Concevoir le matériau programmé

Optimisation de l'utilisation du bois par les procédés de fabrication numérique

François Leblanc, M.Arch II
francois.leblanc4@mail.mcgill.ca
Récipiendaire de la bourse d'étude supérieure Recyc-Québec - volet maîtrise

La révolution annoncée par la fabrication numérique et la production de matériaux dans la pratique architecturale est en passe de changer le design d'une manière significative. Le passage de l'analogique au numérique promet de profondes transformations du processus de conception permettant des rétroactions à la fois dans l'environnement virtuel et celui physique ainsi qu'un continuum d'échange d'information du design à la production. La réingénierie des processus de fabrication des matériaux et de leurs capacités durant la conception peut répondre à la nécessité de renforcer davantage l'aspect performatif et durable des constructions contemporaines en ciblant la réduction de matériau requis. Le matériau informé sert de nouvelle méthodologie pour les architectes qui cherchent la création de prototype précis et exact pour la simulation et la production ou, à l'inverse, l'émergence de comportements inattendus survenant pendant le processus de fabrication ou à la fin de celui-ci. Le retour de la matérialité au centre du discours architectural concède une meilleure gestion de nos ressources dans un contexte où la fabrication personnalisée de composantes hautement manufacturées est maintenant accessible par des équipements automatisés, et que les environnements informatiques permettent de simuler les comportements naturels?

Les progrès des technologies de construction par la fabrication numérique ont des répercussions majeures sur les processus de design et l'usage des matériaux. L'intégration inévitable des outils numériques dans la pratique architecturale et la recherche alloue une capacité de simulation plus grande au moment de la conception, ce qui permet d'optimiser en aval la quantité de matériau utilisé. « Les limites d'application en conception d'un matériau particulier ne sont plus considérées comme inhérentes à la matière elle-même, mais plutôt comme des fonctions des processus environnants. Les outils et les matériaux sont devenus inséparables et indistinctes les uns des autres. Il n'existe pas de matériau sans qu'il y ait médiation ». (Borden et Meredith, 2012:2) Avec la fabrication numérique, les architectes peuvent s'approprier la manière dont sont produit les composantes d'un bâtiment par prototypage (Sheil, 2008). C'est ce que Gramazio et Kohler, des chercheurs de l'ETH de Zurich, ont exploré depuis 2006 dans la mise en œuvre avec des outils robotisés en taille réelle. Ils affirment que leur méthode est capable de diriger en totalité l'information du modèle 3D avec une précision bien difficilement réalisée dans l'industrie de la construction. Le résultat est nommé matériau programmé. Ils affirment que « lorsque l'usage de techniques de fabrication numérique, de la robotique et des processus d'ingénierie est intégré dans la séquence de conception, la conception architecturale transforme la design des matériaux en matériaux programmés (directement par la machine) » (Gramazio; Kohler, 2008).

Puisque l'architecture digitale se sert de scripts pour générer des formes et des composantes, la mise en place de la simulation dans le procédé de conception ouvre des possibilités de contrôler et concevoir une organisation spécifique basée sur les propriétés et les comportements des matériaux. Des algorithmes basés sur des propriétés physiques peuvent introduire la simulation de matériel et ainsi optimiser certains objectifs de construction plus performatifs. « De tels procédés de calcul sont basés sur l'adoption des comportements physiques et matériels, comme le poids, la résistance, la tension, la flexion et le gonflement, dans un environnement de modélisation générative » (Ahiquist & Menges, 2011:82). Le calcul des dynamiques spécifiques à la matière ouvre à l'intégration, dans le domaine de l'architecture, des facteurs environnementaux tels que le climat, la réduction de l'usage des matériaux, et le contrôle des déchets. En d'autres termes, les grands problèmes de l'architecture et de l'ingénierie peuvent être contrés par la génération de matériaux programmés.

Au centre de cette analyse, la programmation de matériaux vise l'analyse de la gestion des produits du bois dans les structures légères, principalement résidentielles, de la conception à la réalisation, par une utilisation intelligente basée sur une réduction optimisée. Récemment, plusieurs organismes ont démontré l'importance stratégique du bois sur le plan économique et environnemental.[1] Il est donc urgent de développer des méthodologies de design adéquates pour valoriser le bois. Cela s'inscrit dans les mesures environnementales actuelles de réduction des déchets à la source par l'amélioration de l'efficacité du processus de construction. Les avantages de la fabrication numérique de composantes en bois sont nombreux. Tout d'abord, la réduction des déchets de construction peut être contrôlée dès la conception par l'architecte, en réduisant à la source la quantité de matériaux nécessaires à la fabrication, par l'usage de logiciels informatiques d'optimisation. Selon les composantes standard du marché, les découpes, les assemblages et la quantité de matériaux utilisés peuvent être optimisés automatiquement et permet l'émergence de nouvelles typologies constructives durables.

La méthodologie proposée par la conception de matériaux programmés de conception est à l'inverse la méthode traditionnelle (figure 1). Les propriétés du matériau servent à produire une forme potentielle par simulation des contraintes matérielles et manufacturières (Wilkins et al. 2011). En d'autres termes, au lieu d'un processus basé sur l'idéalisation formelle, l'approche en fondée sur la simulation des capacités matérielles pour en optimiser la forme et sa distribution, c'est-à-dire une approche *bottom-up*. L'étude démontre la faisabilité de cette méthodologie suivant les exigences de performance de réduction de la quantité de matière employée dans les structure de bois à ossature légère. Cette optimisation se situe à deux niveaux; en réduisant la quantité totale de matière en répondant localement à la répartition des charges à l'intérieur du mur, la quantité de déchets est proportionnellement affectée. En plus, en réduisant la quantité de matière, la masse totale se trouve elle aussi diminuée ce qui en retour enlève davantage de matière. Ainsi, une structure légère utilise moins

1 Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune, Gouvernement du Québec (2008), *Stratégie d'utilisation du bois dans la construction au Québec*, disponible en ligne : http://www.mrnfp.gouv.qc.ca/publications/forets/entreprises/strategie-developpement.pdf

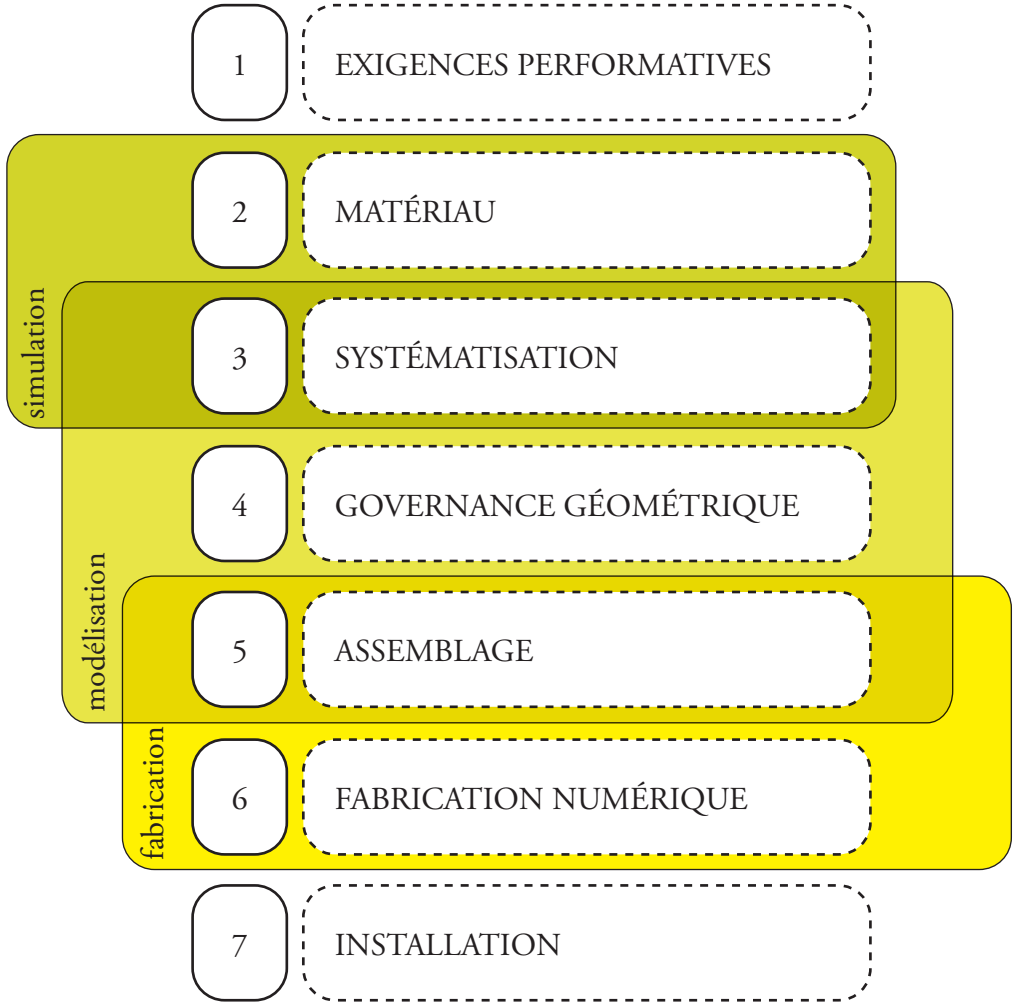

fig. 1 Méthodologie du matériau programmé

de matériaux et contribue par conséquent à la réduction de la charge globale.

La simulation de ce processus est démontrée par optimisation topologique, c'est-à-dire l'estimation des charges concentrées à travers un volume donné (figure 2). Le résultat illustre la distribution des forces et adresse la distribution de matière aux comportements spécifiques du bois, soit le module de Young, le ratio de Poisson et la densité relative, en plus des contraintes manufacturières servant à définir les dimensions maximales de chacun des éléments. Les résultats de l'optimisation topologique à partir du logiciel Altair Engineering © OptiStruct sont ensuite interprétés et rationalisés afin de se conformer à une organisation géométrique.

En réponse aux exigences performatives, c'est à dire l'utilisation minimale de bois et le contrôle des déchets lors de la production, il est avantageux d'assurer plusieurs fonctions avec un seul élément. Un mur en contreplaqué tridimensionnel, c'est-à-dire à double paroi, peut répondre aux exigences structurelles requises pour la charge verticale et horizontale en agissant comme un diaphragme (Menges, 2012) en plus de former une barrière continue aux intempéries (figure 3). Cette continuité de la surface composée de feuilles de contreplaqué agit ainsi à la manière d'un pliage.

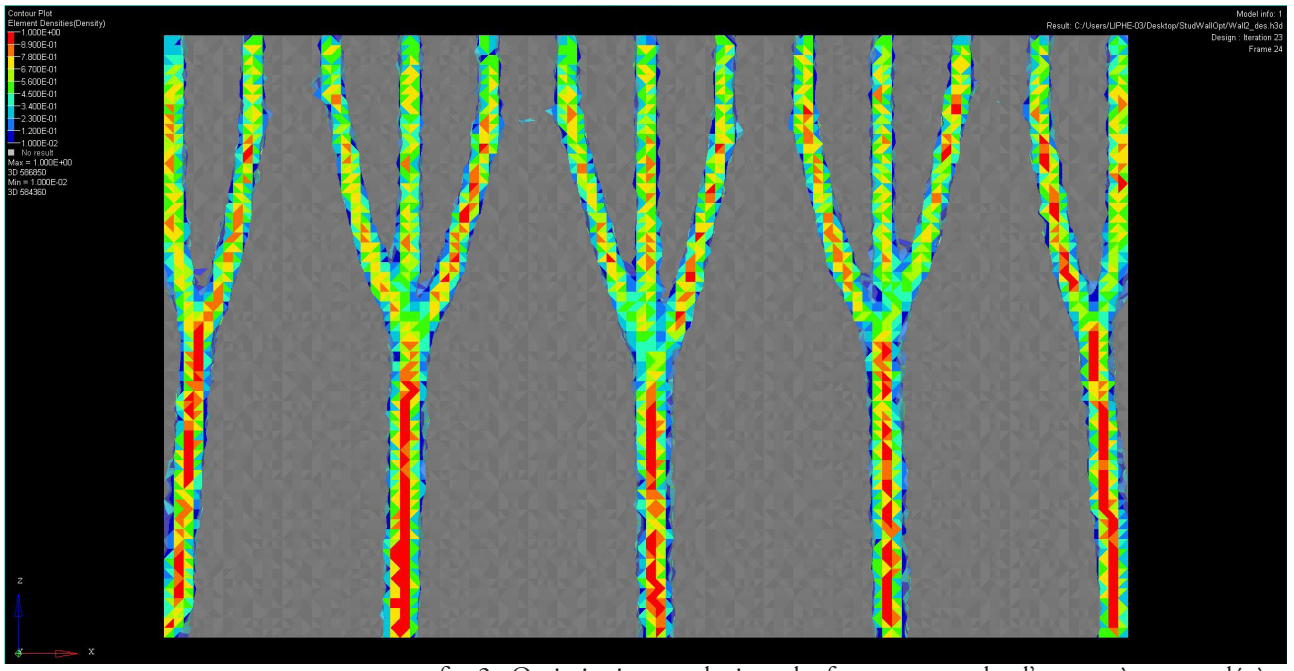

fig. 2 Optimisation topologique des forces structurales d'un mur à ossature légère

(Weinard & Hubert, 2010) Comme pour les métaux ondulés ou les modèles en origami, les géométries pliées gagnent en force en utilisant moins de matériaux. Il a aussi l'avantage de fragmenter la structure du mur en petits morceaux et permet ainsi un meilleur contrôle pour la fabrication sur des feuilles de contreplaqué de taille standard (1220 x 2440mm). Toutefois, le nombre de pièces doit être réduit pour faciliter l'assemblage, puisqu'un nombre trop élevé d'unités peut vite devenir un casse-tête illisible pour les installateurs.

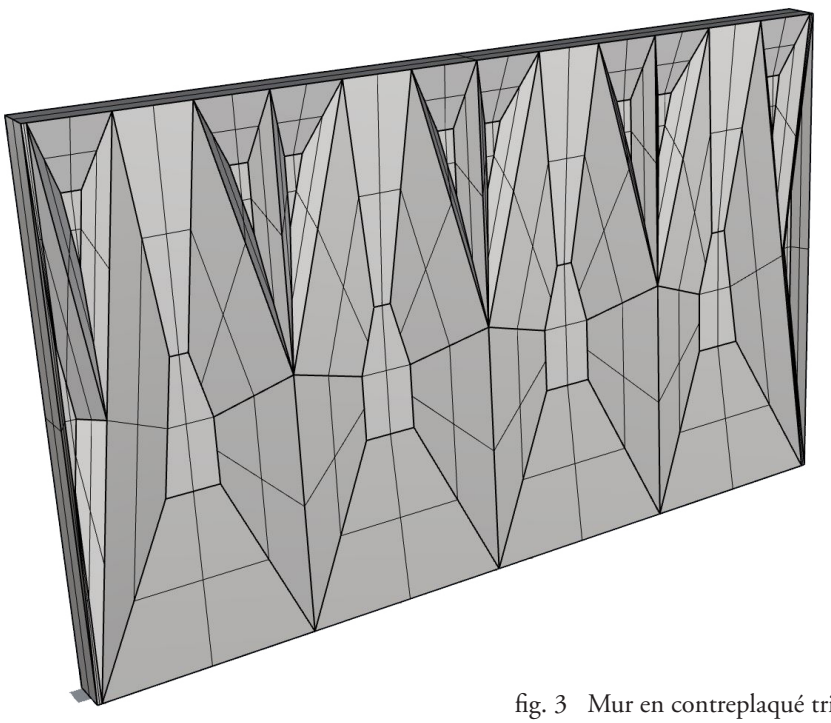

fig. 3 Mur en contreplaqué tridimentionnel

Ainsi, les éléments sont organisés sur les découpes et le gaspillage des ressources est minimisé. Le produit manufacturé se trouve livré sur le chantier où seuls de simples ajustements sont requis. Indirectement, cette méthode de fabrication offre d'autres bénéfices environnementaux. En raison du transfert de la production en usine et la diminution des matières résiduelles, les risques de contamination par les rebuts de construction sur le chantier sont minimisés. De plus, la production de composantes préfabriquées en usine contribue à la réduction des coûts associés au transport (environnementaux et économiques), puisque seule la quantité de matériaux nécessaire à la construction transige vers les chantiers.

Une industrie qui conçoit intelligemment et optimise ses produits soutient le développement de nouvelles méthodes de construction durables. Cette approche préventive favorise la valorisation du bois comme un matériau de construction hautement performant. La fabrication numérique de composantes en bois présente un potentiel de réduction de la consommation d'une importante quantité de matières utilisées par la construction traditionnelle, par la gestion plus efficace du processus de design menant à la fabrication (*design to fabrication*).

Borden, Gail P, and Michael Meredith. Matter: Material Processes in Archtiectural Production. New York: Routledge, 2012.

Gramazio, Fabio, and Matthias Kohler. 1:1 Architecture and Digital Fabrication. Baden: Lars Muller, 2007.

Menges, Achim, and Tobias Schwinn. "Manufacturing Reciprocities." Architectural Design 82, no. 2 (2012): 118-25.

Sheil, Bob. "Distinguishing between the Drawn and the Made." Architectural Design 82, no. 2 (2012): 136-41.

Weinand, Yves, and Markus Hubert. "Timberfabric: Applying Textile Principles on a Building Scale." AD - The New Structuralism 80, no. 4 (2010): 102-07.

Wilkins, Gretchen, Leanne Zilka, and John Cherry. "Scripted Materials." Paper presented at the 31th Annual Conference of ACADIA: integration through computation, 2011.