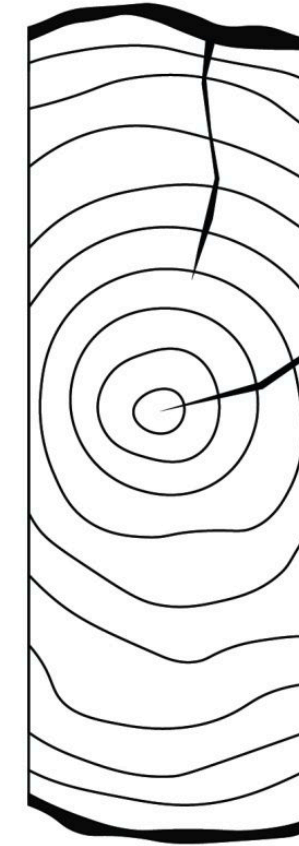


Constats et directions rapport de synthèse

stage été 2025 chez FPInnovations

Louis Carignan

7 octobre 2025



**Lab
Interfaces
Bois**

Recherche et
développement
sur la
construction en
bois au Québec



Résumé

Thèmes abordés

- Isolants biosourcés et comment les intégrer
- Cartographies du processus d'assemblage en usine
- Recommandations préliminaires adaptées au Québec
- Matrice d'évaluation (Trempe)
- Comment l'interpréter et la faire évoluer
- Évaluations de 3 systèmes de panneau
- Analyse questionnaire FPInnovations



Rapport de synthèse

Recherche et Développement
Système de panneau d'enveloppe en bois préfabriqué

Louis Carignan
M. Designer
Bac. Arch.

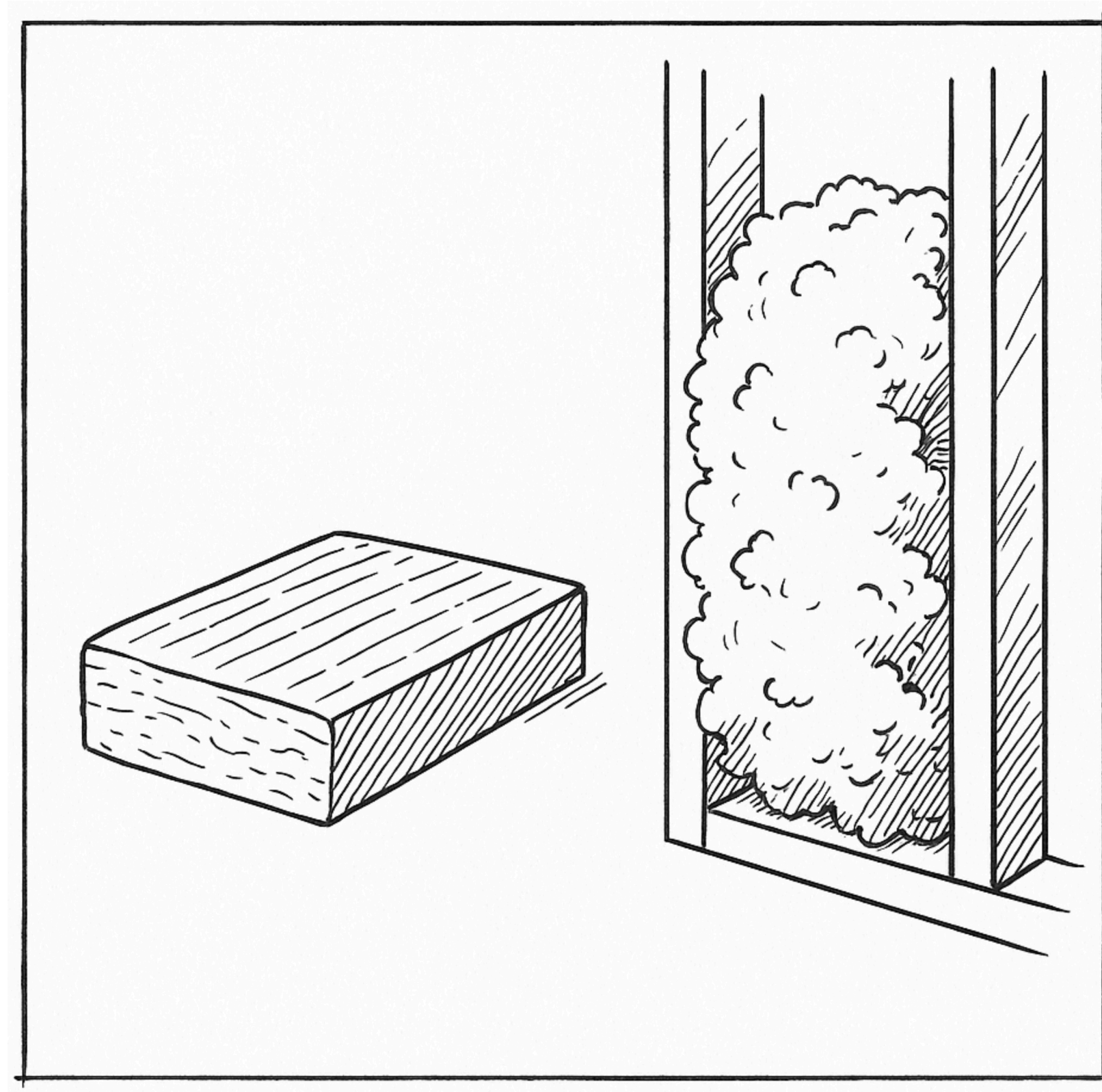
Supervisé par
Cassandra Lafond ing., M.Sc.
Scientifique senior, Systèmes de construction

Stage FPInnovations x Chaire Fayolle-Magil Construction

29 Août 2025

Isolants biosourcés

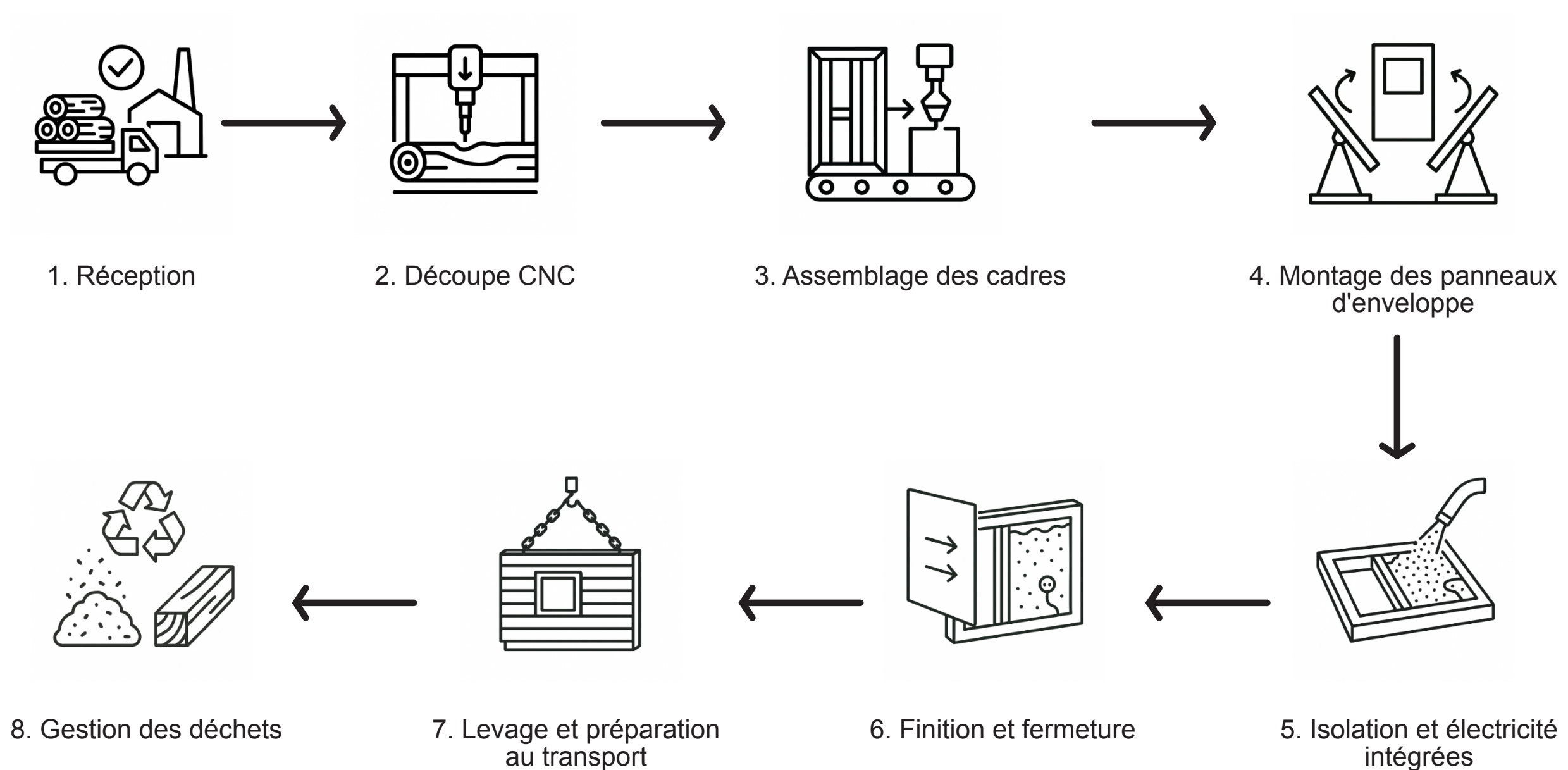
Matelas et soufflé



Cartographie

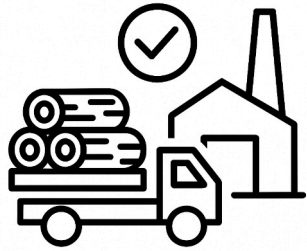
Panneau en bois d'ingénierie

Cartographie du processus de production de panneaux en bois d'ingénierie



Cartographie

Réception



Plateforme logistique inspirée de l'industrie automobile

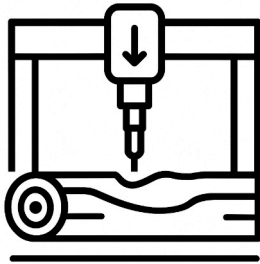
- Chargement de panneaux et bois sur des plateformes mobiles.
- Classement automatisé par type de matériaux et projets.
- Acheminement automatique vers les postes CNC.



(NS Builders, 2022)

Cartographie

Découpe CNC



Panneaux bois (CLT) et gypse

- Découpe précise avec point de manipulation intégrés (prises, gaines, etc.).
- Grues à ventouses pour manipulation.
- Coordination avec maquette BIM.

Bois lamellé-collé (glulam)

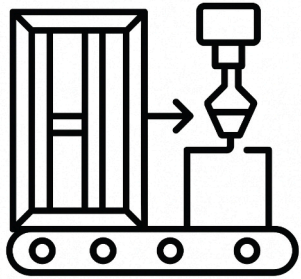
- Usinage : tenons, perçages, entailles, rainures.
- Intégration de points de levage (straps).
- Préparation pour insertion de connecteurs.



(NS Builders, 2022)

Cartographie

Assemblage des cadres



Montants des murs avec panneaux pré-perçés

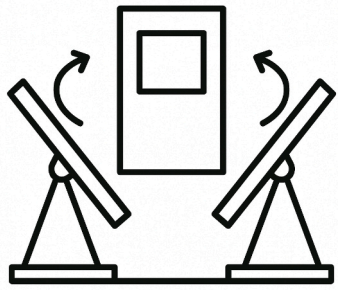
- Assemblage bois massif + panneau.
- Positionnement automatisé par goupilles numériques.



(NS Builders, 2022)

Cartographie

Montage des panneaux d'enveloppe



Sur tables fixes numérisées

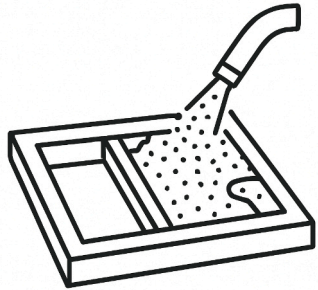
- Pose des montants dans rainures pré-usinées.
- Fixation du contreventement (OSB).
- Ajout de bandes horizontales pour structure secondaire.



(NS Builders, 2022)

Cartographie

Isolation et électricité intégrées



Remplissage + parement isolant extérieur

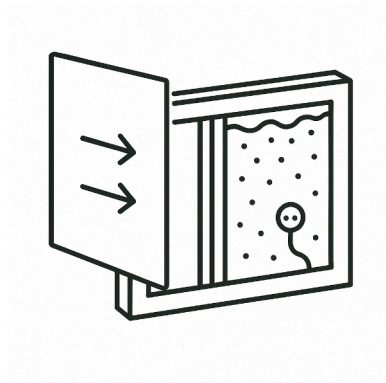
- Isolation en laine roche et fibre de bois.
- Intégration des boîtiers électriques et gaines.
- Agrafage mécanisé des panneaux isolants.



(NS Builders, 2022)

Cartographie

Finition et fermeture



Pose des membranes et parements

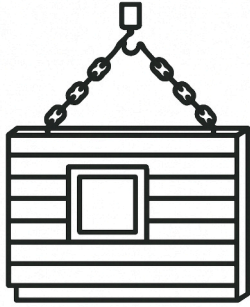
- Application de membranes, clins ou bardage.
- Finitions esthétiques (alignement vis/agraves).
- Détails de bardage prévus pour le site.



(NS Builders, 2022)

Cartographie

Levage et préparation au transport



Rotation verticale + conditionnement

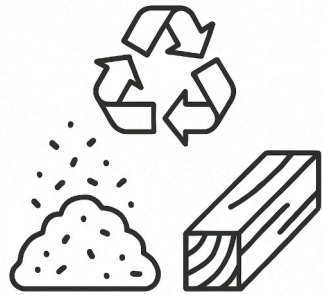
- Mise en position verticale sur plateforme.
- Enrobage plastique thermo-rétractable.
- Empilage sur plateformes de transport selon la séquence de montage sur le chantier.



(NS Builders, 2022)

Cartographie

Gestion des déchets (idéalement)



Recyclage et valorisation énergétique

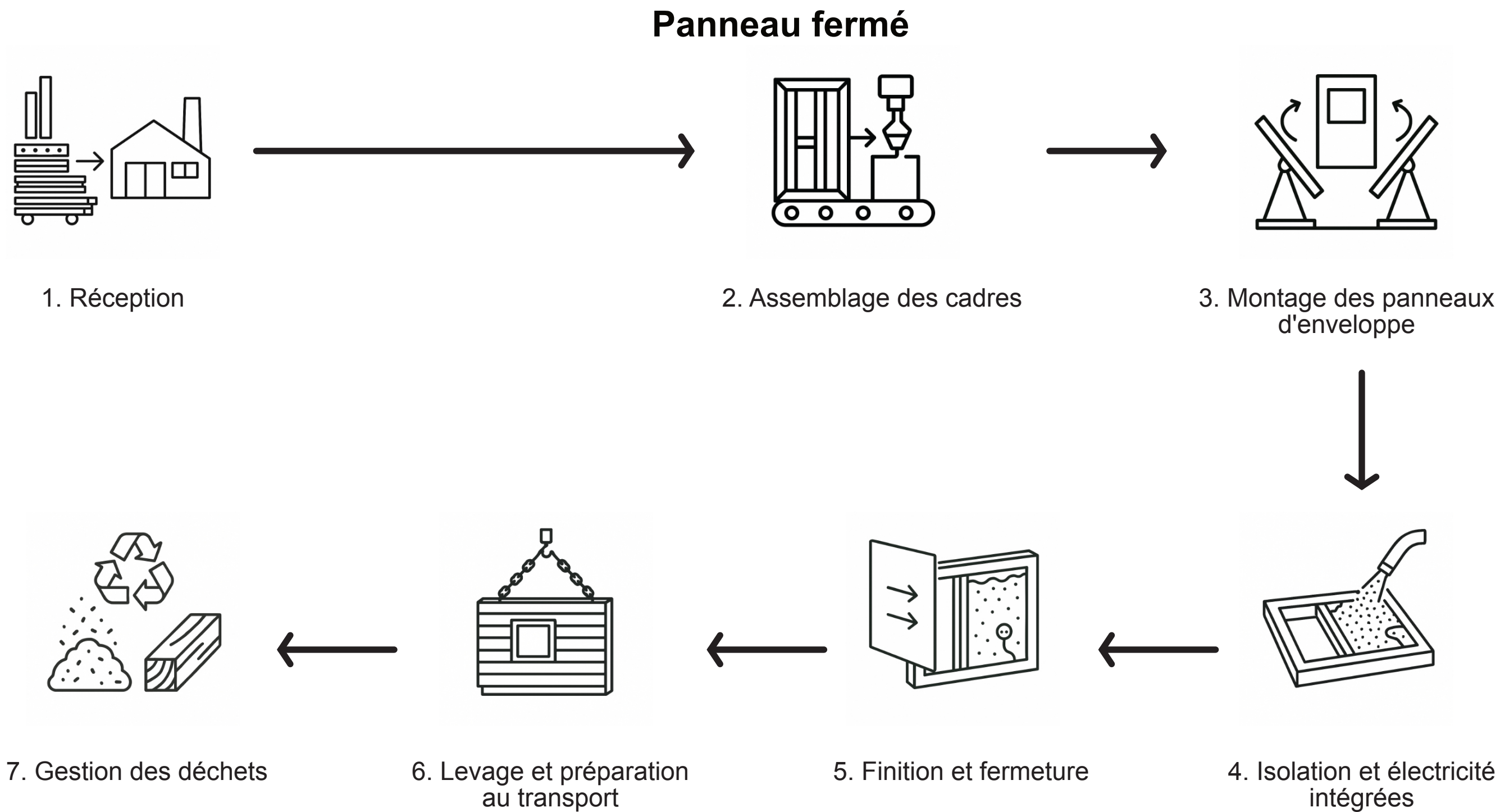
- Poussière de bois valorisée en chauffage.
- Gypse collecté séparément et recyclé.
- Film plastique recyclé via un partenaire local.
- Le «blocking» permet de valoriser les grandes retailles de bois en autres composants non-structuraux



(NS Builders, 2022)

Cartographie

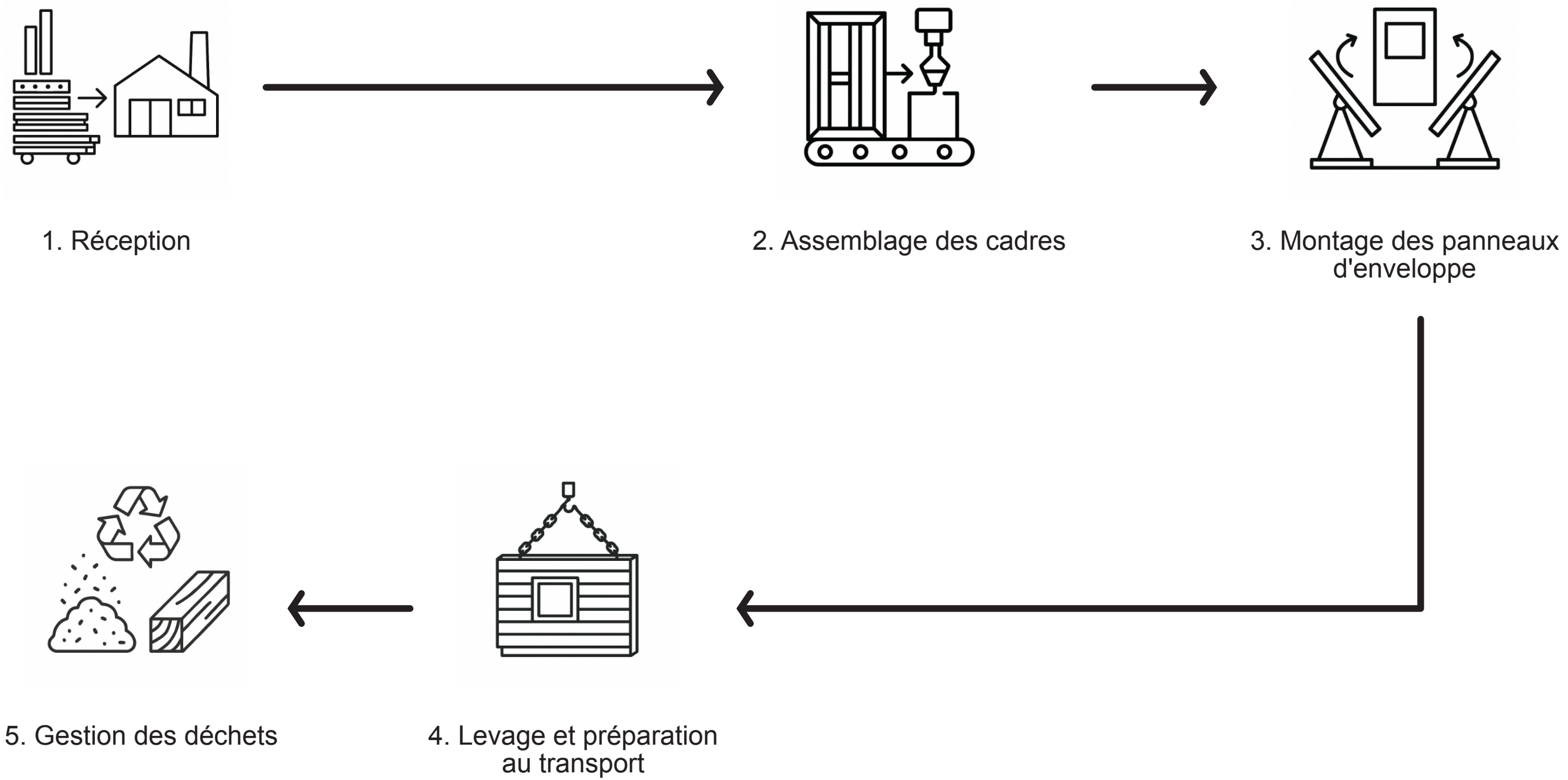
Panneau en ossature légère



Cartographie

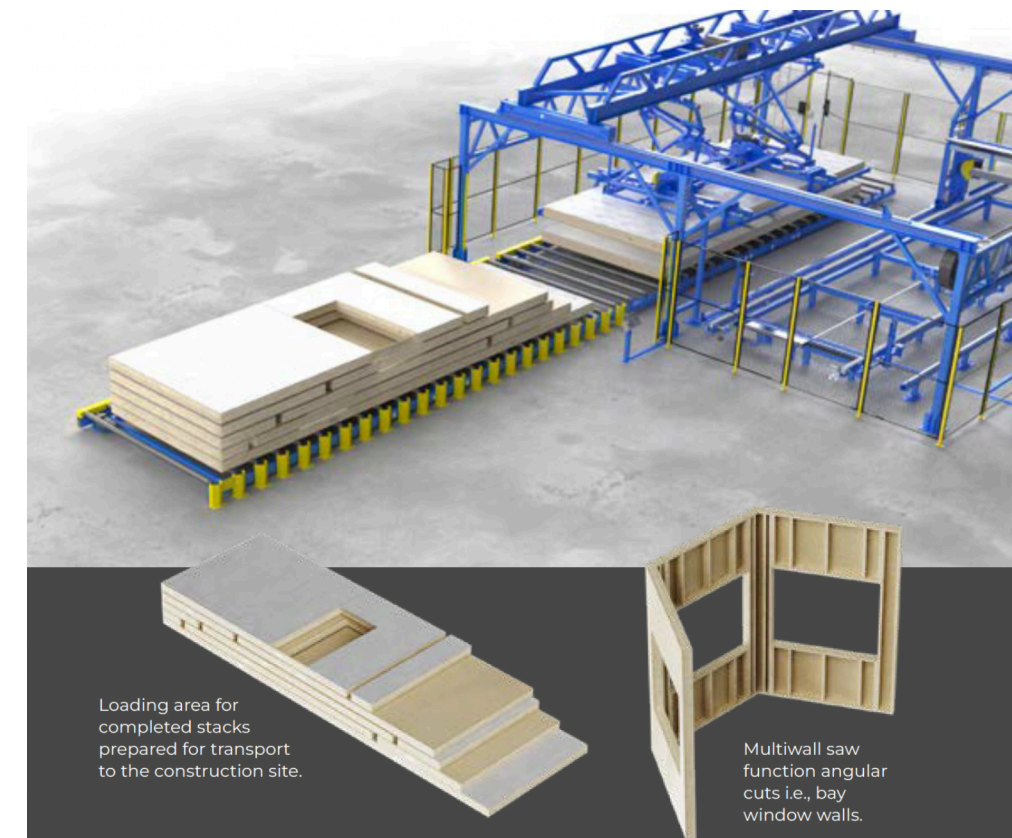
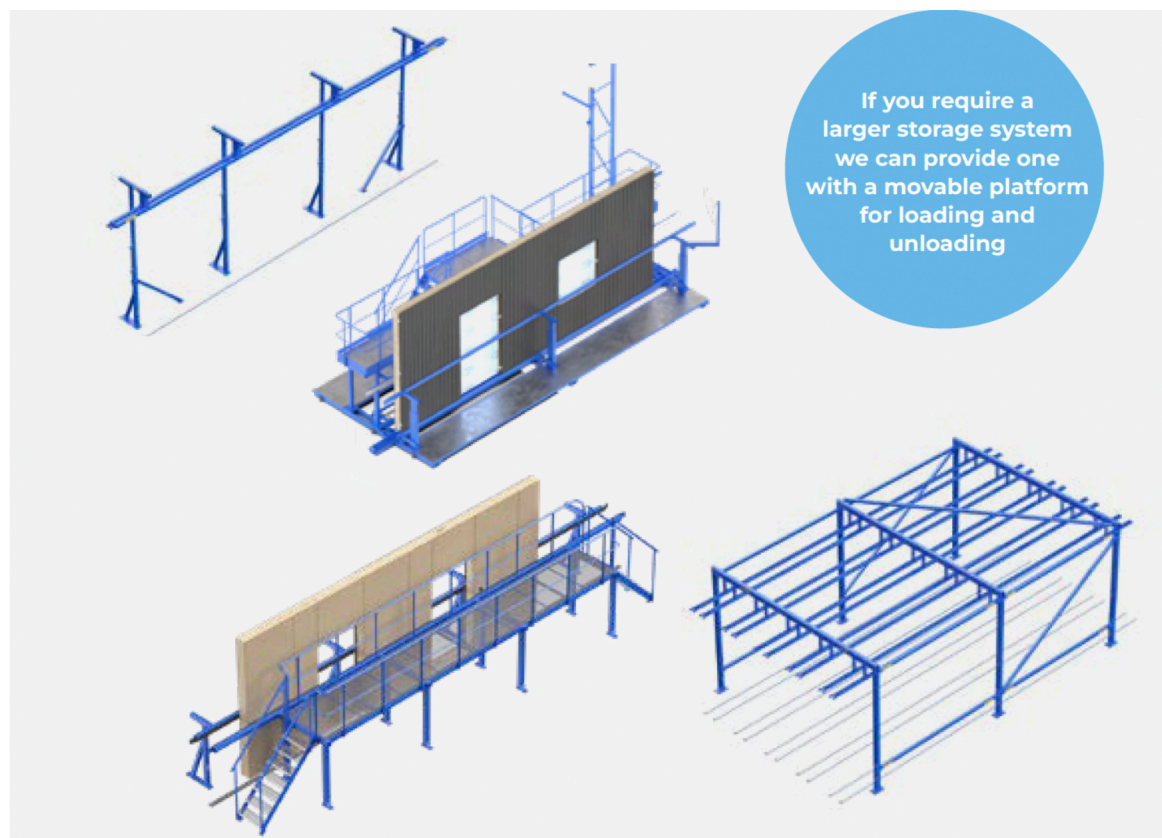
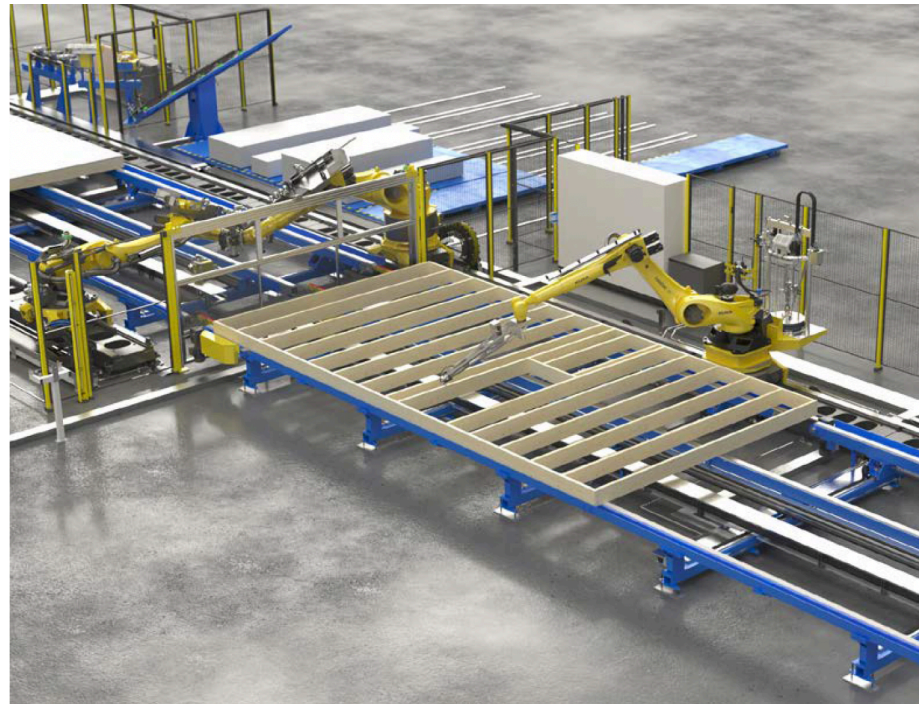
Panneau en ossature légère

Panneau ouvert



Cartographie

Technologies utilisées



(Randek AB, 2023)

Recommandations

Comment l'adapter au Québec

Prendre connaissance des recommandation **p. 23-24 et p.27**

1. Développer une chaîne hybride combinant les forces de l'ossature légère (flexibilité) et du bois d'ingénierie (solidité, pré-finition).
2. Structurer la production autour du DfMA, en planifiant les interfaces techniques dès la conception.
3. Investir dans des technologies ciblées (BIM, ponts multifonctions, postes d'insufflation, automatisation de membranes).
4. Prévoir un modèle d'automatisation par paliers, adapté aux réalités régionales (main-d'œuvre, éloignement, série courte).
5. S'assurer d'une performance thermique élevée en misant sur l'insufflation dense d'isolants biosourcés, testés et calibrés.
6. Réduire les tâches sur le chantier par une finition avancée en usine (revêtement extérieur, membranes, percements, etc.).

L'intégration du DfMA dans la chaîne de production de l'usine des Habitations Mont Carleton permettrait d'orchestrer de manière cohérente les **interactions entre les cadres en ossature légère et les panneaux en bois lamellé-collé, utilisés non pas comme structure primaire, mais comme surfaces techniques jouant plusieurs rôles : contreventement, support de l'isolation et membrane respirante.** En anticipant ces fonctions dès la conception, il devient possible d'élaborer des détails d'assemblage adaptés à la fabrication automatisée et à un montage rapide, réduisant ainsi les manipulations complexes.

Matrice d'évaluation

En collaboration avec Richard Trempe

Offrir un outil d'analyse standardisé, mais flexible.

Matrice d'évaluation des systèmes de panneaux préfabriqués

Le tableau d'évaluation des systèmes de panneaux préfabriqués a été inspiré du travail de Richard Trempe, architecte et consultant en science du bâtiment. Il fait également partie des collaborateurs de la chaire de recherche Fayolle-Magil. Cette matrice permet de comparer les trois propositions retenues lors de la phase 1 : le panneau en ossature légère, le panneau en bois d'ingénierie et le panneau hybride.

Les définitions détaillées aux pages suivantes.*

Une version Excel évolutive est disponible.*

Critères	définition	Panneau ossature légère	Panneau bois d'ingénierie	Panneau hybride
A - Conception				
1. Conception DFMA	Capacité à être conçu pour la fabrication industrielle et un assemblage rapide et précis avec un minimum de ressources.			
2. Développement de détails simples et rapides d'exécution	Simplicité et répétabilité des détails constructifs pour un montage efficace en usine et sur chantier.			
3. Possibilité de déconstruction et de réutilisation (DfD)	Aptitude à démonter les panneaux en fin de vie pour réemploi ou recyclage des composants.			
4. Facilité d'accès et d'entretien	Accessibilité aux composants internes pour inspection, réparation ou remplacement.			
B - Environnemental				
5. Volume de bois utilisé	Quantité totale de bois employée, influençant l'impact environnemental et la logistique.			
6. Matériaux biosourcés	Proportion de matériaux d'origine renouvelable, peu transformés et à faible impact environnemental.			
7. Accessibilité des matériaux	Disponibilité des matériaux et fiabilité des chaînes d'approvisionnement.			
8. Utilisation de matériaux faibles en COV	Usage limité ou nul de matériaux émettant des composés organiques volatils.			
9. Empreinte carbone minimisée (ACV)	Réduction des émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie.			
C - Performance à valeur ajoutée				
10. Ensoleillement et ventilation naturelle	Capacité à favoriser les apports solaires passifs et la ventilation naturelle.			
11. Résilience de l'enveloppe	Capacité à maintenir ses performances malgré des conditions climatiques changeantes.			
12. Continuité des barrières	Maintien de la continuité des couches fonctionnelles et compatibilité des matériaux.			
13. Système perspirant	Transfert contrôlé de vapeur d'eau sans accumulation d'humidité interne.			
Total Conception (60%)				
Total Environnemental (30%)				
Total Performance à valeur ajoutée (10%)				

Matrice d'évaluation

Outil Excel

Enregistrement automatique

Matrice_evaluation_panneaux

Rechercher dans la feuille

AccueilInsertionDessinMise en pageFormulesDonnéesRévisionAffichageRefinitiv 365

Coller

CouperCopier

Mise en forme

Calibri (Corps)11A A

G I S

Renvoyer à la ligne automatiquement

Fusionner et centrer

Standard

\$ % 000

Mise en forme conditionnelle

Mettre sous forme de tableau

Styles de cellule

InsérerSupprimer

Mise en forme

Somme automatique

Remplissage

Effacer

Trier et filtrer

Office Update To keep up-to-date with security updates, fixes, and improvements, choose Check for Updates.

G33

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	Section	Critère	Pondération (%)	Définition	Note panneau ossature légère (1-5)	Note panneau bois d'ingénierie (1-5)	Note panneau hybride (1-5)	Score pondéré ossature légère	Score pondéré bois d'ingénierie	Score pondéré hybride	
2	Conception	Conception DfMA	30	Capacité à être conçu pour la fabrication industrielle et un assemblage rapide et précis avec un minimum de ressources.				0	0	0	
3	Conception	Développement de détails simples et rapides d'exécution	10	Simplicité et répétabilité des détails constructifs pour un montage efficace en usine et sur chantier.				0	0	0	
4	Conception	Possibilité de déconstruction et de réutilisation (DfD)	10	Aptitude à démonter les panneaux en fin de vie pour réemploi ou recyclage des composants.				0	0	0	
5	Conception	Facilité d'accès et d'entretien	10	Accessibilité aux composants internes pour inspection, réparation ou remplacement.				0	0	0	
6	Environnement	Volume de bois utilisé	10	Quantité totale de bois employée, influençant l'impact environnemental et la logistique.				0	0	0	
7	Environnement	Matériaux biosourcés	5	Proportion de matériaux d'origine renouvelable, peu transformés et à faible impact environnemental.				0	0	0	
8	Environnement	Accessibilité des matériaux	5	Disponibilité des matériaux et fiabilité des chaînes d'approvisionnement.				0	0	0	
9	Environnement	Matériaux faibles en COV	5	Usage limité ou nul de matériaux émettant des composés organiques volatils.				0	0	0	
10	Environnement	Empreinte carbone (ACV)	5	Réduction des émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie.				0	0	0	
11	Performance	Ensoleillement et ventilation naturelle	4	Capacité à favoriser les apports solaires passifs et la ventilation naturelle.				0	0	0	
12	Performance	Résilience climatique	2	Capacité à maintenir ses performances malgré des conditions climatiques changeantes.				0	0	0	
13	Performance	Continuité des barrières	2	Maintien de la continuité des couches fonctionnelles et compatibilité des matériaux.				0	0	0	
14	Performance	Système perspirant	2	Transfert contrôlé de vapeur d'eau sans accumulation d'humidité interne.				0	0	0	
15				TOTAL				0	0	0	
16											
17	Sous-totaux par section (scores pondérés)										
18	Conception (60%)							0	0	0	
19	Environnement (30%)							0	0	0	
20	Performance (10%)							0	0	0	
21											
22	Total (100%)							0	0	0	
23											
24											
25											

Matrice

Prêt

81 %

Matrice d'évaluation

Sections et définitions

A - Conception

60 %

1. Conception DfMA
2. Développement de détails simple
3. Possibilité de déconstruction (DfD)
4. Facilité d'accès et d'entretien

B - Environnemental

30 %

5. Volume de bois utilisé
6. Matériaux biosourcés
7. Accessibilité des matériaux
8. Utilisation de matériaux faible en COV
9. Empreinte carbone minimisée (ACV)

C - Performance à valeur ajoutée 10 %

10. Ensoleillement et ventilation naturelle
11. Résilience de l'enveloppe
12. Continuité des barrières
13. Système perspirant

Matrice d'évaluation

Comment l'utiliser et la modifier

A – Conception (60 % du total)

- Conception DfMA : 30 %
- Développement de détails simples et rapides d'exécution : 10 %
- Déconstruction et réutilisation (DfD) : 10 %
- Facilité d'accès et d'entretien : 10 %

B – Environnement (30 % du total)

- Volume de bois utilisé : 10 %
- Matériaux biosourcés : 5 %
- Accessibilité des matériaux : 5 %
- Faibles émissions de COV : 5 %
- Empreinte carbone (ACV) : 5 %

C – Performance à valeur ajoutée (10 % du total)

- Ensoleillement et ventilation naturelle : 4 %
- Résilience climatique : 2 %
- Continuité des barrières : 2 %
- Système perspirant : 2 %

Matrice d'évaluation

Comment l'utiliser et la modifier

Attribuer une note sur l'échelle 1 à 5

- 4-5 : le panneau répond fortement à l'ensemble des critères – meilleure option globale.
- 3 : compromis, certains critères bien remplis mais d'autres faibles.
- 1-2 : option peu adaptée ou risquée à long terme.

Interprétation et flexibilité

- Le système n'est pas figé : les pondérations peuvent être ajustées selon vos priorités de projet (ex. augmenter le poids de l'ACV pour un projet centré sur l'empreinte carbone, ou du DfMA pour un projet axé sur l'efficacité industrielle).
- Vous pouvez définir un seuil minimal pour certains critères éliminatoires (ex. COV, résilience climatique), même si le score global est bon.

Évaluation de 3 systèmes

Ossature légère, bois d'ingénierie et hybride

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	Section	Critère	(%)	Définition	ossature légère (1-5)	bois d'ingénierie (1-5)	hybride (1-5)	Score pondéré oss. légère	Score pondéré bois d'ing.	Score pondéré hybride
1										
2	Conception	Conception DfMA	30	Capacité à être conçu pour la fabrication industrielle et un assemblage rapide et précis.	5	4	4	1,5	1,2	1,2
3	Conception	Développement de détails simples et rapides d'exécution	10	Simplicité et répétabilité des détails constructifs pour un montage efficace en usine et sur chantier.	5	4	4	0,5	0,4	0,4
4	Conception	Possibilité de déconstruction et de réutilisation (DfD)	10	Aptitude à démonter les panneaux en fin de vie pour réemploi ou recyclage des composants.	3	2	3	0,3	0,2	0,3
5	Conception	Facilité d'accès et d'entretien	10	Accessibilité aux composants internes pour inspection, réparation ou remplacement.	3	2	3	0,3	0,2	0,3
6	Environnement	Volume de bois utilisé	10	Quantité totale de bois employée, influençant l'impact environnemental et la logistique.	3	3	3	0,3	0,3	0,5
7	Environnement	Matériaux biosourcés	5	Proportion de matériaux d'origine renouvelable, peu transformés et à faible impact environnemental.	5	4	5	0,25	0,15	0,15
8	Environnement	Accessibilité des matériaux	5	Disponibilité des matériaux et fiabilité des chaînes d'approvisionnement.	4	3	4	0,2	0,15	0,2
9	Environnement	Matériaux faibles en COV	5	Usage limité ou nul de matériaux émettant des composés organiques volatils.	4	4	4	0,2	0,2	0,2
10	Environnement	Empreinte carbone (ACV)	5	Réduction des émissions de gaz à effet de serre sur l'ensemble du cycle de vie.	5	4	4	0,25	0,2	0,2
11	Performance	Ensoleillement et ventilation naturelle	4	Capacité à favoriser les apports solaires passifs et la ventilation naturelle.	3	3	3	0,12	0,12	0,12
12	Performance	Résilience climatique	2	Capacité à maintenir ses performances malgré des conditions climatiques changeantes.	5	4	4	0,1	0,08	0,08
13	Performance	Continuité des barrières	2	Maintien de la continuité des couches fonctionnelles et compatibilité des matériaux.	5	4	4	0,1	0,08	0,08
14	Performance	Système perspirant	2	Transfert contrôlé de vapeur d'eau sans accumulation d'humidité interne.	5	3	5	0,1	0,06	0,1
15				TOTAL				4,22	3,34	3,83
16										
17	Sous-totaux par section									
18	Conception (60%)							2,6	2	2,2
19	Environnement (30%)							1,2	1	1,25
20	Performance (10%)							0,42	0,34	0,38
21										
22	Total (100%)							4,22	3,34	3,83
23										

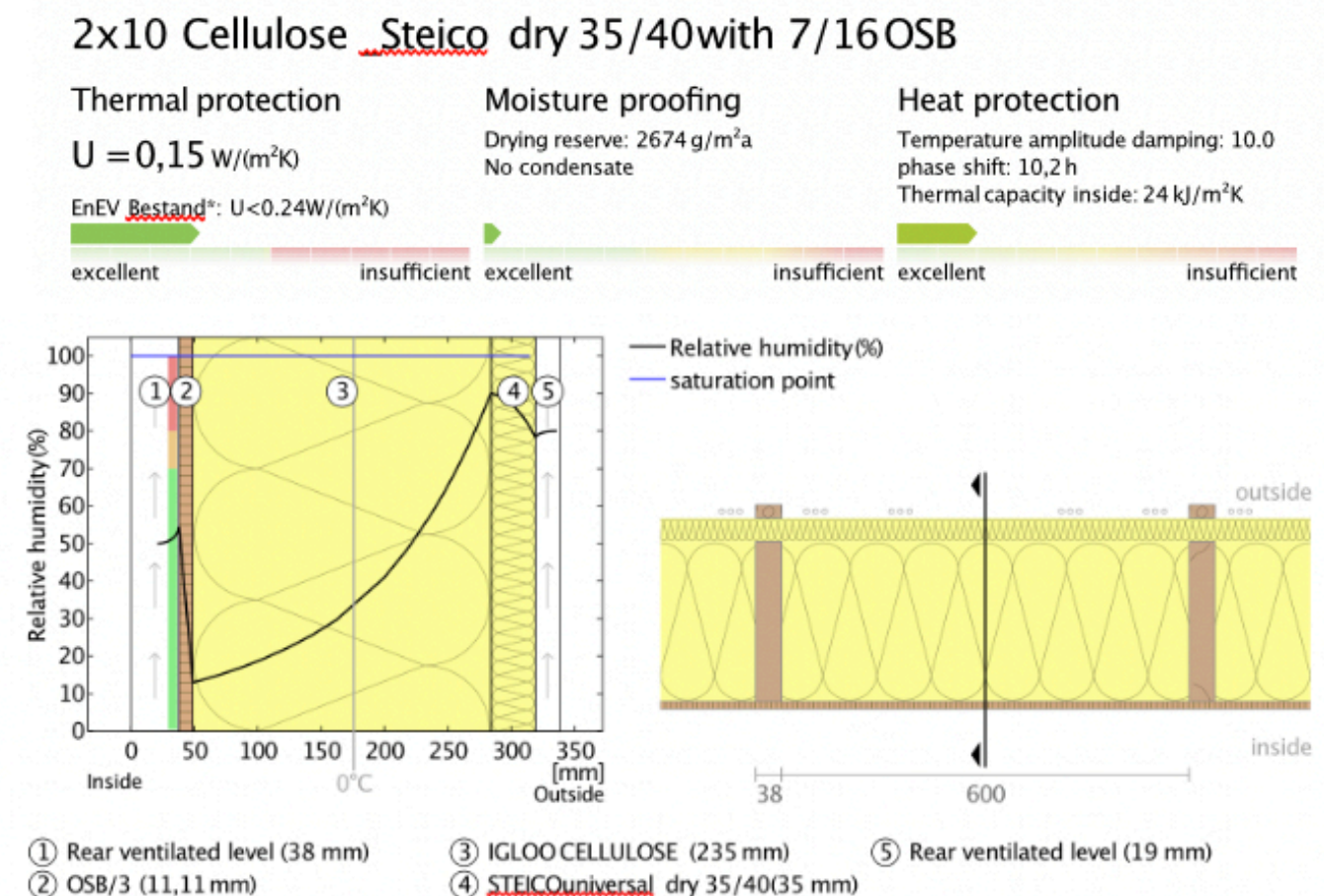
Paradigm

Ossature légère

Panneau fermé (Closed Wall Panel System)

Les panneaux muraux fermés de Paradigm sont des éléments muraux préfabriqués complets, intégrant isolation, parements, revêtement extérieur et fenêtres.

- **Placoplâtre (Drywall)** – couche intérieure finition prête à recevoir.
- **Couche de service** – intégrant les réseaux (électricité, plomberie, etc.).
- **OSB** – panneau de contreventement assurant la rigidité structurale.
- **Ossature bois 2×10 avec isolation** – structure porteuse en ossature légère, isolée.
- **Panneau en fibres de bois (hardwood fibre board)** – isolation complémentaire naturelle.
- **Lame arrière ventilée** – pour assurer la respiration du mur et évacuer l'humidité.
- **Revêtement extérieur (siding)** – finition extérieure et protection climatique



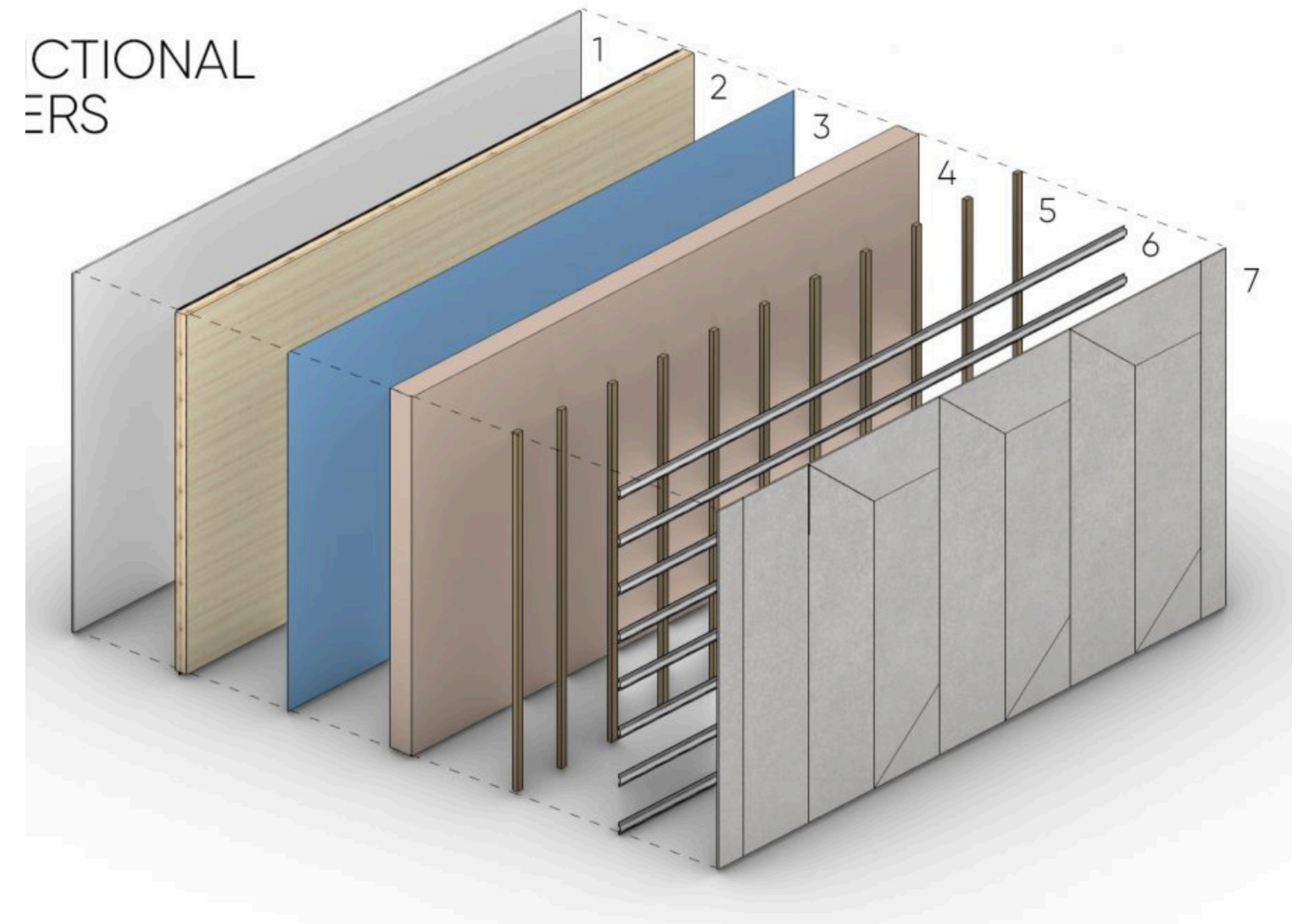
Element5

Bois d'ingénierie

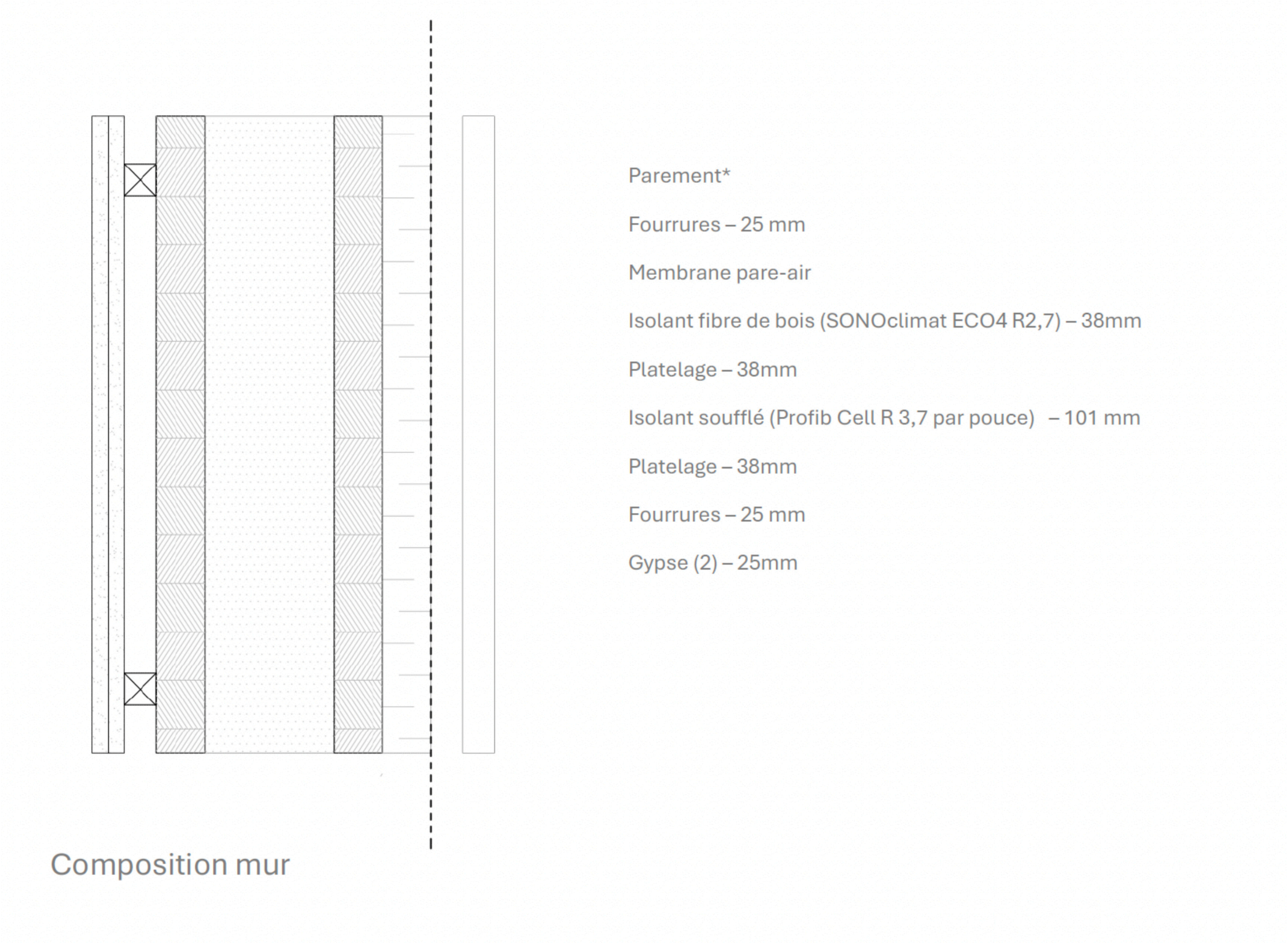
CLIPs (Cross-Laminated Insulated Panels)

CLIPs constitue une solution complète et préfabriquée pour l'enveloppe du bâtiment, basée sur des panneaux CLT.

- **Bardage intérieur (optionnel)** + protection additionnelle
- **CLT + couche d'étanchéité à l'air** — structure portante
- **Membrane perméable à la vapeur** — gestion de l'humidité
- **Isolant thermique** (ex. fibre de bois ou EPS ; parfois laine minérale)
- **Lattes de bois traitées** — créent une lame d'air / ventilation
- **Lattes horizontales** — fixation du revêtement extérieur
- **Revêtement extérieur** — élément esthétique et protecteur



Panneau UdeM Hybride



Évaluation de 3 systèmes

Ossature légère, bois d'ingénierie et hybride

Résumé comparatif des trois panneaux

L'évaluation révèle que le panneau en ossature légère (Paradigm) se distingue par sa forte industrialisation et sa performance hygrothermique, tandis que le panneau hybride (UdeM) se démarque par sa haute teneur en matériaux biosourcés et un bon équilibre global. Le panneau CLT (Element5 CLIPs) est robuste, stable et bien adapté aux grands projets, mais sa déconstruction et sa flexibilité environnementale sont plus limitées. Aucun système ne l'emporte totalement : le choix dépend des priorités spécifiques du projet.

Rôle de la matrice pour les futures évaluations

La matrice constitue un outil structurant et adaptable permettant de comparer de façon cohérente d'autres panneaux préfabriqués à venir. Elle pourra être ajustée selon les critères prioritaires et servir à intégrer des retours de terrain, tout en favorisant un dialogue interdisciplinaire dans une logique de conception intégrée.

E	F	G	H	I	J
ossature légère (1-5)	bois d'ingénierie (1-5)	hybride (1-5)	Score pondéré oss. légère	Score pondéré bois d'ing.	Score pondéré hybride
5	4	4	1,5	1,2	1,2
5	4	4	0,5	0,4	0,4
3	2	3	0,3	0,2	0,3
3	2	3	0,3	0,2	0,3
3	3	3	0,3	0,3	0,5
5	4	5	0,25	0,15	0,15
4	3	4	0,2	0,15	0,2
4	4	4	0,2	0,2	0,2
5	4	4	0,25	0,2	0,2
3	3	3	0,12	0,12	0,12
5	4	4	0,1	0,08	0,08
5	4	4	0,1	0,08	0,08
5	3	5	0,1	0,06	0,1
			4,22	3,34	3,83
			2,6	2	2,2
			1,2	1	1,25
			0,42	0,34	0,38
			4,22	3,34	3,83

Axes pour la suite

Court, moyen et long termes

