semi-transparents (vernis et laques) possèdent des propriétés protectrices et décoratives. La différence entre les deux systèmes réside dans la quantité limitée de pigments qui laisse entrevoir le grain naturel du bois. Enfin, les teintures ne forment pas de film de protection sur le bois. Les teintures peuvent contenir des pigments, des colorants ou des éléments réactifs avec le bois. On retrouve parfois des combinaisons de systèmes teinture-vernis.

### **1.3 Réseaux d'approvisionnement**

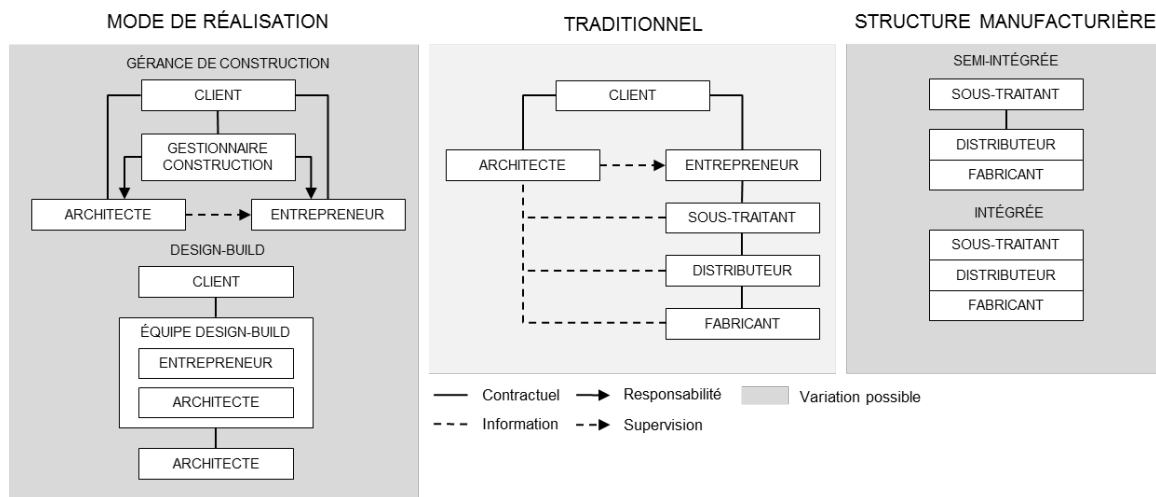
Au Québec, selon l'article 16.1 de la Loi sur les architectes, les architectes sont formellement obligés de signer et sceller tous les plans servant à la construction, l'agrandissement, la reconstruction, la rénovation ou la modification d'un édifice si celui-ci possède plus de deux étages ou une superficie brute totale de plancher supérieur à 300m<sup>2</sup> (Gouvernement du Québec, 2015). De ce fait, les architectes sont les principaux donneurs d'ordres pour les bâtiments non résidentiels. Ils se définissent aussi comme étant, sans exception, les principaux décideurs des matériaux à prescrire (Drouin *et al.*, 2013; Garmston *et al.*, 2012). Au-delà des architectes, les clients sont également à considérer dans le processus de sélection du parement extérieur. Les clients sont ceux qui financent un projet immobilier. Il existe typiquement deux types de clients : public et privé. Tel qu'indiqué à la Figure 1-4, selon le mode de réalisation traditionnel, le client octroie deux principaux contrats. Un premier à l'architecte pour la phase de conception et un second à l'entrepreneur général pour la construction (pour alléger le texte, le terme « entrepreneur » sera utilisé). Au niveau du parement extérieur, le rôle de l'entrepreneur est de planifier, coordonner et superviser le travail des sous-traitants. Il peut aussi s'acquitter de certaines tâches compte tenu de ses compétences internes. Enfin, les sous-traitants s'assurent d'acheter le matériel nécessaire d'un distributeur et de procéder à l'installation du parement et du système de fixation. La Figure 1-4 illustre différentes variations possibles du modèle traditionnel.

Pour ce qui est des autres modes de réalisation les plus généralement utilisés, on retrouve le modèle en gérance de construction et conception-construction (*Design-Build*). On retrouve aussi différents types de structures manufacturières pour les produits de parements extérieurs. Généralement, le distributeur est différent du manufacturier. Il peut être distributeur de parement extérieur, distributeur de matériaux de construction ou distributeur de type quincaillerie. Comme

indiqué à la Figure 1-4, les compagnies totalement intégrées, de la fabrication à la distribution, sont principalement rencontrées dans les grands projets coûteux (Ledbetter, 2003).

La complexité de la chaîne de valeur amène Ledbetter (2003) à parler davantage de « réseaux » que de chaîne. Selon Du (2009), les échanges entre les différents acteurs traitent des coûts, des dates de livraison, de la production, des services, de l'installation et de la valeur ajoutée des produits.

En ce qui concerne les produits du bois, les architectes font directement affaire avec les manufacturiers (Drouin *et al.*, 2013). Les manufacturiers sont en grande partie responsables de la fonction design des produits offerts. L'offre comporte très peu de personnalisation. Les architectes choisissent parmi différentes options préalablement établies par les manufacturiers : couleur, profilé, dimensions, etc. Le modèle économique des industries du bois est basé sur le volume et non sur le développement de produits pour la construction non résidentielle. La compétitivité des industriels du milieu forestier étant plus souvent basée sur les faibles prix que sur l'innovation, Drouin *et al.* (2013) suggèrent aux industriels d'intégrer davantage les designers dans la conception de produits pour permettre la production de produits innovants. D'autres produits d'apparence en bois comme les moulures et les portes architecturales, ayant traditionnellement une chaîne de valeur comparable à celle des autres produits de parements extérieurs, ont su s'adapter à la construction non résidentielle en offrant des produits et services directement consacrés aux architectes.



**Figure 1-4** Réseaux d'approvisionnement pour les parements extérieurs et les modifications possibles pour les modes de réalisation et les structures manufacturières (Adapté de l'Institut royal d'architecture du Canada (2009))



## 1.4 Prescription des matériaux de construction

Pour comprendre en détail comment s'effectue la sélection d'un parement extérieur en construction non résidentielle, la littérature s'appuie principalement sur les considérations de l'architecte. Les travaux de Wastiel et Wouters (2012) montrent que les considérations des architectes dans la sélection des matériaux s'organisent autour du contexte, de la fabrication, des propriétés des matériaux et de l'expérience. Chaque catégorie précédemment énumérée se subdivise en sous-catégories. Ainsi, le contexte général est influencé par les contextes physiques, d'utilisation et culturels. La fabrication comprend la production, l'assemblage et la finition. Les propriétés des matériaux sont quant à elles techniques et sensorielles. Enfin, l'expérience se décline en fonction de la perception, l'association et l'émotion. Les catégories identifiées dans cette étude se rapprochent de ceux identifiés par Hegger *et al.* (2007). Pour Hegger *et al.* (2007), la sélection des matériaux est principalement influencée par le contexte d'utilisation, la perception et les propriétés écologiques, économiques et techniques d'un matériau. Les résultats d'interview de groupe avec des architectes de Wastiel et Wouters (2012) ont aussi démontré un changement dans les critères de sélection des matériaux, passant d'une sélection basée sur la technique vers l'expérience.

Akadiri (2012) se concentre aussi sur les architectes et les designers pour comprendre la prescription des matériaux. Ses travaux sur l'élaboration de critères d'évaluation durables pour la sélection des matériaux de construction ont permis de sonder 99 architectes et designers. Les résultats montrent que les critères les plus importants sont en ordre d'importance l'apparence, l'aptitude à l'entretien et l'économie d'énergie. Toujours dans une optique de conception écoresponsable, Noël (2012), dans une pré expérimentation, a identifié différents facteurs susceptibles d'influencer la sélection des matériaux. Ils incluent les demandes du client, les conformités aux codes du bâtiment, la performance structurelle, la durabilité, les coûts et la commodité de conception. Elle affirme que les matériaux qui répondent à ces critères possèdent un avantage concurrentiel. Les résultats de son enquête en ligne auprès de 220 architectes du Canada et des États-Unis révèlent que les critères de sélection des matériaux pour les bâtiments verts sont principalement influencés par les attributs du produit et les normes de certification LEED. Les architectes considèrent plus particulièrement la disponibilité locale des matériaux, le coût du cycle de vie et la certification par un tiers pour un bâtiment vert versus un bâtiment traditionnel.

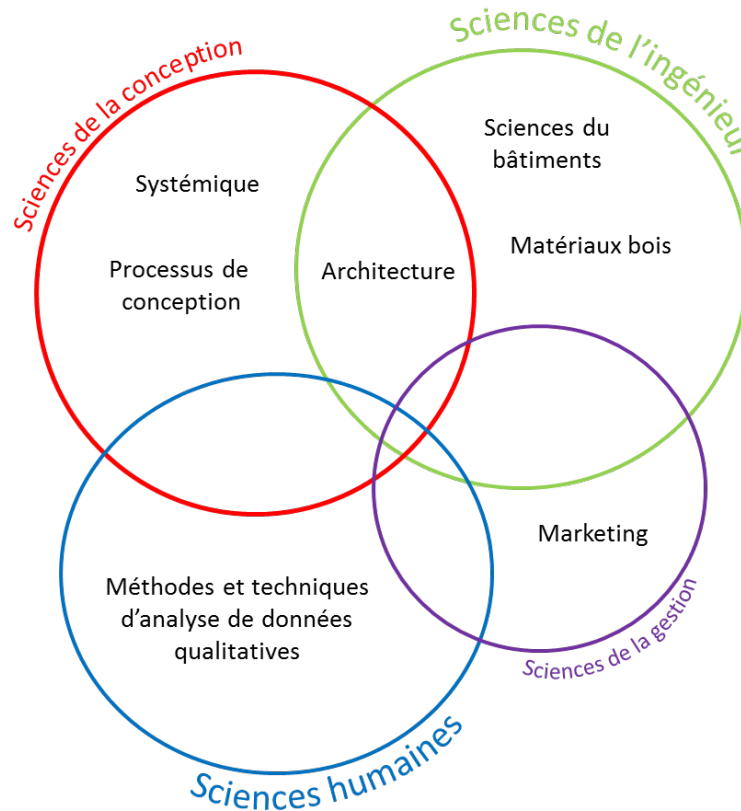
Kassem et Mitchell (2015) ont aussi étudié le processus de sélection et de prescription des éléments de façade, plus particulièrement le mur-rideau, dans les phases préliminaires du

processus de construction. La méthodologie utilisée s'appuie sur une étude de cas rétrospective et une enquête en ligne auprès d'industriels. Les résultats suggèrent que la spécification des éléments de façades est complexifiée par des facteurs comme le manque de connaissances techniques des donneurs d'ordres impliqués dans les phases préliminaires et la non-implication ou l'implication tardive de spécialistes en façade. Plus précisément, les résultats du sondage en ligne montrent que le choix du système de mur-rideau est influencé en ordre d'importance, par le prix, l'expérience et la connaissance d'un système, l'apparence, les recommandations, certains aspects d'ingénierie et l'assistance offerte par le manufacturier.

Enfin, Damery et Fisette (2001) ont réalisé une enquête dans le nord-est des États-Unis auprès d'architectes, d'entrepreneurs et de clients. L'objectif des travaux était de déterminer quels critères influencent la décision des acteurs dans le choix d'un parement extérieur en construction résidentielle. Les résultats indiquent que la performance et l'apparence sont plus importantes que le faible coût et les recommandations personnelles dans le choix d'un parement destiné au secteur résidentiel. Au niveau de l'apparence il a été identifié que les critères les plus importants sont le respect du style de la maison et la durabilité de l'apparence. Les autres critères importants concernent la réputation du produit et la connaissance directe du produit par le répondant. Les résultats soulignent aussi l'importance de l'opinion du client dans la sélection du parement. Ce concept est repris par d'autres auteurs. Dans des entretiens avec divers acteurs du milieu de la construction, Garmston *et al.* (2012) identifient le client comme celui qui rend la décision définitive sur le choix du parement. De son côté, Robichaud (2010) insiste sur l'importance de communiquer sur le bois au niveau du parement auprès des clients puisqu'ils rendent la décision définitive et leur volonté dicte le projet.

## **1.5 Positionnement du projet**

Afin de bien comprendre la démarche entreprise pour répondre à l'objectif principal de la recherche, il est important de positionner le projet au sein des différents champs disciplinaires (Figure 1-5). Le contexte du projet à l'intérieur du CIRCERB dont la mission est de développer des solutions utilisant le bois pour minimiser les émissions de carbone dans le bâtiment implique les sciences de l'ingénieur, et plus particulièrement celles du bâtiment et du matériau bois. Cependant, la nature exploratoire de ce projet amène à utiliser une approche systémique qui inclue un savoir pluridisciplinaire issu des sciences de la conception, des sciences humaines, et dans une moindre mesure, des sciences de la gestion. La section qui suit présente le contenu utilisé dans les différents champs disciplinaires impliqués.



**Figure 1-5** Positionnement du projet à travers les champs disciplinaires

Selon la revue de littérature de Deroussy (2015) , les sciences de la conception s'intéressent au « problème de conception », aux « processus de conception », aux « types de données de sorties » de la conception, à « l'activité » de conception et à « l'organisation » de la conception. Les sciences de la conception sont à la base de ce projet puisque la problématique industrielle s'ancree dans une démarche de développement de produit. La mondialisation et les exigences accrues des clients ont comme conséquence la segmentation des marchés et l'augmentation de la concurrence. Le succès économique d'une entreprise dépend donc grandement de sa capacité à identifier et comprendre les besoins de ses clients. Pour ce faire, l'entreprise doit être en mesure de créer un produit qui répond aux attentes du client et qui se distingue de la concurrence par de courts délais de production, un faible coût de revient et un maximum de valeur ajoutée. Ainsi, le développement de produit figure parmi les facteurs qui poussent une entreprise à innover pour rester compétitive et profitable. L'innovation en entreprise passe inévitablement par la conception (Kline & Rosenberg, 1986). Plusieurs auteurs ont modélisé le processus de conception afin de l'optimiser (Cross, 2000; Pahl and Bietz, 1996; Pugh, 1991; Roozenburg and Eckels, 1995;

Ullman, 1997; Ulrich and Eppinger, 2007). Le processus de conception peut être inclus dans un plus grand ensemble qui se nomme le développement de produit. Le développement de produits, plus général, est un procédé en plusieurs étapes qui décrit la manière dont les entreprises convertissent de façon répétitive les idées embryonnaires en produits ou services commercialisables (Belliveau *et al.*, 2002). De manière générale, on retrouve quatre grandes étapes dans le processus de développement de produit: *front-end*, conception, développement et production. Le projet se situe en amont dans la phase initiale du développement de produit : le *front-end*, et plus précisément dans la phase d'opportunité (Belliveau *et al.*, 2002). Cette étape vise à identifier et analyser les opportunités. Une opportunité se définit comme étant la différence entre la situation actuelle et celle d'un avenir envisagé qui permet de saisir un avantage concurrentiel. Conséquemment, les résultats de ce projet seront utiles pour les étapes suivantes du processus de développement de produit.

Dans un contexte pluridisciplinaire, le projet a fortement été influencé par l'approche systémique, un paradigme dominant dans les sciences de la conception (Schön, 1983). L'approche systémique est complémentaire à l'approche analytique que l'on retrouve habituellement en sciences (Durand, 2004). Le paradigme de l'approche analytique ou rationnelle remonte à l'époque d'Aristote et il se caractérise par le traitement de l'information (de Blois, 2012). À l'inverse, l'approche systémique repose sur le paradigme de la complexité. L'approche systémique est un ensemble de principes et de notions qui permet la modélisation (De Rosnay, 1974). Elle permet de résoudre des problèmes complexes dans des domaines divers. Pour Bonami (1996), l'objectif de la systémique est d'appréhender le complexe sans le réduire à ses éléments; appréhender le complexe en vue de le gérer, de le piloter et de le faire évoluer. Dans un même ordre d'idée, selon Deroussy (2015), l'objectif de l'approche est de dégager des principes généraux, structuraux et fonctionnels permettent simultanément l'organisation des connaissances et l'efficacité de l'action. Le tableau 1-1 présente les principales différences entre les deux approches. La comparaison permet de comprendre l'importance du décalage et leur complémentarité (de Blois, 2012).

<b>Approche analytique</b>	<b>Approche systémique</b>
Isole : se concentre sur les éléments.	Relie : se concentre sur l'interaction entre les éléments.
Considère la nature des interactions.	Considère les effets des interactions.
S'appuie sur la précision des détails.	S'appuie sur la perception globale.
Modifie une variable à la fois.	Modifie des groupes de variables simultanément.
Indépendante de la durée : les phénomènes considérés sont réversibles.	Intègre la durée et l'irréversibilité.
La validation des faits se réalise par la preuve expérimentale dans le cadre d'une théorie.	La validation des faits se réalise par comparaison du fonctionnement du modèle avec la réalité.
Modèle précis et détaillé, mais difficilement utilisable dans l'action.	Modèle insuffisamment rigoureux pour servir de base de connaissances, mais utilisable dans la décision et l'action.
Approche efficace lorsque les interactions sont linéaires et faibles.	Approche efficace lorsque les interactions sont non linéaires et fortes.
Conduit à un enseignement par discipline.	Conduit à un enseignement pluridisciplinaire.
Conduit à une action programmée dans son détail.	Conduit à une action par objectif
Connaissance des détails, but mal défini.	Connaissance des buts, détails flous.

**Tableau 1-1** Principales différences entre l'approche analytique et systémique tiré de de Blois (2012) adapté de Rosnay (1975)

Le domaine des sciences de la conception tente de se distinguer des domaines des sciences de l'architecture et de l'ingénierie, et des humanités (Vial, 2015). Cependant, plusieurs méthodes utilisées pour la recherche en conception sont empruntées aux sciences ou aux humanités. Ainsi, le projet s'appuie sur la contribution d'un éventail de méthodes issues des sciences humaines, et plus précisément des sciences sociales (Tableau 1-2). Pour le premier article, une méthode mixte de collecte de données a été utilisée pour renforcer les conclusions provenant d'enquêtes en ligne et d'entretiens semi-dirigés (Amaratunga *et al.*, 2002). L'entretien est une coproduction de données résultant de l'échange avec la personne interviewée. Les résultats des entretiens doivent être considérés avec prudence. La participation aux entretiens était purement volontaire. Les candidats n'étaient pas choisis au hasard. Il faut aussi ajouter à cela les principes de subjectivité de l'interviewer et de l'interviewé. Les résultats auraient pu être différents sous d'autres conditions malgré une grande discrétion accordée à la personne interviewée (Oppenheim, 2000). L'approche préconisée par Oppenheim (2000) consiste d'une part à diminuer l'apport de l'intervieweur en minimisant les interactions et d'autre part, à s'assurer que l'interviewé répond au thème choisi. Pour le deuxième article, la triangulation de données a été utilisée pour comparer les résultats provenant d'entretien, d'une revue de littérature et d'une analyse de site web (Tableau 1-2). L'utilisation de la triangulation permet d'avoir une connaissance plus complète et différenciée sur une problématique. Les conclusions permettent en outre de vérifier si l'information est convergente, divergente ou contradictoire (Mathison, 1988). Pour les deux

articles, les entretiens ont été effectués avec les mêmes acteurs et lors de la même rencontre. L'analyse qualitative des données a été faite suivant l'approche itérative proposée par Groat & Wang (2002). L'analyse consistait à identifier les principaux thèmes, regrouper les résultats similaires, synthétiser l'information et interpréter les résultats. Le logiciel N'Vivo (QSR International Pty. Ltd. Doncaster, Australie) a été utilisé pour faciliter le codage des résultats qualitatifs.

Enfin, les sciences de la gestion (Figure 1-5) sont abordées dans le mémoire. Cohen (1996) définit la gestion comme étant « un ensemble de pratiques, de discours et de connaissances théoriques ou techniques relatifs à la conduite des organisations ». Les recommandations pour favoriser l'utilisation du bois en construction non résidentielle tiennent compte du contexte manufacturier. La principale sous-catégorie des sciences de la gestion abordée est le marketing.

<b>Méthode</b>	<b>Acteurs</b>	<b>Résultats</b>	<b>Littérature</b>	<b>Article</b>
Enquête en ligne	Entrepreneurs (n=41) Architecte (n=64)	Quantitatif	(Dillman <i>et al.</i> , 2014)	1
Entretien semi-dirigé	Clients (n=3) Architectes (n=4) Entrepreneurs (n=3) Sous-traitant (n=3)	Qualitatif	(Blanchet et Gotman, 2007; Oppenheim, 2000)	1 et 2
Revue de littérature (n=14)	Client Architecte	Qualitatif	(Davies, 2011; Drouin and Barbuta, 2017; Drouin <i>et al.</i> , 2013; Freedonia Focus Report, 2015; Garmston <i>et al.</i> , 2012; Hegger <i>et al.</i> , 2006; Hislop <i>et al.</i> , 2013; Hoad, 2002; Karacabeyli and Lum, 2014; NRC, 2015; O'Connor <i>et al.</i> , 2002; Pousette and Gezelius, 2016; Robichaud, 2010; Tabarsi, 2004)	2
Analyse site internet	Manufacturier (n=8)	Qualitatif		2
Recherche mixte	Tous	Mixte	(Amaratunga <i>et al.</i> , 2002)	1
Triangulation	Tous	Mixte	(Mathison, 1988; Miles and Huberman, 1994)	1 et 2

**Tableau 1-2** Résumé des méthodes utilisées durant le projet, les acteurs impliqués, le type de résultats, littérature consultée et article où l'on retrouve la méthode

## **1.6 Objectifs**

### **1.6.1 Objectif principal**

Explorer le potentiel d'utilisation du bois comme parement extérieur en construction non résidentielle.

### **1.6.2 Objectifs spécifiques**

- 1- Identifier les critères d'influence, les besoins et les problèmes des acteurs en terme de parements extérieurs en construction non résidentielle.
- 2- Identifier et confirmer les limitations techniques et normatives du produit existant présentement sur le marché.
- 3- Dégager des recommandations en vue de favoriser l'utilisation du parement extérieur en bois.

## **1.7 Rétrospective méthodologique**

### **1.7.1 Retour sur la revue de littérature**

La revue de littérature a permis de rendre compte d'un manque de connaissances scientifiques unifiant les différents sujets couverts. Ainsi, le projet proposé est novateur pour les raisons suivantes :

- le projet se concentre spécifiquement sur la construction non résidentielle;
- l'ensemble de la chaîne de valeur sur la prescription des matériaux de revêtement extérieur a été considéré. Les données recueillies proviennent de clients, d'architectes, d'entrepreneurs généraux, d'entrepreneurs spécialisés en pose de revêtement et de manufacturiers;
- les critères d'influence, les besoins et les problèmes sont spécifiques à la fonction parement extérieur et tiennent compte des différentes étapes d'un projet de construction;
- l'angle de recherche pour traiter de l'utilisation du bois en construction non résidentielle diverge des méthodes généralement utilisées en se concentrant principalement sur les caractéristiques des autres matériaux et en éliminant le biais du bois.

## 1.7.2 Cheminement méthodologique

Ce mémoire est présenté sous la forme « par articles » et s’articule autour de l’écriture de deux articles scientifiques répondant à trois objectifs spécifiques (Figure 1-6). Différentes méthodes ont permis de répondre aux trois objectifs spécifiques. La section qui suit explique le choix et les contraintes relatives à chacune des grandes étapes du projet de recherche.

La première étape fut celle de la revue de littérature. La revue de littérature expliquée à la section précédente présente les travaux antérieurs et les éléments méthodologiques à comprendre pour la suite du projet. Au niveau des travaux antérieurs, la revue de littérature traite principalement de deux sujets : 1) le processus de sélection des matériaux de construction et des parements et 2) les barrières à l’utilisation des parements de bois en construction non résidentielle. De nouvelles connaissances se sont ajoutées au projet au fur et à mesure que le projet cheminait puisque la revue de littérature était en évolution tout au long du projet.

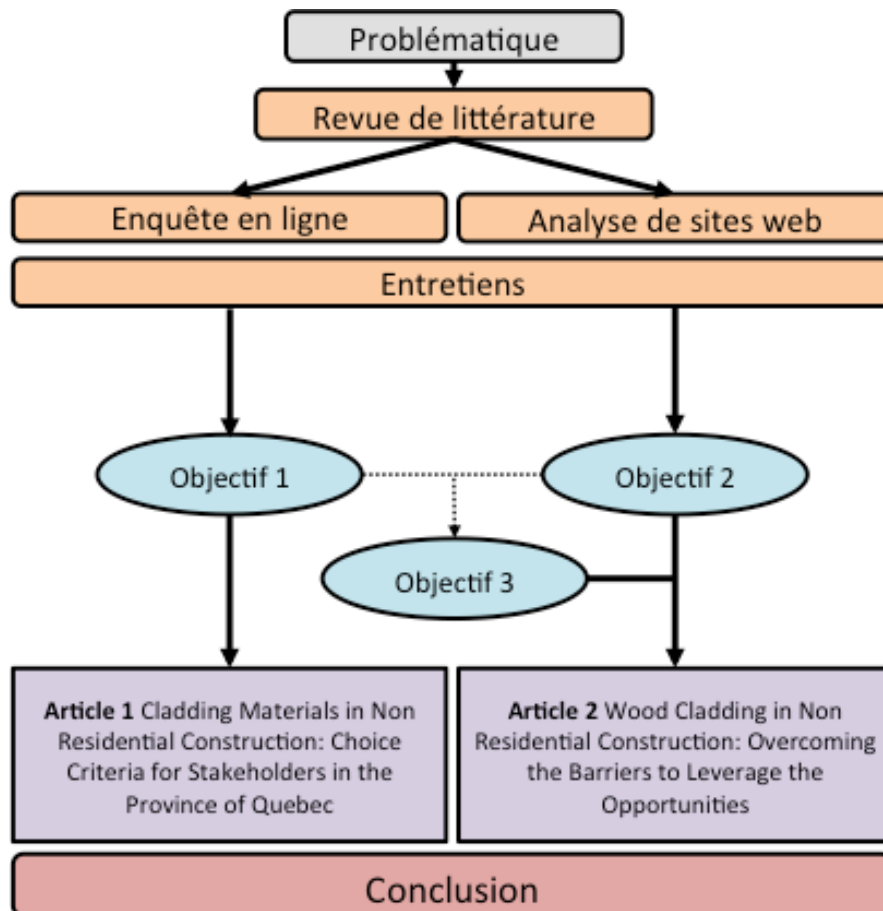


Figure 1-6 Cheminement du mémoire



Ensuite, la première méthode utilisée fut l'enquête en ligne auprès d'architectes et d'entrepreneurs de la région de Québec. Dans le dispositif de recherche, l'enquête en ligne est un instrument de mesure préliminaire et exploratoire. L'objectif n'était pas de faire une étude statistiquement représentative de la population d'architecte et d'entrepreneur, mais plutôt d'obtenir rapidement de l'information sur les critères décisionnels qui influencent la sélection d'un parement extérieur en construction non résidentielle. Dans une moindre mesure, l'enquête a aussi fourni de l'information sur les problématiques liées à l'utilisation du bois comme parement extérieur. Les résultats de l'enquête de dix questions ont fourni d'excellentes pistes de réflexion qu'il fallait approfondir.

Ainsi, comme deuxième méthode, treize entretiens semi-dirigés ont été effectués dans le but de contextualiser les conclusions de l'enquête en ligne. Les éléments à préciser concernaient principalement la prescription des matériaux de parements en construction non résidentielle. Le questionnaire d'entretien comportait des questions sur les besoins, les facteurs d'influence et les problèmes à différentes étapes d'un projet de construction. La fin de l'entretien comportait aussi quelques questions sur la problématique du bois en construction non résidentielle. Le choix de l'entretien semi-dirigé comme méthode permettait de nuancer et d'approfondir les résultats de l'enquête en ligne. De plus, les entretiens donnaient l'opportunité de couvrir l'ensemble des acteurs impliqués dans les décisions concernant le parement extérieur et tout le processus de construction de l'identification des besoins à l'entretien du produit.

L'enquête en ligne et les entretiens ont préalablement été accrédités par le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université Laval (CÉRUL) sur les modalités de recrutement, la forme de consentement, la stratégie de collecte des données, la confidentialité et le stockage de l'information. Les réponses ne fournissent aucune information personnelle sur les répondants. Les numéros d'approbation de l'enquête en ligne et des entretiens sont respectivement 2016-099/05-05-2016 et 2016-099/07-11-2016.

Basé sur les résultats de l'enquête en ligne et des entretiens, le premier article soumis à la revue généraliste *Journal of Façade and Design Engineering* répond à l'objectif spécifique 1 en démontrant comment s'effectue la sélection d'un parement en construction non résidentielle. Les résultats identifient quels sont les facteurs d'influences, les besoins et les problèmes relatifs au processus décisionnel pour le parement extérieur.

Ensuite, pour être en mesure de répondre à l'objectif 2 qui concernèrent spécifiquement les barrières à l'utilisation du parement de bois en construction non résidentielle, le projet s'appuie sur la revue de littérature et les résultats des dernières questions des entrevues semi-dirigées qui

concernaient le bois. Dans le but de valider ses observations, une analyse de huit sites web de compagnie manufacturière de bois a été réalisée. Les huit compagnies ont été sélectionnées à partir d'une liste fournie par le Centre d'expertise sur la construction commerciale en bois (CECOBOIS, 2017). L'analyse de site web permettait la triangulation en plus d'ajouter la dimension manufacturière au projet qui s'était surtout concentré sur les autres acteurs : clients, architectes, entrepreneurs, et sous-traitants.

La juxtaposition des résultats du premier article et des barrières limitant l'utilisation du bois a mis en évidence le décalage entre les produits du bois et les besoins des acteurs impliqués dans la construction non résidentielle. Il a ainsi été possible d'émettre des recommandations pour favoriser l'utilisation des parements de bois en construction non résidentielle. Les recommandations représentent l'objectif spécifique 3 de ce mémoire. Les barrières à l'utilisation du bois confirmé par la littérature, les entretiens et l'analyse de sites web et les recommandations proposées sont le sujet du deuxième article. L'article se concentre sur l'utilisation du matériau bois comme parement extérieur. La revue *BioResources* dans laquelle l'article a été soumis est une revue généraliste sur les matériaux lignocellulosique.